

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

"Информатика и моделирование", № 12

13'2009

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

**Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года**

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Зам. председателя

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.;

А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Т.С. Воропай, д-р фил. наук, проф.;

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;

В.В. Епифанов, д-р техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

В.А. Лозовой, д-р фил. наук, проф.;

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.;

Н.И. Погорелов, д-р экон. наук, проф.;

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.;

В.И. Таран, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.;

Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.;

Е.Г. Жиликов, д-р техн. наук, проф.;

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

Б.Г. Набока, д-р техн. наук, проф.;

И.И. Обод, д-р техн. наук, проф.;

А.И. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.;

А.А. Серков, д-р техн. наук, проф.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,

ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ".

Каф. ВТП, тел. (057)-707-61-65

Харьков 2009

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – № 13. – 199 с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку № 9 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 14 листопада 2001 року, № 2 – 05/9. (Бюлетень ВАК України № 6, 2001 р., технічні науки, збірники наукових праць, № 2).

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол № 8 від 26 червня 2009 р.**

© Національний технічний університет "ХПІ"

С.Н. БАЛЮТА, канд. техн. наук, доц. КНАПУ (г. Киев)

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ, НАТЯЖЕНИЯ И ПЕТЛИ ПОЛОСЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Синтезированы оптимальные регуляторы, с помощью которых минимизируется критерий качества, включающий дисперсии продольной разнотолщинности и дисперсии отклонений натяжения полосы в межклетевых промежутках от их номинальных значений. Рассчитаны реализации случайных изменений продольной разнотолщинности и межклетевых натяжений широкополосного стана горячей прокатки.

Ключевые слова: широкополосный стан горячей прокатки, система регулирования.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.

Автоматизированные системы управления широкополосными станами горячей прокатки выполняют разнообразные функции по слежению за прокатываемым металлом, управлению скоростью прокатки, расчету программ обжатию, адаптации математических моделей и процессов управления стана, регулированию продольной разнотолщинности, формы и профиля полосы, межклетевых натяжений, диагностике оборудования и др. Однако основная доля экономического эффекта от внедрения всего комплекса подсистем автоматизации определяется точностью работы локальных подсистем регулирования геометрических параметров проката. Поэтому вопросы разработки систем, обеспечивающих высокоточное регулирование толщины, профиля и формы полосы, занимают одно из центральных мест во всем комплексе создания эффективных систем управления технологическими процессами прокатного производства.

Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. В практике проектирования систем автоматического управления геометрическими параметрами проката широко используются математические методы и модели прокатных станов для повышения качества проекта и ускорения выпуска проектной документации [1 – 6]. При создании АСУ ТП прокатного стана вопросы разработки локальных подсистем регулирования геометрических параметров проката занимают центральное место, так как от точности работы этих подсистем в значительной мере зависит эффективность работы всей АСУ ТП прокатного стана, поэтому проблемы синтеза систем, позволяющих повысить точность регулирования геометрических параметров проката, являются актуальными.

Цель и задачи работы. Целью данной работы является разработка методики синтеза системы оптимального регулирования толщины, натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки.

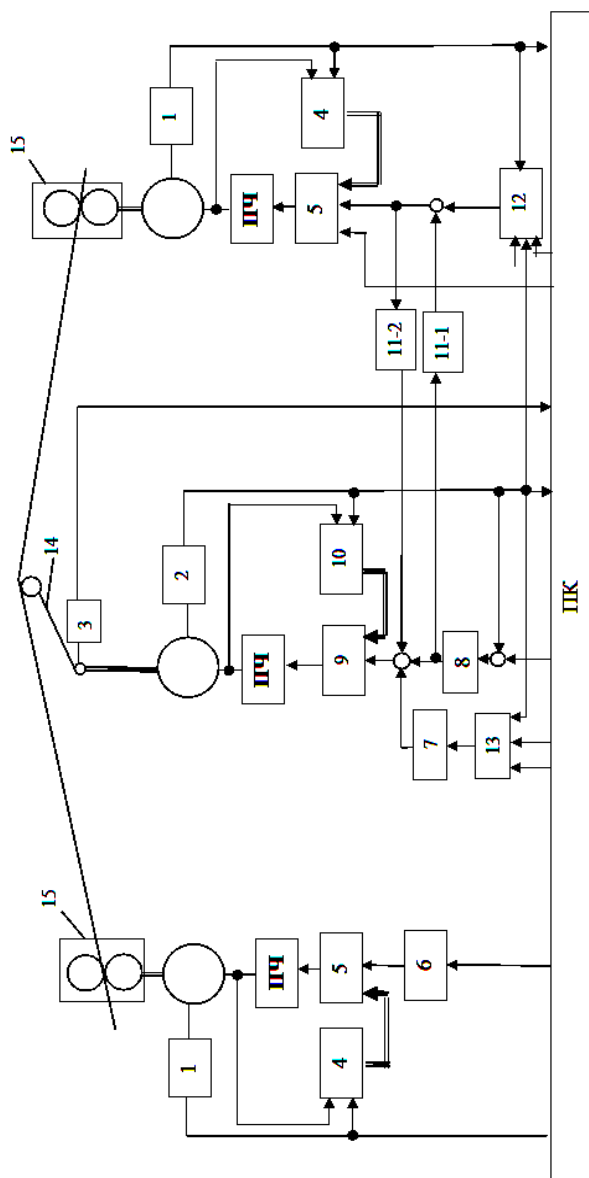


Рис. 1. Схема системы регулирования натяжения в межкустовом промежулке широкополосного стана горячей прокатки

Задачей работы является синтез и исследование динамических характеристик синтезированной системы регулирования толщины, натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки.

Изложение материалов исследования, полученных научных результатов. Процесс горячей прокатки сопровождается колебаниями технологических параметров – толщины, давления прокатки, натяжения полосы и т.д. Причем, если колебания толщины полосы обусловлены как неравномерностью толщины и механических свойства проката, а также эксцентриситетами валков прокатной клетки, то колебания натяжения полосы и пропорциональные им колебания токов главных приводов обусловлены наличием упругих элементов в трансмиссиях передачи момента прокатки от приводного двигателя до прокатного валка. В качестве примера на рис. 1 показана схема системы автоматического регулирования межклетевого натяжения и петли полосы [1]. На этой схеме обозначено: 1 – датчик частоты двигателя прокатной клетки; 2 – датчик угла петледержателя; 3 – датчик натяжения полосы; 4 – наблюдатель состояния привода клетки; 5 – регулятор скорости двигателя клетки; 6 – ПИ регулятор скорости; 7 – контроллер компенсации статического момента; 8 – регулятор положения петледержателя; 9 – регулятор скорости петледержателя; 10 – наблюдатель состояния петледержателя; 11 – контроллер перекрестных связей; 12 – регулятор натяжения; 13 – блок расчета статического момента петледержателя; 14 – петледержатель; 15 – прокатная клеть; ПЧ – преобразователь частоты.

Особенностью работы контура регулирования петли является то, что существенное изменение угла петли проката может производиться при совместном действии петледержателя и скорости приводного двигателя последующей (предыдущей) прокатной клетки. Так, например, при уменьшении угла петли, последующее его увеличение обеспечивается за счет увеличения угла петледержателя и уменьшения скорости последующей клетки. А при увеличении угла петли в результате срабатывания регулятора толщины (провисание петли), уменьшение указанной петли может быть выполнено только путем воздействия на скорость валков прокатной клетки.

Таким образом, требования к системе управления петледержателем реализуются посредством управления петлей с помощью схемы регулирования положения угла петледержателя с обратной связью по углу и соответствующим изменением скорости прокатной клетки посредством перекрестного регулятора. Для компенсации возмущений, действующих на петледержатель со стороны полосы, в схеме регулирования положения используют блок компенсации статического момента, создаваемого полосой. Затухание колебаний в системе петледержатель – полоса, обусловленных упругими свойствами прокатываемой полосы и колебательными свойствами петледержателя, а также повышение качества управления системой достигается с помощью управления системой по переменным состояниям.

Система регулирования удельного натяжения состоит из внешнего контура регулирования удельного натяжения и подчиненного контура регулирования скорости прокатной клетки с регулятором состояния. Система регулирования петли состоит из регулятора положения петледержателя и подчиненного контура регулирования скорости петледержателя с регулятором по переменным состояниям. Между системами существует взаимное влияние, которое выражается в изменении статического момента на валу двигателя петледержателя при изменении удельного натяжения и изменении скорости движения петледержателя, которое, в свою очередь, оказывает влияние на удельное натяжение в зависимости от положения петледержателя. Для компенсации указанного взаимного влияния систем и согласования действий систем регулирования удельного натяжения и петли используют перекрестные регуляторы.

При входе прокатываемой полосы в последующую клетку межклетевого промежутка по сигналу с индикатора наличия металла появляются сигналы заданных величин угла подъема петледержателя α_u и удельного натяжения σ_u для данного межклетевого промежутка. Величина заданного угла подъема петледержателя β_u сравнивается со значением фактического угла β , полученного с цифрового датчика угла 2, и эта разница подается на вход регулятор положения 8. В результате на выходе регулятора положения формируется управляющий сигнал, подаваемый на вход регулятора 9 скорости двигателя петледержателя в переменных состояниях. На регулятор 9 также подаются переменные состояния петледержателя, определяемые с помощью наблюдателя состояния 10. Управляющий сигнал с выхода регулятора скорости подается на вход преобразователя частоты ПЧ двигателя переменного тока петледержателя. Возмущения, действующие на ролик петледержателя со стороны полосы, компенсируются с помощью блока компенсации статического момента 13. Это позволяет обеспечить статическую точность регулирования положения петледержателя.

Статический момент, создаваемый полосой, рассчитывается с помощью блока 13 и через контроллер 7 управляющий сигнал компенсации момента поступает на вход регулятора 9 скорости петледержателя в переменных состояниях. Перемещения петледержателя в соответствии с управляющими воздействиями системы регулирования положения являются возмущающими воздействиями для системы регулирования удельного натяжения [1]. Поэтому в системе регулирования удельного натяжения существует компенсация влияния системы автоматического регулирования положения петледержателя, реализованная за счет дополнительной связи [2]. Для этого на вход системы регулирования скорости клетки через перекрестный контроллер 11-1, поступает дополнительный сигнал с выхода регулятора положения петледержателя 8. Тем самым, появляется динамическая составляющая скорости клетки,

способствующая стабилизации петли металла и компенсирующая линейную скорость петледержателя в динамических режимах.

Динамичное изменение натяжения полосы, реализуемое изменением скорости прокатной клетки, также является возмущением для контура регулирования петли. Данное обстоятельство требует введения в схему соответствующей компенсации с помощью перекрестного контроллера 11-2, передающего управляющий сигнал с выхода регулятора натяжения 12 на вход регулятора скорости петледержателя 9. Контуров регулирования скорости валков и тока двигателя прокатной клетки построены по известным принципам построения систем в переменных состояниях и систем подчиненного регулирования [1].

Регулирование скорости клетки до номинальной происходит путем изменения моментобразующей составляющей тока статора при постоянном значении потокообразующей составляющей тока статора (магнитного потока), а регулирование скорости выше номинальной – за счет ослабления магнитного потока и, соответственно, при изменении составляющей тока.

Основная задача системы совместного управления главными электроприводами и петледержателями широкополосного стана горячей прокатки заключается в поддержании заданного соотношения между частотами вращения рабочих валков клеток, что обеспечивает постоянство натяжения полосы между клетями и способствует уменьшению отклонения толщины прокатываемой полосы от заданной. Причем, при синтезе такой системы автоматического управления скоростью прокатных двигателей и петледержателей чистовых клеток непрерывного тонколистового стана горячей прокатки требуется рассмотрение многодвигательной электромеханической системы клеток, связанных прокатываемой полосой, как единой электромеханической системы.

Математическая модель многоклетевого непрерывного широкополосного стана горячей прокатки. Для проектирования локальных подсистем автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы необходима математическая модель широкополосного стана горячей прокатки как объекта управления. Рассмотрим вначале основные уравнения, связывающие энергосиловые параметры одной прокатной клетки. Количественное приращение конечной толщины Δh_1 , полного усилия ΔP и момента ΔM прокатки, а также приращение величины опережения ΔS , определяются следующими соотношениями [6]:

$$\Delta h_1 = \frac{\partial h_1}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial h_1}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial h_1}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial h_1}{\partial z_0} \Delta z_0 + \frac{\partial h_1}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial h_1}{\partial f} \Delta f,$$

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial P}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial P}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial P}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f,$$

$$\Delta M = \frac{\partial M}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial M}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial M}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial M}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial M}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial M}{\partial f} \Delta f,$$

$$\Delta S = \frac{\partial S}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial S}{\partial h_1} \Delta h_1 + \frac{\partial S}{\partial T_0} \Delta T_0 + \frac{\partial S}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial S}{\partial \sigma_T} \Delta \sigma_T + \frac{\partial S}{\partial f} \Delta f,$$

где Δh_0 , ΔT_0 , ΔT_1 , Δz_0 , $\Delta \sigma_T$, Δf – абсолютные приращения, соответственно, исходной толщины, заднего и переднего натяжения полосы, величины межвалкового зазора, механических свойств прокатываемого металла и величины коэффициента внешнего трения в очаге деформации.

На основании этих уравнений рассмотрим математическую модель многоклетевого широкополосного стана горячей прокатки, состоящего из k клеток, расположенных на расстоянии L_i друг относительно друга и взаимодействующих через упругонапряженную полосу, следуя работе [6]. Введем векторы входной $\vec{H}_i^*$ и выходной $\vec{H}_i$ толщин, входного $\vec{T}_i^*$ и выходного $\vec{T}_i$ натяжения и положения нажимных устройств $\vec{B}$, компонентами которых являются соответствующие величины для каждой клетки $J = \overline{1, n}$, для линеаризованной модели и малых отклонений величин от их номинальных значений, получим следующее соотношение

$$\vec{H} = \overrightarrow{HH} \otimes \vec{H}^* + \overrightarrow{HT}^* \otimes \vec{T}^* + \overrightarrow{HT} \otimes \vec{T} + \overrightarrow{HB} \otimes (\vec{B} + \vec{\eta} \sin \omega t),$$

где $\overrightarrow{HH}$, $\overrightarrow{HT}^*$, $\overrightarrow{HT}$, $\overrightarrow{HB}$ – векторы соответствующих коэффициентов передачи; $\vec{\eta}$ – вектор эксцентриситетов валков; $\otimes$ – кронекеровское (поэлементное) перемножение векторов. Индекс времени i здесь и в дальнейшем, где это не нужно, опущен.

Аналогичные соотношения могут быть получены для векторов моментов главных приводов и опережения скорости движения полосы:

$$\vec{M} = \overrightarrow{MH}^* \otimes \vec{H}^* + \overrightarrow{MH} \otimes \vec{H} + \overrightarrow{MT}^* \otimes \vec{T}^* + \overrightarrow{MT} \otimes \vec{T},$$

$$\vec{S} = \overrightarrow{SH}^* \otimes \vec{H}^* + \overrightarrow{SH} \otimes \vec{H} + \overrightarrow{ST}^* \otimes \vec{T}^* + \overrightarrow{ST} \otimes \vec{T}.$$

Здесь векторы коэффициентов передачи по моменту $\overrightarrow{MH}^*$, $\overrightarrow{MH}$, $\overrightarrow{MT}^*$, $\overrightarrow{MT}$ и опережению $\overrightarrow{SH}^*$, $\overrightarrow{SH}$, $\overrightarrow{ST}^*$, $\overrightarrow{ST}$ по соответствующим переменным определяются по методике, приведенной в работе [6].

Вектор выходной скорости полосы определяется соотношением

$$\vec{v} = \vec{v\omega} \otimes \vec{\omega} + \vec{vS} \otimes \vec{S},$$

где $\vec{\omega}$, $\vec{v\omega}$ – векторы скорости вращения приводных валков и окружности бочки; $\vec{vS}$ – вектор коэффициентов передачи изменения выходной скорости полосы при изменении опережения $\vec{S}$.

Из уравнения постоянства секундного объема при холодной прокатке

$$\vec{v}^* \otimes \vec{H}^* = \vec{v} \otimes \vec{H}$$

может быть определен вектор входной скорости $\vec{V}^*$. Пренебрегая массой полосы и предполагая мгновенное распространение напряжений по длине полосы, получим

$$\vec{T}(j) = \vec{T}^*(j+1) \text{ при } j = \overline{1, (n-1)},$$

где $T^*(j)$ – натяжение на разматывателе полосы.

Натяжение смотки полосы

$$\vec{T}(j) = \vec{TL}(j)[\vec{v}^*(j+1) - \vec{v}(j)]\Delta t \text{ при } j = \overline{1, (n-1)},$$

где $\vec{TL}$ – вектор удельных жесткостей полосы на растяжение в межклетевом промежутке между j -й и $(j+1)$ -й клетями, имеющий размерность $(n-1)$.

Толщина $H^*(j+1)$ полосы на входе $(j+1)$ клетки равна толщине $H(j)$ полосы на выходе j -й клетки с учетом времени транспортного запаздывания

$$H_i^*(j+1) = H_{i-k}(j) \text{ при } j = \overline{1, (n-1)},$$

где $k = INT(L_{j \cdot (j+1)} / L_{6j})$ – целая часть числа, равного отклонению длины межклетевого промежутка $L_{j \cdot (j+1)}$ между j -й и $(j+1)$ -й клетями от базовой длины L_{6j} полосы в этом промежутке.

Математические модели главных электроприводов, приводов моталок, приводов петледержателей, электро- и гидроприводов нажимных устройств описываются в форме пространства состояний в виде соответствующих уравнений состояний, либо в виде соответствующих передаточных функций. Математические модели типовых П, ПД, ПИ и ПИД регуляторов, либо других регуляторов, отличных от типовых, также задаются в виде соответствующих уравнений состояний, либо в виде соответствующих передаточных функций. Количество используемых регуляторов не ограничено и задается проектировщиком. Таким образом, можно моделировать наличие любых регуляторов, описываемых в пространстве состояния, уравнением

$$\vec{x}_p(t) = A_p \vec{x}_p(t) + B_p \vec{U}_p(t),$$

в котором управляющим воздействием $\vec{U}_p$ является любая переменная системы $\vec{y}(t)$, измеренная со случайной помехой $f(t)$ заданной интенсивности $\vec{U}_p(t) = \vec{y}(t) + \vec{f}(t)$, а выходом регулятора $y_p(t) = C_p \vec{x}_p(t)$ может быть управляющее напряжение $U_n(t)$ главного привода, петледержателя либо нажимного устройства $U_n(t)$ любой клетки.

Для формирования управления могут использоваться значения толщин полос в любой точке стана, а также значения натяжений полосы во всех межклетевых промежутках, что фактически соответствует управлению по полному вектору состояния, тем более, что в АСУ ТП прокатного стана фактически осуществляется сопровождение полосы по линии стана. Однако решить такую задачу практически невозможно в связи с высокой размерностью.

С инженерной точки зрения существенный практический смысл имеет задача параметрической оптимизации регуляторов, когда основная структура системы управления остается постоянной, а часть параметров, а возможно и структуры, изменяется и тем самым паритует изменение параметров внешних воздействий и объекта управления. При таком подходе можно синтезировать регуляторы, незначительно отличающиеся от оптимальных. Однако при этом их техническую реализацию можно существенно упростить. Такие регуляторы обладают и другими полезными свойствами, например, менее чувствительны (робастны) при изменении параметров и структуры объекта управления и входных сигналов.

Сформируем структуру многосвязанной системы автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы на основании типовых схем для широкополосного стана горячей прокатки. Введем вектор искомых параметров $\vec{X}$, компонентами которого являются коэффициенты усиления регуляторов (П, ПИ, ПИД и т.д.) соответствующих каналов регулирования.

Изменения толщины и натяжения полосы являются случайными процессами. Основное назначение системы регулирования толщины, натяжения и петли широкополосного стана горячей прокатки заключается в поддержании заданных значений толщины полосы за прокатными клетями, межклетевых натяжений а также углов поворота петледержателей на заданных уровнях. Тогда критерием качества J может быть принята сумма дисперсий отклонений толщины полосы на выходе i -ых клеток $\Delta \bar{H}_i^2$ и дисперсий отклонений межклетевых натяжений $\Delta \bar{T}_i^2$ в промежутках между i -й и $(i+1)$ -й клетью, взятых с соответствующими весовыми коэффициентами

$$J = \sum_{i=1}^n \lambda_i \Delta \bar{H}_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i \Delta \bar{T}_i^2 .$$

Здесь λ_i , γ_i – весовые коэффициенты, учитывающие различный "вес" составляющих дисперсий разнотолщинностей и дисперсий колебаний межклетевых натяжений относительно их заданных значений, а сами отклонения ΔH_i толщины полосы на выходе i -й клетки H_i от заданного значения H_i^3 и отклонения натяжений ΔT_i в промежутках между i -й и

$(i+1)$ -й клетью $T_{i,i+1}$ от заданных значений $T_{i,i+1}^3$ являются случайными процессами и определяются выражениями:

$$\Delta H_i = H_i - H_i^3, \quad \Delta T_i = T_i - T_i^3.$$

Тогда задача синтеза системы может быть сформулирована в виде следующей задачи нелинейного программирования.

$$\bar{X}^* = \arg \min_{\bar{X}} J(\bar{X}).$$

Естественно, что при этом необходимо учитывать ограничения на переменные состояния и управления отдельных каналов регулирования.

Результаты моделирования. В качестве примера на рис. 2 показаны реализации случайных изменений продольной разнотолщинности и межклетевых натяжений в синтезированной системе для трех клеток широкополосного стана горячей прокатки.

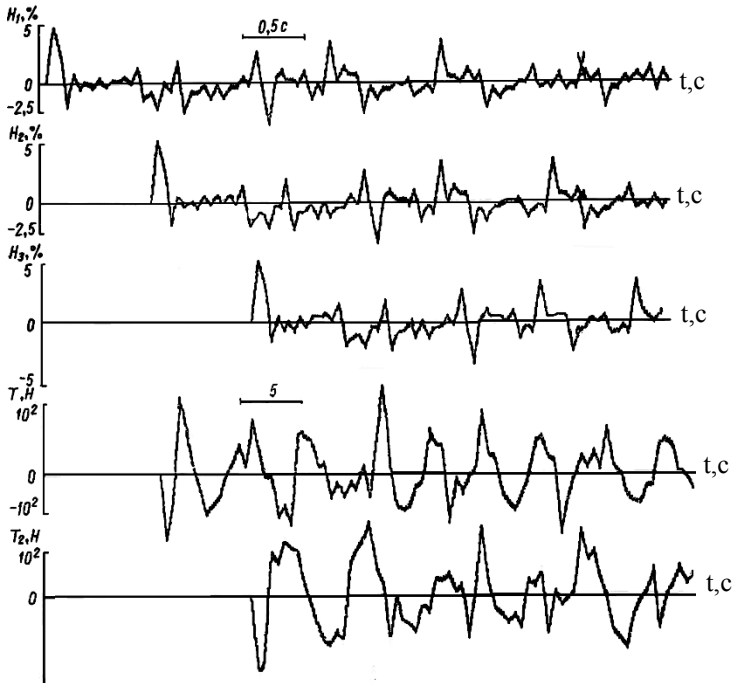


Рис. 2. Реализации случайных изменений продольной разнотолщинности и межклетевых натяжений в синтезированной системе для трех клеток широкополосного стана горячей прокатки

Как видно из этих графиков, случайные процессы регулируемых координат в синтезированной системе удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемым к системе. Заметим, что в критерий качества явно не входят угловые положения петледержателей, однако минимизация дисперсий межклетевых натяжений фактически приводит и к минимизации дисперсий отклонений углов положения петледержателей от их заданных значений.

Выводы. Разработана математическая модель многоклетевого стана горячей прокатки как объекта управления системы автоматического регулирования толщины, натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки. Синтезированы оптимальные регуляторы, с помощью которых минимизируется критерий качества, включающий дисперсии продольной разнотолщинности и дисперсии отклонений натяжения полосы в межклетевых промежутках от их номинальных значений. Рассчитаны реализации случайных изменений продольной разнотолщинности и межклетевых натяжений широкополосного стана горячей прокатки. С помощью синтезированных регуляторов удалось получить динамические характеристики системы, удовлетворяющие техническим требованиям, предъявляемым к системе регулирования толщины, натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки. В дальнейшем целесообразно дополнить разработанную модель уравнениями поперечной разнотолщинности, профиля и формы полосы.

Список литературы: 1. *Hamada K., Ueki S., Shitomi M.* Finishing mill tension control system in the Mizushima hot strip mill // Kawasaki steel technical report. – 1985. – № 11. – P. 35-43. 2. *Tanimoto S., Hayashi Y., Saito M.* New tension measurement and control system in hot strip finishing mill // Meas. And Contr. Instrum. Iron and Steel Ind. Prod. 5th Process Technical Congress, Detroit / Werrendale, Pa. – 1985. – P. 147-154. 3. *Fukushima Kenya.* Looper optimal multivariable control for hot strip finishing mill // Trans. Iron and Steel Inst. Jap. – 1988. – № 6. – P. 463-469. 4. *Олефир Ф.Ф., Опрышко И.А., Васичкин В.И., Жалнина Д.Ф.* Исследование взаимосвязанной работы САР скорости и натяжения полосы / Анализ систем управления станов горячей прокатки. – К.: Наукова думка, 1970. – 175 с. 5. *Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В.* Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. – Харьков: УИПА, 2005. – 512 с. 6. *Кузнецов Б.И., Опрышко И.А., Богдаенко И.Н.* Автоматизация управления листовыми прокатными станами. – К.: Техника, 1992. – 231 с.

УДК 621.3.01

Синтез системи регулювання товщини, натягу і петлі смуги ширококутового стана гарячої прокатки / Балюта С.Н. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 3 – 13.

Синтезовані оптимальні регулювальники, за допомогою яких мінімізується критерій якості, що включає дисперсії подовжньої різновтовщинності і дисперсії відхилень натягнення смуги в проміжках між клітей від їх номінальних значень. Розраховані реалізації випадкових змін подовжньої різновтовщинності і натягнень міжклітей ширококутового стану гарячої прокатки. Іл.: 2. Бібліогр.: 6.

Ключові слова: ширококутовий стан гарячої прокатки, система регулювання.

UDK 621.3.01

Control system synthesis by thickness, tension and looper for hot strip finishing mill
/ **Baluta S.N.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 3 – 13.

Optimum regulators, which the criterion of quality, including dispersions of longitudinal different thickness and dispersion of rejections of pull of bar in interage intervals from their basic values, is minimized by, are synthesized. Realization of casual changes longitudinal different thickness and interage pulls of interage intervals of hot rolling is expected. Figs. 2. Refs.: 6 titles.

Key words: hot strip finishing mill, control system.

Поступила в редакцию 14.02.2009

Д.А. БОЙКО, студент, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
О.В. ВАСИЛЬЕВА, мл. науч. сотрудник Украинского института
клинической генетики, ХНМУ (г. Харьков),
Д.А. ГАЛКИН, студент, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Ю.Б. ГРЕЧАНИНА, канд. мед. наук, доц., зам. директора по лечебной
работе ХСМГЦ (г. Харьков),
А.И. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.Е. ФИЛАНОВА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В работе рассматривается задача формализации исходных данных при диагностике митохондриальных заболеваний. В качестве исходных признаков были рассмотрены фенотип, биохимические исследования крови и мочи, а так же заболевания в родословной и сопутствующие диагнозы. В результате разработаны справочники для ведения базы данных (БД). Работа ведется совместно с Харьковским специализированным медико-генетическим центром.

Ключевые слова: формализация исходных данных, митохондриальные заболевания, фенотип, биохимические исследования крови и мочи, база данных.

Постановка проблемы. Митохондриальные заболевания (МЗ) – это группа наследственных заболеваний, связанных с дефектами в функционировании митохондрий, приводящих к нарушениям энергетических функций в клетках эукариотов. Для постановки диагноза МЗ важен комплексный генеалогический, клинический, биохимический, морфологический и молекулярный анализ. Создание компьютерной системы поддержки принятия решений (КСППР) для диагностики МЗ является актуальной научно-технической проблемой. Одним из основных этапов создания КСППР является разработка специализированной базы данных (БД), структура которой позволит легко добавлять не только количество пациентов, но и менять множество признаков, необходимых для диагностики.

Анализ литературы. На сегодняшний день имеется достаточно четкое представление о причинах МЗ [1, 2]. Они обусловлены генетическими, структурными, биохимическими дефектами митохондрий и нарушением тканевого дыхания. Генетические дефекты дыхательной цепи и возникающая в результате этого недостаточность аденозинтрифосфатной кислоты (АТФ) нарушают многочисленные функции клеток, что особенно проявляется в высокоэнергетических органах [3]. Хотя наибольшей потребностью в митохондриальной энергии обладают нейроны, скелетная мускулатура,

сердечная мышца, клетки костного мозга и эндокринные железы, ее хронический недостаток может привести к патологическим изменениям практически в любом органе [2, 4]. Поэтому для диагностики МЗ важно комплексное изучение клинико-генетических характеристик больных.

Для правильной постановки диагноза митохондриальной болезни (митохондриопатии) необходимо применять как классические методы исследования – соматогенетическое исследование с синдромологическим анализом и клинико-генеалогический анализ, так и современные методы биохимической и молекулярной диагностики [5, 6]. В связи с множеством параметров, которые оцениваются при подозрении на МЗ, целесообразным является создание специализированной компьютерной БД, а также разработка современных методов статистического анализа, адаптированных к клинической практике [7 – 10]. На рис. 1 представлена общая схема анализа экспериментальных данных при проектировании КСППР в медицине.

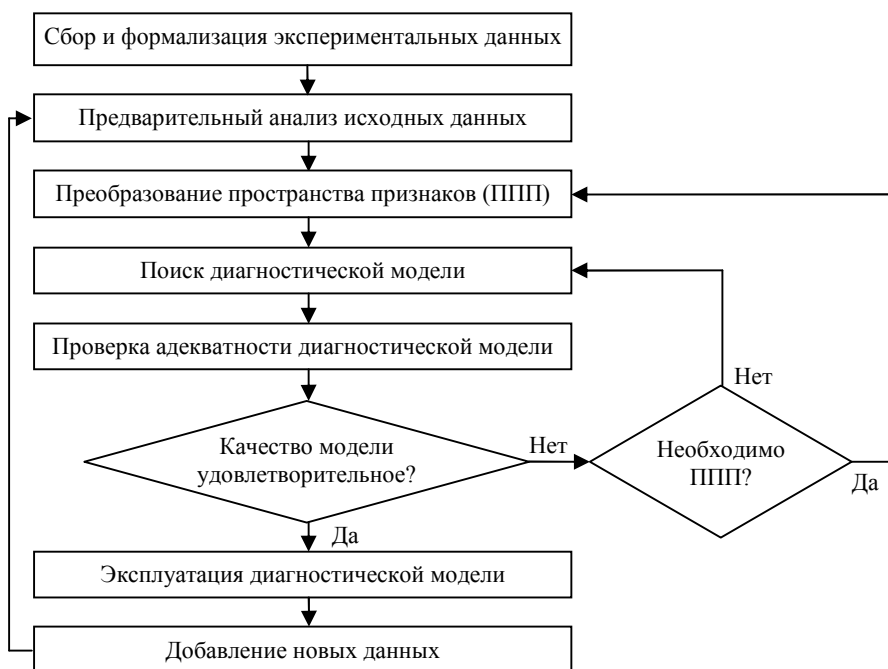


Рис. 1. Общая схема анализа экспериментальных данных

Данная работа направлена на реализацию этапов сбора, формализации и предварительного анализа экспериментальных данных при диагностике МЗ.

Целью данной статьи является анализ исходного пространства признаков

при диагностике МЗ для создания информационной структуры БД КСППР в медицине.

Формализация исходных данных. Исходные данные при диагностике МЗ предоставлены Харьковским специализированным медико-генетическим центром (ХСМГЦ). Для анализа были отобраны 145 больных с подозрением на МЗ. В ходе комплексного обследования в ХСМГЦ у них установлено наличие разных форм нарушения биоэнергетического обмена (МЗ), которые включали органические ацидурии, нарушение окисления жирных кислот, нейро-желудочно-кишечную энцефалопатию (MNGIE), синдром MELAS, синдром MERRF, синдром Кернса-Сейра, нейропатию Лебера, болезнь Альцгеймера.

Особенностью исходных данных при этих заболеваниях является наличие большого объема информации, представленной в слабоструктурированном или неструктурированном виде. При этом многие признаки носят описательный характер. Таким образом, анализ исходного пространства признаков показал, что без предварительной формализации полученной информации невозможно создание специализированной БД.

Пусть каждый пациент представляет собой объект ω_i ($i = \overline{1, N}$, N – количество больных) в многомерном пространстве признаков. Пространство признаков порождается множеством признаков X , из элементов которого формируются вектора признаков. В результате каждый объект ω_i в пространстве признаков описывается вектором $\vec{x}_i^\omega = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, а из совокупности объектов ω_i ($i = \overline{1, N}$) формируется таблица экспериментальных данных (ТЭД) типа "объект – признак" (табл. 1).

Таблица 1

Таблица экспериментальных данных

Объекты (пациенты)		Исходные признаки					
		x_1	x_2	$\dots$	x_j	$\dots$	x_m
ω_1	$\vec{x}_1^\omega$	x_{11}	x_{12}	$\dots$	x_{1j}	$\dots$	x_{1m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
ω_i	$\vec{x}_i^\omega$	x_{i1}	x_{i2}	$\dots$	x_{ij}	$\dots$	x_{im}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
ω_N	$\vec{x}_N^\omega$	x_{N1}	x_{N2}	$\dots$	x_{Nj}	$\dots$	x_{Nm}

Для компьютерной обработки экспериментальных данных необходимо, чтобы признаки x_j ($j = \overline{1, m}$) были выражены в числовой, ординальной или номинальной шкалах. Поэтому на первом этапе формализации исходных данных все признаки, имеющие описательный характер, предлагается

разбивать на признаки, которые можно измерить в дихотомической шкале, являющейся частным случаем номинальной шкалы.

На втором этапе формализации исходных данных предлагается выполнить разбивку исходного множества признаков X на непересекающиеся подмножества X_k таким образом, что $\bigcup_{k=1}^K X_k = X$, $X_k \cap X_l = \emptyset$, $k, l = \overline{1, K}$, $k \neq l$. В результате были выделены следующие подмножества признаков: X_1 – фенотип, X_2 – диагнозы, X_3 – лабораторные исследования, X_4 – молекулярные исследования. На следующем этапе формализации каждое из подмножеств X_k , в свою очередь, разбивается на подмножества признаков X_k^p . Такая разбивка производится до тех пор, пока подмножества признаков X_k^p не будут содержать однородные по смыслу признаки, исходя из логики дальнейшей обработки экспериментальных данных.

Таким образом, для формализации исходных данных была предложена следующая разбивка исходного пространства признаков на подмножества. Подмножество признаков по фенотипу X_1 было разбито на следующие подмножества: X_1^1 – характеристики состояния кожи (28 признаков); X_1^2 – характеристики состояния ногтей (7 признаков); X_1^3 – характеристики состояния волос (6 признаков); X_1^4 – характеристики состояния подкожной клетчатки (3 признака); X_1^5 – характеристики состояния мышц (4 признака); X_1^6 – характеристики внешнего вида черепа (22 признака); X_1^7 – характеристики внешнего вида лица (8 признаков); X_1^8 – характеристики внешнего вида ушных раковин (12 признаков); X_1^9 – характеристики области глаз и глазного яблока (33 признака); X_1^{10} – характеристики внешнего вида носа (15 признаков); X_1^{11} – характеристики губ и полости рта (15 признаков); X_1^{12} – характеристики верхней и нижней челюстей (8 признаков); X_1^{13} – характеристики зубов (5 признаков); X_1^{14} – характеристики языка (6 признаков); X_1^{15} – характеристики неба (6 признаков); X_1^{16} – характеристики внешнего вида шеи (5 признаков); X_1^{17} – характеристики внешнего вида грудной клетки (9 признаков); X_1^{18} – характеристики состояния позвоночника (7 признаков); X_1^{19} – характеристики внешнего вида живота, таза и ягодиц (10 признаков); X_1^{20} – характеристики внешнего вида верхних конечностей (26 признаков); X_1^{21} – характеристики внешнего вида нижних конечностей (31 признак). Подмножество признаков по диагнозам X_2 было разбито на следующие подмножества: X_2^1 – дыхательная система; X_2^2 – зрительная система; X_2^3 – мочеполовая система; X_2^4 – нервная система; X_2^5 – опорно-двигательная система; X_2^6 – пищеварительная система; X_2^7 – покровная система; X_2^8 – репродуктивная система; X_2^9 – сердечно-сосудистая система; X_2^{10} – слуховая система; X_2^{11} – эндокринная система. Подмножество признаков по лабораторным исследованиям X_3 было разбито на следующие

подмножества: X_3^1 – скрининг-тест мочи; X_3^2 – биохимический анализ крови; X_3^3 – биохимический анализ мочи; X_3^4 – тонкослойная хроматография (ТСХ) аминокислот (АК) крови; X_3^5 – ТСХ АК мочи; X_3^6 – ТСХ углеводов мочи. Разбивка множества X_4 не выполнялась, т.к. оно содержит однородные признаки, характеризующие состояние полиморфизмов генов 677 C→T MTHFR и 66 A→G MTRR.

Признаки, входящие в подмножества X_1^i ($i=1, 21$), X_2^j ($j=1, 11$) и X_3^1 , измеряются в дихотомической шкале, поэтому принимаем значение 0 – отсутствие признака, значение 1 – наличие. Значения показателей подмножеств X_3^k ($k=2, 6$), полученные в результате лабораторных исследований, измеряются в количественной шкале, однако нормы по этим показателям зависят от возраста пациента. Поэтому для удобства совместного анализа данных больных, принадлежащих различным возрастным группам, предлагается привести признаки подмножеств X_3^k ($k=2, 6$) с учетом возрастных норм к ординальной шкале. При этом значение 0 принимает признак, если показатель в норме, положительное значение – если показатель превышает норму, отрицательное – если показатель ниже нормы. Величина признака показывает степень отклонения показателя от нормы.

Таким образом, предложенное представление исходного пространства признаков в виде иерархической структуры непересекающихся подмножеств позволило формализовать исходные данные при диагностике МЗ.

Разработка информационной структуры БД. Схема данных специализированной БД КСППР для диагностики МЗ с учетом разработанной иерархической структуры непересекающихся подмножеств признаков представлена на рис. 2. Представление исходного пространства признаков в виде иерархической структуры непересекающихся подмножеств позволило выделить ряд справочников, входящих в информационную структуру БД проектируемой КСППР. Каждый справочник представляет собой таблицу, содержащую признаки описанных выше подмножеств. Для реализации разбивки множеств X_1 и X_2 на подмножества были организованы дополнительные справочники, представляющие собой таблицы, в которых хранятся названия подмножеств X_k^p .

Рассмотрим организацию справочников на примере хранения признаков множества X_2 . В таблице *bolezni* (справочник множества X_2) имеются следующие поля (см. рис. 2): *id_bolezni* – уникальный ключ; *name* – название диагноза; *id_sys* – ключ для связи со справочником по системам организма; *onkonkolog* – признак принадлежности диагноза к онкологическому заболеванию. В таблице *bolezni_group*, являющейся справочником названий подмножеств X_2^p (см. рис. 2), хранится уникальный ключ (поле *id_system*) и

перечень систем организма (поле system). Для добавления новой болезни в справочник необходимо ввести ее название, выбрать систему организма, к которой она относится, и указать, является ли этот диагноз онкологическим.

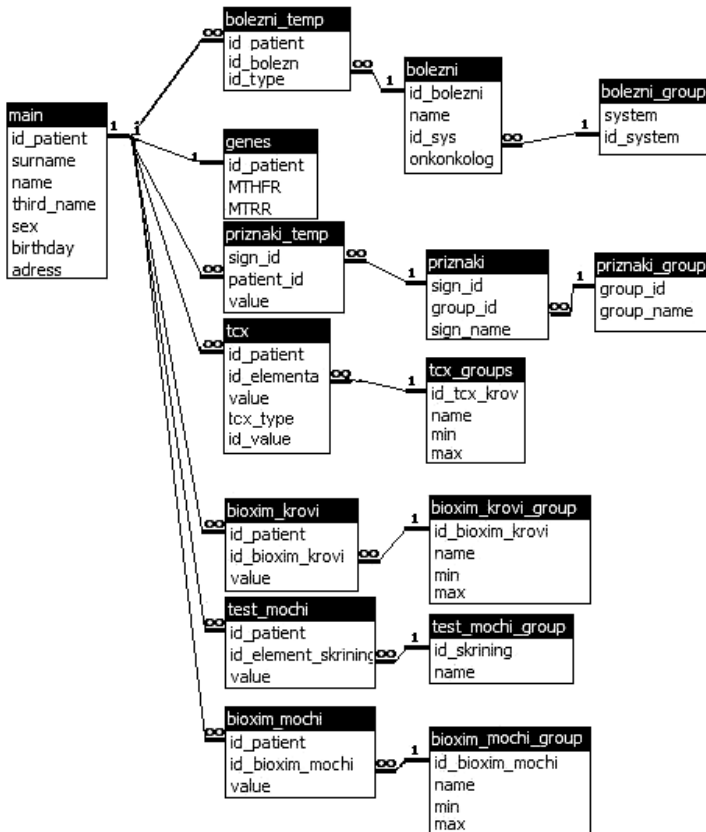


Рис. 2. Схема данных специализированной БД

Надо отметить, что особенностью подмножеств признаков X_1 и X_2 является то, что с увеличением объема выборки (то есть с добавлением новых пациентов) количество признаков подмножеств X_1 и X_2 может увеличиться. Например, у нового пациента может появиться новый признак в фенотипе или новый диагноз в родословной. Организация БД, представленная на рис. 2, позволяет без изменения схемы данных не только увеличивать объем выборки, но и увеличивать количество признаков за счет добавления новых записей в соответствующие справочники.

Предварительный анализ ТЭД. Согласно общей схеме анализа экспериментальных данных (см. рис. 1) после этапов сбора и формализации необходим этап предварительного анализа внутренней структуры ТЭД. Как было отмечено выше, все признаки x_j , описывающие объекты ω_i , являются либо ординальными, либо дихотомическими. При этом для ординальных признаков шкалы измерения могут быть симметричными относительно нуля, если параметр может быть как выше, так и ниже нормы, и несимметричными, если параметр может быть только выше нормы. Поэтому необходимо преобразовать значения признаков таким образом, чтобы они все были измерены в однотипных шкалах. В качестве такого преобразования предлагается выполнить сдвиг и нормировку признаков. В результате преобразования все признаки будут измеряться в диапазоне $x_{ij}^* \in [0, 1]$:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j},$$

где x_{ij} , x_{ij}^* – исходное и преобразованное значение признака x_j , измеренного у объекта ω_i ; $\max x_j$, $\min x_j$ – максимальное и минимальное значение признака x_j .

Структура экспериментальных данных отражается посредством двух основных категорий взаимоотношений между элементами ТЭД – категорий сходства и различия. Сходство и различие объектов ТЭД отражается с помощью матрицы удаленности объектов $\mathbf{D} = \{d_{il}\}_{i,l=1}^N$ [10]. В качестве меры различия объектов ТЭД предлагается использовать расстояние Хемминга:

$$d_{il} = \sum_{j=1}^m |x_{ij}^* - x_{lj}^*|,$$

где x_{ij}^* , x_{lj}^* – преобразованные значения признака x_j , измеренные у объектов ω_i и ω_l соответственно.

Для оценки существенности связи двух номинальных признаков на основе анализа таблиц сопряженности (табл. 2) используются методы сравнения эмпирических и теоретических частот по Брандту и Снедекору. В табл. 2 приняты следующие обозначения: n_{fg} – число пациентов, у которых признак x_{ik}^* относится к классу f и одновременно признак x_{ij}^* относится к классу g ; $n_{f\bullet}$ – общее число пациентов, у которых признак x_{ik}^* относится к классу f ; $n_{\bullet g}$ – число пациентов, у которых признак x_{ij}^* относится к классу g ; l , p – число градаций признаков x_k и x_j соответственно; N – длина выборки.

Таблица 2

Таблица сопряженности номинальных признаков общего вида

Градации (классы) признака		$x_{ij}^* (i = \overline{1, N})$					
		1	...	g	...	p	
$x_{ik}^* (i = \overline{1, N})$	1	n_{11}	...	...	...	n_{1p}	$n_{1\bullet}$
	...	...	...	...	...	...	...
	f	...	...	n_{fg}	...	...	$n_{f\bullet}$
	...	...	...	...	...	...	...
	l	n_{l1}	...	...	...	n_{lp}	$n_{l\bullet}$
		$n_{\bullet 1}$	...	$n_{\bullet g}$	...	$n_{\bullet p}$	N

Вычисление коэффициента квадратичной сопряженности основывается на расчете критерия χ_{kp}^2 , оценивающего меру близости по всем ячейкам таблицы сопряженности [7]:

$$\chi_{kp}^2 = \sum_{f=1}^l \sum_{g=1}^p \frac{\left(n_{fg} - \frac{n_{f\bullet} n_{\bullet g}}{N} \right)^2}{\frac{n_{f\bullet} n_{\bullet g}}{N}}.$$

Сходство и различие признаков ТЭД отражается с помощью матрицы связей признаков $\mathbf{S} = \{s_{jk}\}_{j,k=1}^m$ [10]. В качестве меры связи признаков ТЭД предлагается использовать коэффициент квадратичной сопряженности:

$$s_{jk} = \begin{cases} \frac{\chi_{kp}^2}{2N}, & \text{если } \chi_{kp}^2 < \chi_{1-\alpha}^2(v), \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $\chi_{1-\alpha}^2(v)$ – табличное значение распределения хи-квадрат с числом степеней свободы $v = (l-1)(p-1)$.

С помощью полученных таблиц $\mathbf{D} = \{d_{il}\}_{i,l=1}^N$ и $\mathbf{S} = \{s_{jk}\}_{j,k=1}^m$ выполняется анализ внутренней структуры ТЭД, который показывает наличие кластеров объектов в заданном пространстве признаков и наличие связанных признаков.

Выводы. В данной работе выполнены этапы сбора, формализации и

предварительного анализа исходных признаков и предложен способ создания информационной структуры БД КСППР для диагностики МЗ, который позволяет выполнять добавление новых признаков и обновление уже существующих признаков без изменения структуры БД.

Список литературы: 1. *Гречанина Ю.Б.* Клінічно-генетична і молекулярна діагностика мітохондріопатій // Ультразвукова перинатальна діагностика. – 2005. – № 18. – С. 148–163. 2. *Wallace C.D., Brown D.M., Lott T.M.* Mitochondrial Genetics // Gene. – 1999. – P. 277– 317. 3. *Гречанина Е.Я.* Проблемы клинической генетики. – Харьков: КВАДРАТ, 2003. – 420 с. 4. *Гречанина Ю.Б., Васильева О.В.* Клинические "маски" митохондропатий // Медицина третьего тысячелетия: збірник тез. – Харків, 2007. – С. 80. 5. *Гречанина Е.Я.* Молекулярная медицина: реальность и перспективы. – Харьков, 2007. – 120 с. 6. *Гречанина Ю.Б.* Стандарты для визначення мітохондріопатій // Ультразвукова перинатальна діагностика. – 2003. – № 16. – С. 131–145. 7. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с. 8. *Александров В.В., Алексеев А.И., Горский Н.Д.* Анализ данных на ЭВМ (на примере системы СИТО). – М.: Финансы и статистика, 1990. – 192 с. 9. *Лбов Г.С.* Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. – Новосибирск: Наука, 1981. – 157 с. 10. *Дюк В.А.* Компьютерная психодиагностика. – СПб.: Братство, 1994. – 364 с.

УДК 61:004.8

Створення інформаційної структури бази даних комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень для діагностики мітохондріальних захворювань / Бойко Д.О., Васильєва О.В., Галкін Д.О., Гречанина Ю.Б., Поворознюк А.І., Філатова Г.Є. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 14 – 22

У роботі розглядається задача формалізації вхідних даних при діагностиці мітохондріальних захворювань. В якості вхідних ознак було розглянуто фенотип, біохімічні дослідження крові і сечі, а також захворювання в родоводі і супутні діагнози. В результаті розроблені довідники для ведення БД. Робота ведеться спільно з Харківським спеціалізованим медико-генетичним центром. Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: формалізація вхідних даних, мітохондріальні захворювання, фенотип, біохімічні дослідження крові і сечі, база даних.

UDC 61:004.8

Creation of database informative structure of decisions acceptance support computer system for mitochondrial diseases diagnostics / Boyko D.A., Vasylieva O.V., Galkin D.A., Grechanina J.B., Povoroznyuk A.I., Filatova A.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 14 – 22.

The task of source data formalization in mitochondrial diseases diagnosing is considered in work. As source signs were considered phenotype, biochemical examination of blood and urine, and genealogical diseases and attendant diagnoses. As a result reference books in operating databases were worked out. The work is conducted with Kharkov specialized medico-genetic centre. Figs: 2. Tabl: 2. Refs: 10 titles.

Key words: source data formalization, mitochondrial diseases, phenotype, biochemical examination of blood and urine, databases.

Поступила в редакцію 19.05.2009

М.А. ВОЛК, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков)

ПРОЦЕССНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ИХ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Рассмотрен формальный аппарат описания распределенных имитационных моделей на основе процессной алгебры и структурной реализации программного представления моделей. Приводится структура распределенной имитационной модели, в которой выделяются программные данные модели как средство представления ее состояний; вводится множество активностей, управляющих данными имитационной модели.

Ключевые слова: распределенные имитационные модели, процессная алгебра, данные модели, активность.

Постановка проблемы. В настоящее время нет достаточно эффективного формального аппарата описания распределенных имитационных моделей, систем моделирования и алгоритмов их взаимодействия. Существующие имеют общий недостаток, заключающийся в высоком уровне абстракций, который не позволяет достаточно формализовать процесс построения моделирующей среды с целью создания распределенных моделей и автоматизации управления ими.

Анализ литературы. Наиболее известными способами описания процессов в таких системах являются структурно-алгоритмический [1], на основе процессной алгебры [2 – 4], объектно-ориентированный, например, на основе стандарта HLA (High Level Architecture) [5, 6]. Все они обладают недостатками, сформулированными выше.

Структурно-алгоритмический способ показывает жесткую структуру имитационной модели, объединяющую в одном вычислительном процессе как модель, так и систему моделирования. Такой подход эффективен либо в случае написания закрытых моделей, либо в том случае, когда модель создается непосредственно внутри моделирующей среды (например, системы транзактного моделирования, такой как GPSS [7]).

Процессная алгебра дает хороший математический аппарат описания процессов, но не отвечает на вопрос практической реализации этих процессов.

Появление стандартов, таких как HLA, направлено, главным образом, на унификацию обмена данными между моделями и не затрагивает особенности внутренней организации моделей.

Цель статьи. В данной статье предлагается формальный аппарат представления имитационных моделей на основе процессной алгебры [2, 3], который позволяет представить вычислительные процессы, протекающие в имитационной системе моделирования, с естественной (программной) точки

зрения. Он позволяет описывать не только элементы имитационной среды, но и учитывать специфику операционной системы, аппаратных ресурсов и других компонентов, участвующих в процессе эксперимента. Основной идеей предлагаемого аппарата является единое представление таких важных понятий имитационных моделей как состояние, модельное время, входные и выходные переменные, в качестве данных программы.

Структура имитационной модели. Введем понятие распределенной имитационной модели как некоторой программы (совокупности программ), исполняемой на вычислительном ресурсе:

$$\begin{cases} IM = \{IM_i, i = \overline{1, I}\}, \\ IM_i = \{dm_i, A_i, i = \overline{1, I}\}, \\ A_i = \{A_i^j, j = \overline{1, J}\}, \end{cases} \quad (1)$$

где IM_i – частные имитационные модели; I – количество частных имитационных моделей в системе; dm_i – данные модели (или, с точки зрения программы, данные программы); A_i – множество из J активностей (подпрограмм), обслуживающих i -ую имитационную модель.

В случае монолитной имитационной модели ($I = 1$) ее декомпозиция формальными методами невозможна. В остальных случаях предполагается возможность исполнения любой частной модели IM_i на отдельном ресурсе.

Основываясь на особенностях программного представления модели, будем утверждать, что состояние модели полностью определяется содержимым данных модели (программы), а изменение состояния модели заключается в изменении данных. Изменение данных модели могут производить два субъекта вычислительного процесса: управляющая программа моделирования (УПМ) и активности самой модели A_i . Построение систем, в которых данные одной частной модели непосредственно изменяются другой, рассматривать не будем. Также не будем рассматривать модели, изменяемые под воздействием операционной системы и других программ. Такие модели очень редки и практически не используются.

Важными понятиями для любой имитационной модели являются событие (event) e , которое приводит, в общем случае, к изменению состояния модели, и процесс P , который является ответом на это событие. В обозначениях процессной алгебры [1] последовательность *событие*→*процесс* обозначается как $e \rightarrow P$ (за событием e следует выполнение процесса P). В нашем случае непосредственно выполнение процесса реализуется активностями, таким образом, $P = \{A_i\}$.

Большинство расширений процессной алгебры включает понятие *состояния* s объекта (модели, программы, процесса) и понятие перехода

объекта из одного состояния (i) в другое (j): $s_i \xrightarrow{P} s_j$. Осуществление перехода происходит под воздействием какого-либо процесса P .

При помощи перечисленных понятий возможно представление динамических особенностей поведения сложных параллельных систем. Однако, с точки зрения практики, важно не столько отразить смысловую функциональность процессов, протекающих в моделируемой системе (это произойдет автоматически), сколько уделить внимание реализации процессов в терминах реальной среды – программного обеспечения. В связи с этим введем еще дополнительные обозначения.

Состояние модели s и события e будем непосредственно связывать с данными модели dm : $s, e \subset dm$. Действительно, любая программа (в том числе и программная модель) определяется как совокупность данных и кода, который эти данные изменяет в процессе исполнения программы (моделирования). В этом случае понятия *изменения состояния модели* и *изменения данных модели* будем считать эквивалентными. Или, другими словами, можно сказать, что данные модели являются физической реализацией абстрактного понятия состояния модели.

Определим, что состояние и данные модели являются разными понятиями с точки зрения аналитики моделируемой системы. Так, любая система в одном и том же состоянии может иметь разные входные и выходные данные, что отражается на данных модели. Таким образом, понятие данных модели несколько шире и включает в себя как данные, отвечающие за состояние модели, так и различные переменные, отвечающие, например, за связь с системой моделирования, журнализацию событий и др. Термин эквивалентности лучше употреблять в сочетании *состояние программной модели*. В этом случае понятно, что состояние программы однозначно определяется совокупностью всех переменных (данных) и текущей исполняемой командой. Любые изменения, происходящие в модели, приводят к изменению данных под влиянием одной из активностей:

$$dm \xrightarrow{A_i} dm'$$

Описанное выше представление открывает широкие возможности для реализации имитационной модели в физической программной среде.

Локальные и глобальные данные модели.

Элементами имитационной модели являются активности A_i и данные (dm_i) (см. рис. 1). Активности A_i осуществляют функционирование на основе данных модели. Выделяя среди всей совокупности данных dm_i те, которые доступны только из самой частной модели $ИМ_i$, мы приходим к понятию локальных данных модели $dm_i^л$. Управляющая программа моделирования

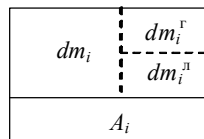


Рис. 1. Структура частной имитационной модели

(УПМ) выделяет требуемую область памяти данных для активности A_i и передает все полномочия по ее использованию алгоритмам i -й подмодели. В случае, если все операции с dm_i^n осуществляются исключительно кодом активностей из множества A_i , мы имеем дело с *обычными локальными данными модели*. Отнесем к этому же классу данных те данные, которые может использовать УПМ только для функций чтения, так как они не изменяют состояния частной модели. Обычные dm_i^n размещаются совместно с кодом активности, реализуя, таким образом, свойство инкапсуляции [7].

В результате декомпозиции системы, в модели могут оказаться две функционально одинаковые активности (две частные модели одного и того же объекта). В этом случае, формально должны быть сформированы два множества активностей A_i и A_j . Алгоритмы функционирования двух активностей эквивалентны друг другу, а конкретное состояние активности однозначно определяется множеством переменных состояния, которые и образуют локальные данные модели. Таким образом, наличие эквивалентных по функциональному назначению активностей позволяет нам реализовать возможность использования одной и той же активности для моделирования

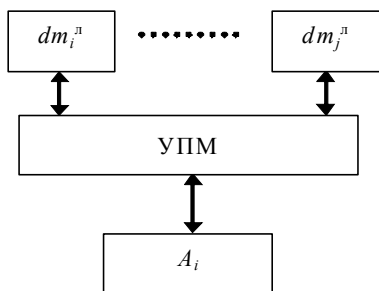


Рис. 2. Использование одного алгоритма для моделирования одинаковых активностей

двух (и более) объектов. Однако, в этом случае, обе имитационные подмодели должны находиться на одном ресурсе. A_i и A_j используют разные массивы dm_i и dm_j (см. рис. 2). Использование такого механизма приводит нас к *распределенным локальным данным модели*. Если эквивалентные активности моделируются на одном ресурсе (т.е. последовательно в рамках этого ресурса), для повышения эффективности его использования целесообразно хранить только одну копию алгоритма A_i и коллекцию данных $\bigcup_i dm_i^n$, где i – соответствует числу

активностей данного функционального типа. Если же есть возможность исполнять данные активности параллельно на нескольких ресурсах, то УПМ может создать несколько экземпляров A_i , число которых, в общем случае, не равно числу моделируемых эквивалентных активностей A_i , реализуя, тем самым, механизм распределенных локальных данных модели.

Во многих случаях при построении систем моделирования необходимо учитывать специфику управления локальными данными модели dm_i^n . При моделировании сложных систем в конкретных режимах, отдельные элементы системы могут не менять своего состояния на протяжении значительного

интервала времени t_3 . В этом случае $dm_i^{\text{л}}$, соответствующие долгое время неисполняемым активностям, могут быть временно выгружаемыми из оперативной памяти, реализуя механизм *виртуальных локальных данных модели*. Данный механизм может быть реализован на основе распространенных способов управления виртуальной памятью, широко применяемых в операционных системах [9]. В общем случае, каждому блоку памяти $dm_i^{\text{л}}$ ставится в соответствие идентификатор активности, несущий информацию либо о частоте использования $dm_i^{\text{л}}$, либо о времени последнего обращения к памяти. Те $dm_i^{\text{л}}$, обращение к которым происходит редко, могут быть выгружены из оперативной во внешнюю память. Эти же рассуждения можно перенести и на редко используемые активности. Современные операционные системы, как правило, реализуют свои механизмы управления виртуальной памятью, поэтому указанные свойства реализуются автоматически.

Очевидно, что частная модель любого элемента системы должна взаимодействовать с другими частными моделями. Иначе этот элемент может быть удален из системы без ущерба ее функционирования. Каким же образом осуществляется эта связь? Посредством изменения данных модели. Данные модели, которые могут быть изменены активностями, не входящими в активности частной модели, будем называть *глобальными данными модели* $dm_i^{\text{г}}$.

Аналогично локальным данным, в системе моделирования для глобальных данных могут быть использованы механизмы распределенных и виртуальных данных. Кроме того, система моделирования (УПМ) должна выполнять функции по диспетчеризации, синхронизации, ограничению доступа к таким данным. На рис. 3 представлена схема организации обращения к глобальным и локальным данным модели, где модуль ОС соответствует функциям операционной системы по обеспечению доступа к памяти.

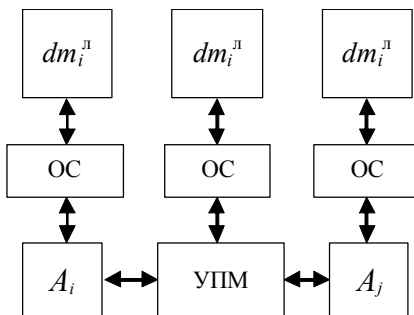


Рис. 3. Схема обращения к локальным и глобальным данным

Если допускается непосредственное обращение к памяти, то доступ к глобальным данным осуществляется средствами управляющей программы моделирования.

В условиях распределенных ресурсов использование глобальной памяти данных усложняется из-за следующих причин:

- возможно одновременное обращение к памяти со стороны нескольких активностей и УПМ;
- данные, обращение к которым происходит из активности, расположенной на одном из ресурсов, могут находиться на другом ресурсе;
- порядок и момент обращения к памяти со стороны активностей, в общем случае, носит стохастический характер;
- модификация данных, выполняемая одной из активностей, в некоторых случаях не должна влиять на функционирование других активностей.

Наиболее рациональным является сосредоточение функций управления глобальными данными в рамках одного ресурса (хотя сами данные могут быть распределены между ресурсами). Целесообразно размещать механизм глобальных данных совместно с главной УПМ, хотя возможен вариант выделения глобальным данным отдельного ресурса.

В процессе своего функционирования, активность A_i обращается к глобальным данным в целях реализации одного из возможных действий: чтения либо записи. Со стороны A_i локальные и глобальные данные одинаковы. Их различие воспринимается системой моделирования при компиляции модели, для чего в языке описания модели должны быть предусмотрены соответствующие синтаксические конструкции. УПМ_{*i*} удаленной системы моделирования отслеживает данное обращение к глобальной памяти и пересылает запрос главной УПМ. Послав запрос, удаленная УПМ_{*i*} приостанавливает выполнение алгоритма A_i -й активности до получения ответа о доступе к данным, и может в это время перейти к выполнению алгоритма активности A_j .

Запрос на обращение к глобальной памяти поступает в очередь обращений главной УПМ. Главная УПМ представляет собой последовательную машину и в определенный момент времени может модифицировать только один из модулей глобальной памяти, таким образом, исключая одновременную модификацию данных несколькими активностями. Диспетчер памяти выбирает из очереди обращений очередной запрос и обращается уже непосредственно к модулям глобальной памяти.

Конфликты взаимосвязи моделей. При реализации описанной организации имитационного моделирования возможны конфликты. Рассмотрим такой пример (рис. 4). Пусть в имитационной модели ИМ выделены две частные подмодели ИМ₁ и ИМ₂; выход подмодели ИМ₁ является входом ИМ₂. Реализация связи ИМ₁ и ИМ₂ осуществляется путем хранения в глобальной памяти данных значения $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$. При изменении внутреннего

состояния, одна из активностей A_1^j , соответствующая ИМ₁, меняет значение $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$. ИМ₂ в процессе своего функционирования отслеживает значения входа $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$ для реализации ветвления алгоритма.

Рассмотрим два момента времени t_k и t_l ($t_k > t_l$). Пусть в t_k активна ИМ₁, а в момент времени t_l активны ИМ₁ и ИМ₂, причем ИМ₁ меняет значение $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$ в оба момента времени, а ИМ₂ анализирует состояние $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$ только в момент времени t_l . Вследствие того, что со стороны системы моделирования порядок выполнения активностей, в общем случае, является случайным, ИМ₂ может с равной вероятностью прочесть из памяти как значения $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r(t_k)$ так и $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r(t_l)$. Такая ситуация порождает неопределенность, которая в большинстве реальных случаев недопустима вследствие того, что развитие процесса в моделируемых системах является детерминированным. Решением подобного конфликта является инициализация моделью или УПМ одной из активностей ИМ₂, либо помещение в очередь событий нового события с текущим временем t_k .

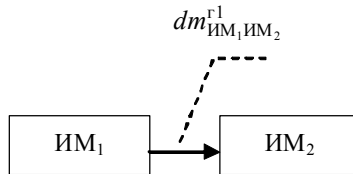


Рис. 4. Взаимодействие компонент типа
"Выход-вход"

Подобных конфликтных ситуаций в системе с распределенными глобальными данными может быть множество. Для их разрешения предлагается выделить в системе моделирования активность разрешения конфликтов. Разрешение наиболее распространенных конфликтов можно реализовать непосредственно в УПМ. Например, для рассмотренного выше примера можно предложить следующую схему. Выделить в глобальной памяти две копии $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$, причем одну из них использовать для чтения, а другую для записи при условии $t_M = const$. При изменении t_M производить копирование нового значения в блок памяти $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$, предназначенный для чтения.

Однако, в системе моделирования при оперировании глобальными данными могут возникать конфликты, не предусмотренные алгоритмами

УПМ. Например, в ситуации (см. рис. 5), когда подмодели (ИМ₁ и ИМ₂) имеют общий выход и обе одновременно (с точки зрения модельного времени) записывают в $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$ новые значения.

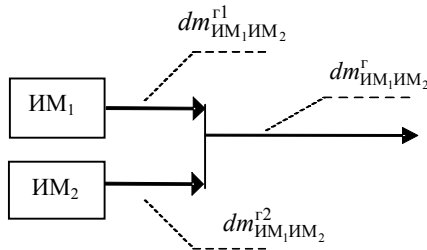


Рис. 5. Взаимодействие компонент типа "общий выход"

В большинстве систем моделирования новое значение $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$ определяется тем, какая из двух активностей выполнялась последней. Но общее правило может не удовлетворять логике работы модели в конкретной ситуации. С другой стороны, разрешение подобного конфликта может быть очевидным только со стороны разработчика модели. Поэтому предлагается в УПМ ввести возможность создания средств разрешения конфликтов пользователем. Примером такого механизма выступает функция разрешения шины в языке VHDL [10]. В рассмотренном нами примере действия системы моделирования могут быть следующими. Диспетчер памяти сохраняет оба значения, а по окончании временного цикла ($t_m = const$), передает оба значения "функции разрешения конфликта пользователя", которая и определяет новое значение $dm_{ИМ_1ИМ_2}^r$. Активность, реализующую подобную функцию в системе моделирования будем обозначать $A_{конфл}$. Заметим, что подобная активность может быть реализована на трех уровнях: на уровне частных моделей, на уровне имитационной модели или на уровне УПМ.

Журнализация изменения данных модели. Возможность перехода модели из состояния в состояние непосредственно связана с изменением данных модели. Возможность возврата в одно из прошлых состояний модели реализуется путем сохранения данных модели в определенные моменты времени в прошлом, что можно осуществить одним из двух способов:

1. Сохранять все данные модели (дампы памяти модели) в моменты продвижения модельного времени. Данный способ дает надежный механизм возврата в любой момент в прошлое, для которого существует дамп памяти. Однако, этот способ ведет к большим временным и ресурсным затратам, так как требуется значительное процессорное время на копирование данных и

линейно растущий объем памяти для хранения всех состояний модели на протяжении времени моделирования.

2. Запоминание изменения данных модели. Если объем данных модели значительно превышает объем изменяемых значений, то можно запоминать адрес изменяемых данных и их новое значение. Со временем образуется цепочка таких изменений. Для того, чтобы вернуть модель в прошлое, достаточно пройти по цепочке в обратном порядке.

Оба этих способа составляют смысл процесса журнализации состояний имитационной модели.

Введем несколько новых активностей:

$A_{\text{дамп}}(t_k)$ – активность, позволяющая модели запомнить все свои данные в момент времени t_k .

$A_{\text{фикс}}(dm_i, t_k)$ – активность, фиксирующая изменение значения элемента данных dm_i в момент времени t_k .

Алгоритм журнализации планируется представить в виде отдельной работы.

Поведение частной модели. Любая частная модель должна содержать в себе активность, отражающую поведение объекта в текущий момент времени. В различных концепциях построения программной модели таких активностей (или функций программы) может быть несколько, каждая из которых вызывается УПМ в зависимости от состояния модели и входящих данных. Однако, в любом случае возможна реализация поведенческой активности в виде одного программного модуля (функции), который может в дальнейшем вызывать другие функции программы. Поясним это утверждение примером.

Пусть, программная модель содержит две активности A_1 и A_2 , выполнение которых зависит от входного сигнала x , $x \in \{x_1, x_2\}$:

if $x = x_1$ then A_1 else if $x = x_2$ then A_2 .

В этом случае всегда можно реализовать активность A_3 , которая и реализует приведенное условие:

$A_3 \rightarrow \{x_1 A_1 \mid x_2 A_2\}$.

Если вспомнить, что активность – это всего лишь функция программы, то реализация такой активности очевидна. Таким же образом можно доказать возможность объединения в одну активность нескольких, инициализирующихся в зависимости от состояния (внутренних данных частной модели), а также цепочки нескольких активностей одной модели.

Будем считать, что в частной модели присутствует одна поведенческая активность $A_{\text{пов}}$, которая моделирует поведение объекта:

$dm \xrightarrow{A_{\text{пов}}} dm'$.

Активность $A_{\text{пов}}$ изменяет данные модели в зафиксированный момент модельного времени.

Выводы. В данной работе была проанализирована одна из основных составляющих программных распределенных имитационных моделей – данные. Показано, что данные являются тем элементом имитационной модели, который полностью отражает ее состояние. Рассмотрены основные виды данных модели, множество операции над ними. Проведен анализ активностей, которые должна содержать программная имитационная модель для управления данными.

В дальнейшем планируется создать функционально полный набор активностей для работы с данными модели, активностей УПМ и представить в терминах процессной алгебры проведение самого имитационного моделирования.

Список литературы: 1. *Максимей И.В.* Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 222 с. 2. *Хоар Ч.* Взаимодействующие последовательные процессы. – М.: Мир, 1989. – 264 с. 3. A Calculus for Communicating Systems, LNCS92, 1980. – 171 p. 4. The Space and Motion of Communicating Agents, to appear, Cambridge University Press, 2009. – 200 p. 5. IEEE STD 1278.1-1995. IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation – Application Protocols. N.Y.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1995. 6. *Allen R., Garlan D., Ivers J.* Formal modeling and analysis of the HLA component integration standard / Proc. of the 6th ACM SIGSOFT Intern. Symp. on Foundations of Software Engineering, 1998. – P. 70-79. 7. *Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engel, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston.* Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition). – Addison-Wesley Professional, 2007. – 720 p. 8. *Шрайбер Т. Дж.* Моделирование на GPSS. – М.: Машинобудування, 1980. – 592 с. 9. *William Stallings.* Operating Systems: Internals and Design Principles, 8th Editions. – Prentice Hall, 2008. – 800 p. 10. *Суворова Е.А., Шейнин Ю.Е.* Проектирование цифровых систем на VHDL. – СПб.: БХВ, 2003. – 576 с.

УДК 681.324

Представлення станів розподілених імітаційних моделей у вигляді процесів з урахуванням специфіки програмної реалізації / Волк М.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 23 – 32.

Розглянуто формальний апарат опису розподілених імітаційних моделей на основі процесної алгебри і структурної реалізації програмного представлення моделей. Приводиться структура розподіленої імітаційної моделі, у якій виділяються програмні дані моделі як засіб представлення її станів; уводиться множина активностей, керуючих даними імітаційної моделі. Л.: 5. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: розподілені імітаційні моделі, процесна алгебра, дані моделі, активність.

UDC 681.324

Process algebra for state description of distributed simulation model with program realization / Volk M.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 23 – 32.

The formal description of the distributed simulation models on the basis of process algebra and structural implementation of program representation of models is considered. The structure of the distributed simulation model in which the program given models as a resource of representation of its states are selected is resulted; the set activities of manage the simulation model data is entered. Figs: 5. Refs: 10 titles.

Key words: distributed simulation model, process algebra, model data, activity.

Поступила в редакцию 21.04.2009

В.В. ГОГОТОВ, аспирант НТУ "ХПИ"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, ПОРОЖДАЕМОЙ МНОГОЧЛЕНОМ С МИНИМАЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ РАЗЛОЖЕНИЯ

Проведен анализ влияния минимального элемента разложения в структуре разложения на длину генерируемой последовательности. Определена периодическая структура последовательности, порождаемой многочленом с минимальным элементом разложения. Получена математическая зависимость, позволяющая определять длину формируемой последовательности по виду разложения.

Ключевые слова: многочлен с минимальным элементом разложения, периодическая структура, длина формируемой последовательности.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время известны несколько областей, где случайные и псевдослучайные числа широко используются в процессе решения задач. К таким областям относятся статистическое моделирование, системы передачи информации, идентификация объектов управления, вероятностное тестирование, защита информации в сетях и другие.

Для решения этих задач необходимо вырабатывать "несметные количества случайных чисел с самыми разнообразными свойствами" [1, 2]. По сообщению японских учёных, "согласно статистическим данным, среди используемых подпрограмм математической библиотеки большого ВЦ Токийского университета, подпрограммы генерации равномерно распределённых случайных чисел в последнее время находятся в группе самого высокого ранга использования" [3]. Наибольшее значение для практики имеют числа с равномерным законом распределения. Одними из основных элементов в таких системах являются генераторы псевдослучайных последовательностей, от качества и быстродействия которых существенно зависят результаты решения поставленных задач.

Известны фундаментальные работы в области генерирования псевдослучайных последовательностей и чисел, а также большое количество патентов и авторских свидетельств, которые говорят о большом интересе к этим областям. Решению таких задач посвящены работы ученых: Иванова М.А., Клейнена Д., Кузнецова В.М., Гришкина С.Г., Морозова А.М., Корна Г., Орлова М.А., Чугункова И.В., Яковлева В.В., Ярмолика В.Н. и других.

Однако влияние минимального элемента разложения ($x \oplus 1$) в структуре разложения на длину генерируемой последовательности изучено еще не достаточно.

В отечественной и зарубежной литературе основное внимание при формировании псевдослучайных чисел уделено генераторам псевдослучайных последовательностей, построенных на основе регистра сдвига с линейной обратной связью (с сумматорами по модулю два), причем в большинстве работ рассматриваются последовательности максимальной длины. Г. Корн в работе [4] рассматривает цифровой метод формирования шума при разработке аналоговой машины ASTRAC II в Аризонском университете (США), предназначенной для статистической обработки реализаций случайных процессов. Генератор двоичной последовательности состоит из 25-разрядного сдвигового регистра и одного сумматора по модулю 2. В работе [5] приводится пример сочетания цифровых и аналоговых методов при формировании аналогового сигнала в виде белого шума. В [6 – 13] рассмотрены свойства и особенности последовательностей максимальной длины, показан подход к построению генераторов псевдослучайных последовательностей, получения матриц состояний. Основные свойства и структурные особенности последовательностей максимальной длины также описаны в [14, 15]. Однако [16] "значительная часть установленных здесь фактов – не доказанные теоремы, а эмпирические наблюдения, ожидающие смелых исследователей".

Поэтому исследование периодических структур и статистических характеристик последовательностей, формируемых генераторами псевдослучайных последовательностей на основе регистра сдвига с сумматорами по модулю три, является актуальной задачей, имеющей существенное значение для статистического моделирования.

Целью статьи является получение периодической структуры последовательности, порождаемой многочленом $f(x) = (x \oplus_3 1)f_2(x)$.

Основная часть. Многочлен $f(x)$ степени N с коэффициентами из $GF(3)$ называется неприводимым, если он не делится ни на один другой многочлен степени меньшей N и большей 0. Многочлен $f(x)$ степени N с коэффициентами из $GF(3)$ называется примитивным, если он не делит нацело ни один многочлен вида $x^S - 1$, где $S < L^N - 1$.

Периодическую структуру последовательностей в общем случае представляют в виде:

$$[\mu_1(L_1), \mu_2(L_2), \dots, \mu_i(L_i)], \quad (1)$$

где L_i – длина i -го периода, μ_i – количество периодов длиной L_i .

Известно, что если многочлен $f(x)$ степени N с коэффициентами из $GF(3)$ неприводим и примитивен, то периодическая структура линейно-рекуррентной последовательности имеет вид $[1(1), 1(3^n - 1)]$. При этом на всех выходах регистра формируются последовательности n -го порядка, а запрещенным является состояние $(0\ 0 \dots 0)$.

Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей на регистрах сдвига с обратной связью, который описывается полиномом $f(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$, приведена на рисунке.

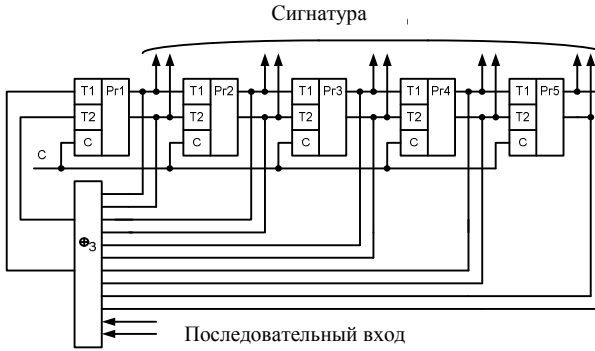


Рис. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей на регистрах сдвига с обратной связью с $f(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$

Работа генератора псевдослучайных последовательностей на регистрах сдвига с обратной связью описывается с помощью матрицы состояний, которая для схемы рис. имеет следующий вид:

```
112121110220200100121121102011122111101111120202012210022200010121200220121012011201202221100102000210000
011212111022020010012112110201112211110111112020201221002220001012120022012101201120120222110010200021000
0011212111022020010012112110201112211110111112020201221002220001012120022012101201120120222110010200021000
000112121110220200100121121102011122111101111120202012210022200010121200220121012011201202221100102000210
0000112121110220200100121121102011122111101111120202012210022200010121200220121012011201202221100102000210
00000112121110220200100121121102011122111101111120202012210022200010121200220121012011201202221100102000210
```

Особенность в периодическую структуру линейно-рекуррентной последовательности вносит множитель $(x \oplus_3 1)$. Поэтому рассмотрим недостаточно исследованные и наиболее интересные для практики случаи, когда многочлен $f(x)$ имеет вид:

$$f(x) = [f_1(x)]^i \cdot f_2(x) \cdot \dots \cdot f_r(x), \quad (2)$$

где $f_j(x)$, $j = \overline{2, r}$ – неприводимые многочлены степени n_j , $f_1(x) = (x \oplus_3 1)$,

$$\sum_{j=2}^r n_j + i = n.$$

Каждому сомножителю $f_j(x)$ как неприводимому многочлену соответствует свой период L_i . При $n_i > 1$ период L_i не обязательно будет максимальным и равным, поскольку $f_j(x)$ может быть не примитивным.

Символически периодическая структура соответствующей последовательности записывается в виде $[1(1), \mu_i(L_i)]$. В этом случае периодическая структура, соответствующая многочлену (2), представляет собой совокупность простых и комбинационных периодов и определяется как формальное произведение членов $[1(1) + \mu_i(L_i)]$. В случае, если

$$f(x) = f_i(x) \cdot f_j(x) \quad (3)$$

и $f_i(x)$ и $f_j(x)$ имеют периодические структуры $[1(1), \mu_i(L_i)]$ и $[1(1), \mu_j(L_j)]$ соответственно, то периодическая структура, соответствующая многочлену (3), определяется как:

$$[1(1) + \mu_i(L_i)] \cdot [1(1) + \mu_j(L_j)] = 1(1) + \mu_i(L_i) + \mu_j(L_j) + \mu_{ij}(L_{ij}), \quad (4)$$

где L_{ij} – наименьшее общее кратное L_i и L_j , а $\mu_{ij} = \mu_i \mu_j(L_i, L_j)$, где (L_i, L_j) – наибольший общий делитель L_i и L_j .

Рассмотрим случай, когда многочлен $f(x)$ в выражении (2) имеет вид:

$$f(x) = (x \oplus_3 1) f_2(x), \quad (5)$$

где многочлен $f_2(x)$ степени $(n-1) \geq 3$ неприводим и примитивен.

При многочлене $(x \oplus_3 1)$ периодическая структура последовательности имеет вид $[1(3)]$. Тогда определим периодическую структуру последовательности, порождаемой многочленом (5):

$$[1(3)] \cdot [1(1) + 1(3^{n-1} - 1)] = 1(3) + 1(3^{n-1} - 3). \quad (6)$$

Многочлен $f(x) = x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$ в выражении (2) имеет вид: $f(x) = (x \oplus_3 1)(x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 1)$.

Матрица состояний для многочлена $f(x) = x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$ имеет вид:

```

112221221000221112112000
011222122100022111211200
002211121120001122212210
000221112112000112221221

```

Для заданного многочлена длина формируемой последовательности равна $l = 24$.

Воспользовавшись (6), рассчитаем длину формируемой генератором последовательности, которая описывается многочленом третьей степени: $3^{n-1} - 3 = 3^{4-1} - 3 = 3^3 - 3 = 27 - 3 = 24$.

Как видно из расчетов, результаты, полученные с помощью соотношения (6), и с помощью построенной матрицы состояний для заданного многочлена третьей степени полностью совпали.

Многочлен $f(x) = x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x \oplus_3 1$ в форме (2) имеет вид:
 $f(x) = (x \oplus_3 1)(x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1)$.

Матрица состояний для многочлена $f(x) = x^5 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x \oplus_3 1$ имеет вид:

```
111221100121201002102112122021002210000222112200212102001201221211012001120000
011122110012120100210211212202100221000022211220021210200120122121101200112000
001112211001212010021021121220210022100002221122002121020012012212110120011200
000222112200212102001201221211012001120000111221100121201002102112122021002210
000022211220021210200120122121101200112000011122110012120100210211212202100221
```

Для заданного многочлена длина формируемой последовательности равна $l = 78$.

Воспользовавшись (6), рассчитаем длину формируемой генератором последовательности, которая описывается многочленом четвертой степени:
 $3^{n-1} - 3 = 3^{5-1} - 3 = 3^4 - 3 = 81 - 3 = 78$.

Как видно из расчетов, результаты, полученные с помощью соотношения (6), и с помощью построенной матрицы состояний для заданного многочлена четвертой степени полностью совпали.

Выводы. В результате исследования была получена математическая зависимость, позволяющая определять длину формируемой последовательности по виду разложения. Определена периодическая структура последовательности, позволяющая рассчитать длину матрицы состояний. Результаты исследования позволят разработать методику синтеза генераторов псевдослучайных последовательностей на основе регистров сдвига с сумматорами по модулю три.

Список литературы: 1. *Иванова В.М.* Случайные числа и их применение. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 111 с. 2. *Клейнен Д.* Статистические методы в имитационном моделировании. – М.: Статистика, 1978. – 221 с. 3. *Fushimi Masanori.* Методы генерации псевдослучайных чисел: Дзехо серес // ВЦП. – 1980. – № Г-32668. – Vol. 21. – № 9. – Р. 968 – 974. 4. *Корн Г.* Моделирование случайных процессов на аналоговых и аналогово-цифровых машинах. – М.: Мир, 1968. – 315 с. 5. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. В 2-х томах. – Т. 2. – М.: Мир, 1983. – 590 с. 6. *Иванов М.А., Чугунков И.В.* Теория, применение и оценка генераторов псевдослучайных последовательностей. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с. 7. *Зензин О.С., Иванов М.А.* Стандарт криптографической защиты XXI века – AES. Теория конечных полей / Под ред. М.А. Иванова. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2002. – 176 с. 8. *Питерсон У., Уэлдон Э.* Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. 9. *Рысованный А.Н., Гоготов В.В.* Выбор полиномов для нелинейных регистров сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины // Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2007. – Вип.1. – С. 77 – 79. 10. *Рысованный А.Н., Гоготов В.В.* Методика построения нелинейного генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2008. – Вип. № 5 – 6. – С. 21 – 25. 11. *Рысованный А.Н., Гоготов В.В.* Выбор полиномов с $DEGP(x) = 5$ для сигнатурных анализаторов в поле Галуа $GF(3)$ по критерию формирования последовательности максимальной длины // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2007. – Вип. 2 (14). – С. 126 – 128. 12. *Макуильямс Ф. Дж., Слоан Н. Дж. А.* Псевдослучайные

последовательности и таблицы // ТИИЭР. – 1976. – № 12. – С. 80–95. **13.** Блейхум Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. – М.: Мир, 1986. – 576 с. **14.** Arvillias A.C., Maritsas D.G. Toggle-Registers Generating in Parallel k^{th} Decimaitions of m-Sequences $x^p + x^k + 1$ Design Tables // IEEE Transaction on Computers. V. C-28. – 1979. – № 2. – P. 89-100. **15.** Pradhan D.K., Hsiao M.Y., Patel A.M., Su S.Y. Shift Registers Designed for on-line Fault Detection. Proceedings of 8th International Conference on Fault-Tolerant Computing. – 1978. – P. 173-178. **16.** Арнольд В.И. Динамика и статика полей Галуа. Курс лекций. – М.: Мехмат МГУ. – 2004. <http://ftp.mccme.ru/>

Статья представлена д.т.н., проф. И.А. Фурманом.

УДК 004.272.43

Визначення періодичної структури послідовності, що породжується багаточленом з мінімальним елементом розкладання / Гоготов В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 33 – 38.

Проведений аналіз впливу мінімального елемента розкладання в структурі розкладання на довжину послідовності, що генерується. Визначена періодична структура послідовності, що породжується багаточленом з мінімальним елементом розкладання. Отримана математична залежність, яка дозволяє визначати довжину формованої послідовності по вигляду розкладання. Л.: 1. Бібліогр.: 16 назв.

Ключові слова: багаточлен з мінімальним елементом розкладання, періодична структура, довжина формованої послідовності.

UDC 004.272.43

The determination of periodic structure of sequence formed by a polynomial with the minimal element of decomposition / Gogotov V.V. // Herald of the National Techical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 33 – 38.

There was the analysis of influence of minimal element of decomposition in the structure of decomposition on the length of the generated sequence. The periodic structure of sequence, formed by a polynomial with the minimal element of decomposition, is determined. We got the mathematical relation allowing to determine the length of the formed sequence according to the decomposition. Figs: 1. Refs: 16 titles.

Key words: polynomial with the minimal element of decomposition, a periodic structure, the length of the formed sequence.

Поступила в редакцію 21.04.2009

И.Ю. ГРИШИН, канд. техн. наук, доц. Республиканского высшего учебного заведения "Крымский гуманитарный университет" (г. Ялта)

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе рассмотрены основные подходы к моделированию измерительной информационной системы на примере радиолокационного комплекса обеспечения испытаний баллистических ракет и ракет-носителей. Модель включает в себя два основных модуля: модуль формирования зоны обзора радиолокационного комплекса в пространстве; модуль формирования траекторий движения ракет. Представлен математический аппарат, используемый при моделировании, а также пример реализации разработанной модели.

Ключевые слова: моделирование, информационная система, радиолокационный комплекс, зона обзора, траектория движения ракеты.

Постановка проблемы. При формировании технического задания на разработку измерительных информационных систем (ИИС), а также в ходе самой разработки, важно определить соответствие проектируемой системы ее будущему предназначению и возможность выполнять поставленные задачи. В частности, при проектировании радиолокационных комплексов (РЛК) обеспечения испытаний баллистических ракет (БР) и ракет-носителей, чрезвычайно важно знать временные и геометрические характеристики нахождения испытуемой ракеты в зоне обзора такого комплекса. К рассматриваемым параметрам можно отнести: время нахождения в зоне обзора, точки входа в зону обзора и выхода из нее, взаимное расположение зоны обзора и траектории ракеты, другие параметры.

Проведение натурных экспериментов часто оказывается невозможным на начальных стадиях разработки вследствие высокой их стоимости.

Моделирование позволяет проверить правильность теоретических представлений, уточнить сущность тех или иных явлений, предсказать течение различных процессов. Использование методов и средств моделирования позволяет ускорить и сократить расходы на разработку более совершенных информационных систем, а также облегчает выбор места монтажа и эксплуатации, а также подготовку обслуживающего персонала. Поэтому разработка несложных моделей, позволяющих оценить возможности разрабатываемых, или уже эксплуатируемых (но в нестандартных условиях) информационных систем, является актуальной проблемой.

Анализ литературы. В работе [1] проведен анализ основных подходов к моделированию основных элементов радиолокационных систем, приведены методы их моделирования, учитывающие статистический характер обрабатываемой информации, однако методы моделирования целевой обстановки почти не затронуты.

В [2] рассматриваются принципы математического моделирования радиотехнических систем. Приводятся алгоритмы моделирования на ЭВМ детерминированных и случайных радиосигналов, линейных и нелинейных систем. Излагаются основные методы обработки результатов математического моделирования. Приведены примеры математических моделей различных радиотехнических систем. Алгоритмы, предназначенные для оценки комплексных временных параметров не рассмотрены.

Работы [3 – 7] посвящены рассмотрению методик моделирования отдельных элементов радиотехнических систем, достаточно полно изложены особенности их статистических моделей, показаны методы обработки результатов статистического эксперимента, однако вопросы комплексной оценки возможностей таких систем по сопровождению объектов, времени их нахождения в зоне обзора не рассмотрены.

Цель статьи состоит в разработке методики моделирования целевой обстановки, а также зоны обзора измерительных информационных систем обеспечения испытаний баллистических ракет и ракет носителей на примере радиолокационного комплекса.

Структура модели. Известно [2], что любая ИИС может быть укрупненно представлена в виде структурной схемы, изображенной на рис. 1.

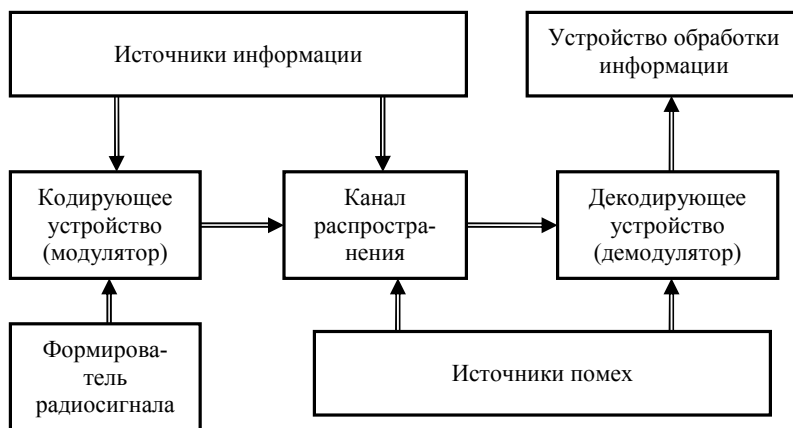


Рис. 1. Структурная схема ИИС

Информационное содержание радиосигнал приобретает в канале распространения вследствие воздействия на его параметры физических свойств среды (отражение сигнала от сопровождаемой ракеты). Такой способ характерен для радиолокационных систем.

Следует отметить, что изучение влияния воздействия помех на отраженный от цели сигнал, а также обработка информации в ИИС достаточно подробно рассмотрены в ряде работ [8, 9] и не являются объектом изучения данной статьи.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо сформировать траекторию полета ракеты в виде совокупности точек, соответствующих возможным моментам проведения измерений её параметров, а также оценить принадлежность этих точек зоне обзора радиолокатора.

Следовательно, рассматриваемая модель должна включать в себя следующие модули:

- формирования целевой обстановки (модуль формирования траектории движения ракеты);
- формирования параметров зоны обзора радиолокатора (формирования зоны обзора РЛК в пространстве);
- выработки решения о принадлежности цели зоне обзора и расчета временных параметров.

Модуль формирования траектории движения ракеты. Методика формирования траектории движения БР осуществляется на основе решения обратной задачи баллистики [10] при известных координатах точек старта (долгота λ_0 , широта φ_0 , высота h_0) и падения (долгота λ'_n , широта φ'_n), а также угла бросания ракеты Θ_0 (рис. 2).

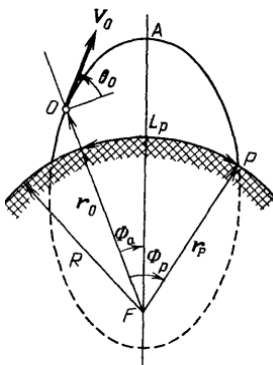


Рис. 2. Дальность полета БР

Абсолютные значения координат в предположении, что Земля не вращается, вычисляются по формулам

$$\lambda_n = \lambda'_n + \omega_3 t_n, \quad (1)$$

$$\varphi_n = \varphi'_n, \quad (2)$$

где угловая скорость вращения Земли $\omega_3 = 0,727211 \cdot 10^{-4}$ рад/с, t_n – время полета БР.

В результате анализа рис. 2 дальность полета БР может быть определена из простого соотношения

$$L_n = R\Phi_n. \quad (3)$$

При этом угловая дальность Φ_n вычисляется из выражения

$$\Phi_n = \arccos \left[\sin \varphi_0 \sin \varphi_n + \cos (\lambda_n - \lambda_0) \cos \varphi_0 \cos \varphi_n \right]. \quad (4)$$

Для вычисления начальной скорости полета V_0 найдем параметр $v_0 = r_0 V_0^2 / \mu$ из следующего выражения

$$v_0 = \frac{2 \left(1 + tg^2 \Theta_0 \right) tg^2 \frac{\Phi_n}{2}}{\left(\tilde{r}_0 + 1 \right) tg^2 \frac{\Phi_n}{2} + 2 tg \Theta_0 tg \frac{\Phi_n}{2} + \tilde{r}_0 - 1}, \quad (5)$$

где $\tilde{r}_0 = r_0 / R$, причем, если пренебречь высотой активного участка ($h_0 = 0$), то $\tilde{r}_0 = 1$.

В этом случае выражение (5) принимает вид

$$v_0 = \frac{\left(1 + tg^2 \Theta_0 \right) tg \frac{\Phi_n}{2}}{tg \frac{\Phi_n}{2} + tg \Theta_0}. \quad (6)$$

Время полета ракеты может быть определено путем преобразования уравнения Кеплера из соотношения [10]

$$t_n = \frac{2p}{1-e^2} \sqrt{\frac{p}{\mu}} \left(\frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \arccos \frac{1-v_0}{e} + tg \Theta_0 \right). \quad (7)$$

Здесь гравитационный параметр Земли $\mu = 398600,5$ км³/с²; $p = r_0 v_0 \cos^2 \Theta_0$ – фокальный параметр орбиты; $e = \sqrt{1 - (2 - v_0) v_0 \cos^2 \Theta_0}$ – эксцентриситет орбиты.

Вследствие зависимости уравнения (1) от t_n время полета не может быть найдено однозначно, поэтому приходится применять итерационный алгоритм, задавая начальное приближение исходя из предполагаемой дальности стрельбы.

Результаты моделирования показывают нечувствительность алгоритма к значению начального приближения, поскольку после первой итерации t_n оказывается близким к искомому. Количество итераций для нахождения времени полета с точностью 0,001 с не превышает шести.

Найдя время полета, а также имея две точки траектории БР, можно определить орбиту (вектор положения $\mathbf{X}_0 = (X_0, Y_0, X_0)^T$ и вектор скорости $\dot{\mathbf{X}}_0 = (\dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{X}_0)^T$ в геоцентрической системе координат в момент t_0), используя известную методику [11].

Наиболее простой вид дифференциальные уравнения движения БР имеют в геоцентрической системе координат, однако формировать в этой системе точки траектории БР нецелесообразно, поскольку преобразование их в радиолокационную систему координат потребует значительных вычислительных ресурсов. Целесообразно воспользоваться системой дифференциальных уравнения движения в топоцентрической прямоугольной системе координат [12], начало ее находится на поверхности Земли в точке расположения РЛК, ось y направлена в зенит по нормали к поверхности, а оси x и z лежат в горизонтальной плоскости, направление оси z задается азимутом A_3 (A_3 – угол, отсчитываемый от направления на север по часовой стрелке до оси z), ось x дополняет систему до правой.

Указанная система имеет следующий вид

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -\mu x r^{-3} - 2(\dot{z}\omega_y - \dot{y}\omega_z) + x\omega_3^2 - m\omega_x; \\ \ddot{y} &= -\mu(y + r_3)r^{-3} - 2(\dot{x}\omega_z - \dot{z}\omega_x) + (y + r_3)\omega_3^2 - m\omega_y; \\ \ddot{z} &= -\mu z r^{-3} - 2(\dot{y}\omega_x - \dot{x}\omega_y) + z\omega_3^2 - m\omega_z.\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь $m = x\omega_x + (y + r_3)\omega_y + z\omega_z$; $\mathbf{r} = (x, y + r_3, z)$ – радиус-вектор БР относительно центра Земли, проекции вектора угловой скорости вращения Земли на оси топоцентрической системы координат $\omega_x = \omega_3 \cos \varphi_3 \sin A_3$, $\omega_y = \omega_3 \sin \varphi_3$, $\omega_z = \omega_3 \cos \varphi_3 \cos A_3$.

Система трех дифференциальных уравнений второго порядка (8) сводится к системе шести дифференциальных уравнений первого порядка [12], а затем решается численно методом Рунге-Кутты четвертого порядка с начальными условиями $\mathbf{x}_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$, $\dot{\mathbf{x}}_0 = (\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0)^T$ в момент t_0 .

В результате получается массив точек траектории БР с дискретностью Δt в следующем виде

$$\mathbf{X}_{mp} = \begin{bmatrix} x_{t_0} & x_{t_0+\Delta t} & \dots & x_{t_n} \\ y_{t_0} & y_{t_0+\Delta t} & \dots & y_{t_n} \\ z_{t_0} & z_{t_0+\Delta t} & \dots & z_{t_n} \\ \dot{x}_{t_0} & \dot{x}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{x}_{t_n} \\ \dot{y}_{t_0} & \dot{y}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{y}_{t_n} \\ \dot{z}_{t_0} & \dot{z}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{z}_{t_n} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Затем этот массив преобразуется в радиолокационную систему координат (вторая сферическая система координат R, ε, γ [11] или другую, применяемую в моделируемом РЛК) и принимает следующий вид

$$\mathbf{R}_{mp} = \begin{bmatrix} R_{t_0} & R_{t_0+\Delta t} & \dots & R_{t_n} \\ \varepsilon_{t_0} & \varepsilon_{t_0+\Delta t} & \dots & \varepsilon_{t_n} \\ \gamma_{t_0} & \gamma_{t_0+\Delta t} & \dots & \gamma_{t_n} \\ \dot{R}_{t_0} & \dot{R}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{R}_{t_n} \\ \dot{\varepsilon}_{t_0} & \dot{\varepsilon}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{\varepsilon}_{t_n} \\ \dot{\gamma}_{t_0} & \dot{\gamma}_{t_0+\Delta t} & \dots & \dot{\gamma}_{t_n} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Модули формирования зоны обзора РЛК в пространстве и выработки решения о принадлежности цели зоне обзора. Зона обзора в пространстве формируется в виде сегмента шара в радиолокационной системе координат, путем определения минимального $\varepsilon_{\min}$ и максимального $\varepsilon_{\max}$ значений азимута, минимального $\gamma_{\min}$ и максимального $\gamma_{\max}$ значений угла места, а также максимальной дальности обнаружения $R_{\max}$.

Для принятия решения о нахождении цели в зоне обзора осуществляется последовательная проверка выполнения условий

$$\begin{aligned} R_{\min} &\leq R_i \leq R_{\max}; \\ \varepsilon_{\min} &\leq \varepsilon_i \leq \varepsilon_{\max}; \\ \gamma_{\min} &\leq \gamma_i \leq \gamma_{\max}. \end{aligned} \quad (11)$$

В первый момент времени выполнения этих условий фиксируется время входа цели в зону обзора $t_{\text{вх}}$, в последний – время выхода $t_{\text{вых}}$. Время нахождения цели в зоне обзора (время сопровождения) вычисляется по формуле

$$t_{\text{сопр}} = t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}. \quad (12)$$

Предложенная модель реализована в среде MathCad. Для формирования массива точек траектории БР при полете на 6000 км с дискретностью 1 с и определения временных характеристик радиолокатора требуется не более 25 – 30 с.

Выводы. В результате проделанной работы разработана методика моделирования целевой обстановки и модель, которая может быть использована для уточнения технических заданий при разработке измерительных информационных систем, а также для оценки соответствия существующих группировок радиолокационных средств предъявляемым к ним требованиям.

Список литературы: 1. Моделирование в радиолокации / Под ред. *А.И. Леонова*. – М.: Сов. радио, 1979. – 264 с. 2. *Монаков А.А.* Основы математического моделирования радиотехнических систем: Учебн. пособие. – СПб.: ГУАП, 2005. – 100 с. 3. *Борисов Ю.П.* Математическое моделирование радиосистем: Учебн. пособие для вузов. – М.: Сов. радио, 1976. – 296 с. 4. *Борисов Ю.П., Цветнов В.В.* Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с. 5. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Сов.радио, 1971. – 328 с. 6. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем: Учеб. пособие для вузов по специальности АСУ. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с. 7. *Шальгин А.С., Палагин Ю.И.* Прикладные методы статистического моделирования. – Л.: Машиностроение, 1986. – 320 с. 8. *Кузьмин С.З.* Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: КВЦ, 2000. – 428 с. 9. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. *А.В. Соколова*. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с. 10. *Сихарулидзе Ю.Г.* Баллистика летательных аппаратов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с. 11. *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н.* Баллистика и навигация космических аппаратов. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с. 12. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

УДК 519.95:518.0

Модель для оцінки часових характеристик вимірювальної інформаційної системи / Грішин І.Ю. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 39 – 45.

Розглянуто основні вимоги і методи моделювання головних елементів статистичної вимірювальної інформаційної системи на прикладі радіолокаційного комплексу забезпечення випробувань балістичних ракет та ракет-носіїв. Модель включає два основні модулі: модуль формування зони огляду радіолокаційного комплексу в просторі; модуль формування траєкторій руху ракет. Представлено математичний апарат, використовуваний при моделюванні, а також приклад реалізації розробленої моделі. Іл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: моделювання, інформаційна система, радіолокаційний комплекс, зона огляду, траєкторія руху ракети.

UDC 519.95:518.0

Model for estimation of measuring information system time characteristics / Grishin I.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 39 – 45.

In paper are considered the main requirements and simulation methods of the major units of a statistical measuring information system on example of the radar complex of support of ballistic missiles and carrier rockets trials. The model includes two main units: the unit of creation of the radar-tracking complex browse allowed band in space; the unit of creation of a rockets movement trajectories. The mathematical apparatus used at modelling, and also an example of implementation of the developed model is presented. Figs: 2. Refs: 12 titles.

Key words: modelling, an intelligence system, the radar-tracking complex, browse allowed band, a rocket movement trajectory.

Поступила в редакцію 10.04.2009

Д.Н. ДЕНИСЕНКО, магистр НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Н.В. МАКСЮТА, канд. техн. наук, ст. преп. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Обоснована необходимость использования автоматизированных систем при диетическом питании. Проведен обзор систем планирования диетического питания и выполнен анализ их достоинств и недостатков. Разработана структура автоматизированной системы планирования диетического питания с учетом особенностей организации лечебно-профилактических и санаторно-курортных учреждений Украины.

Ключевые слова: автоматизированная система, диетическое питание, система планирования диетического питания.

Постановка проблемы и анализ литературы. Здоровье человека во многом определяется режимом его питания и значительно зависит от степени насыщения организма необходимыми питательными веществами. Отклонение от рационального и сбалансированного питания, особенно длительное, ведет к нарушению функционирования организма, что может привести к развитию заболеваний, в то время как соблюдение основ правильного питания выступает в качестве профилактики многих патологий. Также известно, что употребление тех или иных продуктов может спровоцировать обострение имеющегося хронического заболевания или усугубить течение острого, или, наоборот, оказать благоприятное воздействие на течение болезни. Поэтому неотъемлемой составной частью комплексной терапии многих заболеваний является лечебное питание [1 – 10]. В нашей стране в лечебно-профилактических учреждениях получила широкое распространение диетная система, разработанная в клинике лечебного питания Института питания АМН СССР [1 – 4]. Данная система предусматривает 15 основных лечебных диет с номерными обозначениями по номенклатуре, предложенной М.И. Певзнером, и группу разгрузочных диет. При этом руководство лечебным питанием осуществляет врач-диетолог, основными задачами которого являются [1, 4]:

- разработка 7–10-дневных меню с указанием рекомендуемого набора продуктов, способов кулинарной обработки и режима питания с учетом возможностей диетстоловой и пациентов;

- консультации больных и врачей по вопросам лечебного питания;
- медицинский контроль за работой диетстоловой;
- ведение соответствующей документации.

Таким образом, для эффективного назначения лечебной диеты врач-диетолог должен применять комплексный подход, учитывающий множество разнородных факторов, сложность которого значительно повышается в условиях обслуживания большого числа больных с различными заболеваниями. Появившиеся сравнительно недавно автоматизированные системы планирования питания позволяют решить данную проблему за счет

автоматизации процесса комплексного подбора оптимального рациона для пациентов, что значительно снижает нагрузку на медперсонал [5, 6].

В настоящее время в большинстве развитых стран мира активно применяются системы планирования питания. При этом их разработку ведут в основном коммерческие компании [4]. Наиболее распространенные из них.

1. Немецкая компания Kretschmer-Keller GmbH (ООО) "LogiMen" представляет на рынке большое количество специализированных продуктов, охватывающих большой спектр потребностей, которые необходимо учитывать в системах планирования питания. Основные разработки данной компании:

- "LMStation" – программный продукт, который позволяет вести учет пациентов, определять разрешенные компоненты, исходя из диеты пациента и показаний его индивидуальной восприимчивости к пищевым продуктам. Основным достоинством данной системы является учет широкого спектра потребностей, который выполнен благодаря значительному промежутку времени, затраченному на разработку, что позволило исключить недостатки, выявленные в ходе практического применения данной системы. Однако, технологии построения системы "LMStation" являются несколько устаревшими на данный момент и их использование значительно увеличивает затраты на разработку и сопровождение, что, в свою очередь, ведет к существенному увеличению стоимости конечного продукта [6].

- "Plan" и "LMC" – набор программных средств, позволяющих выполнять управление диетическими комплексами, непосредственно планировать возможные наборы меню и компоненты, из которых они состоят, проводить расчет и анализ затрат, необходимых на обеспечение диетического питания. Имеет большое количество преимуществ и практически не имеет конкурирующих продуктов в области планирования питания. Существенным недостатком при использовании данных программных средств является привязанность к модели данных фирмы LogiMen в новых разработках.

2. Украинская компания ООО "LogiMatika" представляет на рынке:

- "WebStation" – сетевая система планирования и поставки сбалансированного питания пациентам медицинских учреждений. Одним из существенных преимуществ данной системы является распределенная структура компонентов системы на два уровня: пользовательский и системный. В совокупности с использованием web-технологий это дает существенную гибкость в обслуживании и расширении системы. Однако эта система является коммерческим продуктом, ориентированным на зарубежных заказчиков и в ней учтены особенности, не характерные для украинских лечебно-профилактических учреждений.

- "Pilot" – это сетевая система планирования питания, подобная "Webstation", основной отличительной особенностью которой является возможность ее использования на терминалах, например, в совокупности с использованием электронных карт или других идентифицирующих средств. Во многих случаях это позволяет существенно упростить процесс выбора и заказа

меню. Такая схема широко используется на западе, но в силу аппаратных ограничений на данный момент неприменима в нашем государстве.

3. Австрийская компания "DelegateGroup" представляет на рынке программный комплекс "MPEnterprise", использующий в качестве основы web-ориентированные технологии, что дает как преимущества, так и недостатки. В частности, данная система позволяет проводить централизованный контроль над процессом планирования, своевременное обновление версий, которое проводится заменой web-компонент на сервере, при этом изменения на стороне клиента уже не требуются. Однако в систему заложен основной функционал по планированию питания, но не учтены многие региональные особенности использования подобных систем, как и для "WebStation", что в целом делает систему непригодной для использования в Украине. Так же существенным недостатком данной системы является ее высокая стоимость.

4. Российская компания ООО "Истоки Здоровья" – член ассоциации компаний Breath Technologies выпускает программный комплекс "MyDiet" – простой продукт серии индивидуального использования, преимущественно в домашних условиях и в условиях небольших оздоровительных центров, когда вся необходимая информация хранится не централизованно, а на одной рабочей станции, на которой и работает приложение. Этот продукт предназначен для оценки традиционного типа питания и коррекции рациона с целью снижения веса и коррекции фигуры. Однако следует отметить, что продукт "MyDiet" может быть использован персонально для обеспечения возможности контроля питания, но не может быть использован как основной программный продукт при лечебном питании. Так же особенности архитектуры приложения не позволяют использовать данный продукт в системах, имеющих широкую инфраструктуру и большое количество пациентов, таких как больницы, санатории и оздоровительные центры.

Таким образом, можно отметить, что зарубежные разработки не подходят для условий отечественных оздоровительных учреждений, прежде всего, из-за их высокой стоимости и высоких требований к ресурсам системы, на платформе которой будет функционировать конечный продукт. Так же зачастую зарубежные системы планирования питания используют специфические функции, ориентированные на зарубежные лечебные заведения (Германия, Австрия, Австралия, США и т.д.), что делает их мало применимыми в отечественных условиях [6]. В связи с этим актуальной проблемой является разработка автоматизированной системы планирования диетического питания для ее использования в медицинских центрах Украины.

Целью статьи является разработка обобщенной структуры автоматизированной системы планирования диетического питания.

Разработка обобщенной структуры автоматизированной системы планирования диетического питания выполняется с целью облегчения процесса формирования оптимального набора меню для больных, питающихся

по диетическим комплексам, что существенно снизит временные затраты медперсонала и персонала диетстоловой на работу с пациентами и позволит обслуживать большее их количество за меньший промежуток времени. Конечным результатом работы системы является набор меню, максимально приближенный к индивидуальным потребностям пациента. При этом использование системы планирования питания позволит автоматизировать работу всего процесса питания пациентов и работу врача-диетолога, а именно:

- ведение учета пациентов;
- быстрый подбор лечебной диеты из списка ранее разработанных с учетом тяжести заболевания и имеющихся сопутствующих заболеваний у пациента или назначение для него индивидуальной диеты, которая включает набор разрешенных компонент меню из всего их множества, предоставляемого диетстоловой;
- формирование меню-заказов пациентов с учетом их индивидуальных предпочтений и поступлений продуктов питания;
- точная оценка количества продуктов, необходимых при приготовлении заказов пациентов.

Таким образом, автоматизированная система планирования диетического питания позволит сократить материальные затраты на приобретение продуктов питания за счет прогнозируемых заказов пациентов, увеличить терапевтический эффект за счет оптимального режима питания и удовлетворить индивидуальные предпочтения каждого пациента.

Авторами разработана структура автоматизированной системы планирования питания, состоящая из двух блоков (рис.):

- хранилище данных;
- ядро, включающее в себя четыре подсистемы: первичной обработки данных, фильтрации данных, подбора оптимального меню, графического интерфейса.

Данные подсистемы имеют следующее функциональное назначение.

Хранилище данных обеспечивает решение следующих задач: упорядоченное целостное хранение данных для эффективного их использования (извлечение, модификация, добавление); своевременный доступ (в том числе удаленный) к данным; возможность разделения полномочий пользователей различных уровней.

При проектировании хранилища данных основное внимание было уделено разработке структуры базы данных "Планирование питания" с использованием open source системы MySQL версии 5.0.67 и выше, что позволило снизить экономические затраты на разработку. Выбор MySQL среди доступных открытых систем управления базами данных (СУБД) основывался на том, что данная система имеет наибольшую гибкость в использовании благодаря ее широким возможностям, удобству и неприхотливости при функционировании.

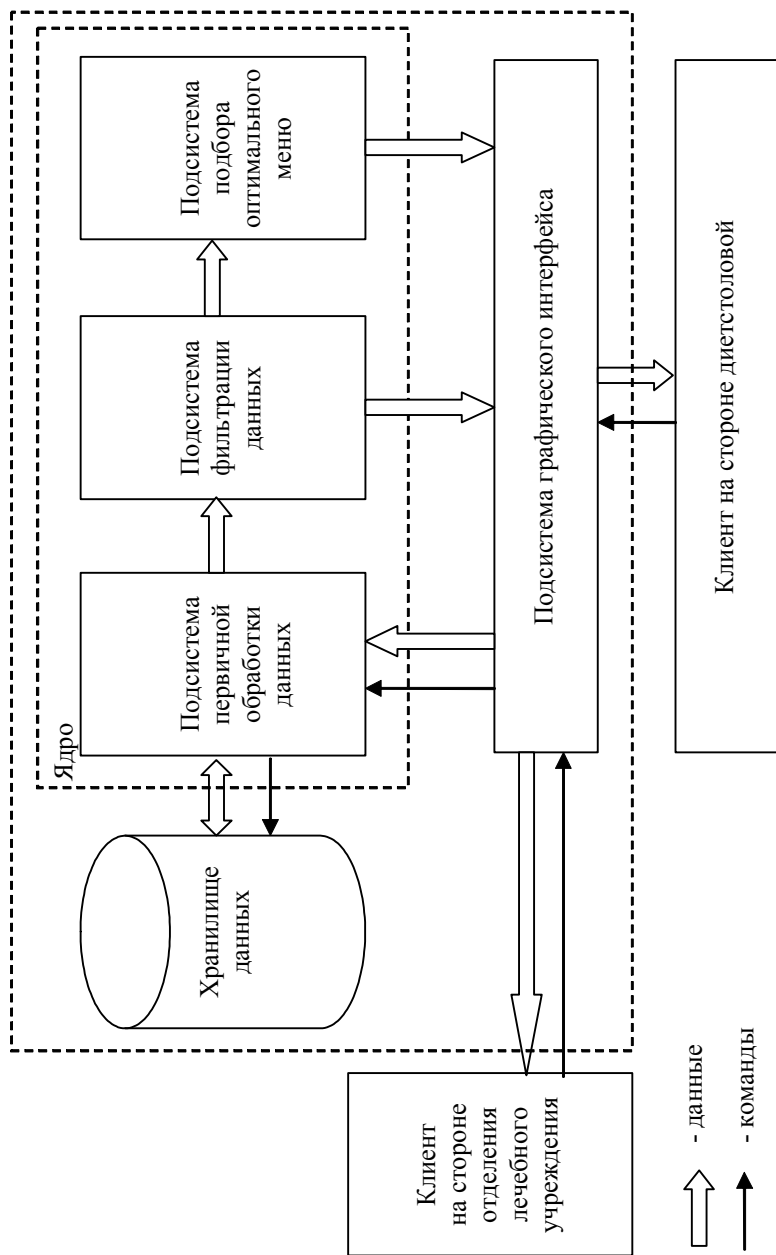


Рис. Структурная схема автоматизированной системы планирования диетического питания

В структуру базы данных заложены все основные элементы, необходимые для ее использования в системе планирования питания. База данных содержит детальную информацию о пациентах: анкетные данные (ФИО, возраст и т.д.), дата постановки на учет, анамнез и диагноз пациента, назначенная ему диета, местонахождение пациента в лечебном учреждении; структуру лечебного учреждения: названия отделений, их физические адреса. В СУБД также предусмотрена возможность сбора статистических данных о пациентах в отдельном отделении. При этом наибольшую значимость в данной системе играет часть, содержащая информацию об элементах планирования питания, таких как меню, компоненты меню и диеты. В этой части заложены все необходимые связи, отвечающие за сопоставление меню и его отдельных компонент диетам, дням недели, "частичным" разрешениям для пациентов [7]. В целом хранилище данных обеспечивает полноценную и всестороннюю поддержку функций подсистем ядра.

Клиенты на стороне отделения лечебного учреждения и на стороне диетстоловой посылают команды в систему посредством графического интерфейса и получают в ответ запрошенные данные. Это могут быть как данные для выполнения оптимального заказа, так и статистические данные о системе в целом (рис.).

Подсистема первичной обработки данных обеспечивает гибкий интерфейс между хранилищем данных и подсистемами ядра. Функции данной подсистемы: извлечение необходимых данных и представление их в удобном для использования в программной части ядра виде, что выполняется с помощью запросов к хранилищу данных; обеспечение обратного взаимодействия для заполнения и внесения изменений в хранилище данных.

Подсистема фильтрации данных формирует список компонент меню с учетом разрешений для определенной диеты, индивидуальных предпочтений пациента (вкусы, аллергии, возможные дополнительные ограничения, связанные с наличием у пациента нескольких диагнозов, что требует уточнения диеты) и с учетом наличия продуктов питания в диетстоловой в зависимости от дня недели [8]. Данный список является результатом работы подсистемы фильтрации данных и необходим для подбора оптимального меню.

Подсистема подбора оптимального меню предназначена для формирования таких компонент меню, при поступлении которых в организм пациента обеспечивается лечебное воздействие при определенной группе заболеваний. Это осуществляется за счет подбора энергетической ценности и химического состава блюд, потребляемых в сутки, в соответствии с диетическими столами по М.И. Певднеру. Для решения данной задачи предлагается применение методов линейного программирования. На выходе подсистемы – оптимальное меню для отдельно взятого пациента [9].

Подсистема графического интерфейса предназначена для составления бланков заказов в удобной форме. При этом заказы формируются двух типов: по результатам работы подсистемы фильтрации данных и по результатам

работы подсистемы формирования оптимального меню. Так же с помощью подсистемы графического интерфейса обеспечивается возможность управления персональными данными пациента и хранилищем данных в целом.

Выводы. Разработана структура автоматизированной системы планирования диетического питания, которая сможет обеспечить синтез оптимального меню для отдельно взятого пациента с учетом назначенной ему диеты и индивидуальных предпочтений. Перспективы дальнейших исследований состоят в непосредственной разработке системы планирования диетического питания, ориентированной на отечественных потребителей.

Список литературы: 1. Губергриц А.Я., Линецкий Ю.В. Лечебное питание. Справ. пособ. – К.: Вища школа, 1989. – 398 с. 2. Скурихин И.М. О расчете пищевой ценности продуктов питания по данным таблиц химического состава // Вопросы питания. – 1991. – № 2. – С. 63. 3. Норми фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії / Затв. МОЗ України 1.11.99 р., наказ № 272. – К., 1999. – 9 с. 4. Степанов В.В. Организация работы лечебно-профилактического учреждения. – М.: МЦФЭР, 2006. – 464 с. 5. Габуева Л.А. Механизмы эффективного финансирования в здравоохранении. – М.: МЦФЭР, 2007. – 288 с. 6. Щепин О.П. Эффективности использования стационарозамещающих технологий в системе здравоохранения. – М.: МЦФЭР, 2006. – 416 с. 7. Гурвич М.М. Диета при заболеваниях органов пищеварения. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 288 с. 8. Самсонов М.А., Медведева И.В., Покровская Г.Р. Питание в патогенезе, лечении и профилактике гипертонической болезни. – Екатеринбург: Средне-Уральское книжн. изд., 1995. – 147 с. 9. Погожева А.В., Мякова М.А. Питание и естественные антитела в кардиологии. – М.: Макин, 2001. – 224 с. 10. Дмитренко Е.А. Гигиеническое обоснование норм питания детей, обучающихся в учебно-воспитательном учреждении нового типа (прогимназии) // Вісник гігієни та епідеміології. – 2002. – Т. 6. – № 2. – С. 183–187.

УДК 681.3

Автоматизація планування дієтичного харчування / Денисенко Д.М., Максютя Н.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 46 – 52.

Обґрунтована необхідність використання автоматизованих систем при дієтичному харчуванні. Виконаний огляд систем планування дієтичного харчування та аналіз їх позитивних якостей та недоліків. Розроблена структура автоматизованої системи планування дієтичного харчування з урахуванням особливостей організації лікувально-профілактичних та санаторно-курортних закладів України. Іл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: автоматизована система, дієтичне харчування, система планування дієтичного харчування.

UDC 681.3

Automation of diet meal planning / Denisenko D.N., Maksyuta N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 23. – P. 46 – 52.

Shown the role of containing a number diets is rotined at complex therapy of sharp and chronic diseases of the different systems for human organism. The necessity of the use of automated systems for diet meals is grounded at a dietary feed. Done review of meal planning systems and analysis of theirs advantages and lacks. Developed structure of automated meal planning system, which considering treat-prophylactic and sanitarium-health resort organizations futures in Ukraine. Figs: 1. Refs: 10 titles.

Key words: automated system, diet meals, system of diet meal planning.

Поступила в редакцію 29.04.2009

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
В.И. НОСКОВ, канд. техн. наук, гл. инженер ООО "Преобразователь"
 (г. Запорожье),
Н.В. МЕЗЕНЦЕВ, ст. преподаватель НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ МЕТОДОМ АКОР А.А. КРАСОВСКОГО ПРИ НЕЛИНЕЙНО ВХОДЯЩИХ УПРАВЛЕНИЯХ И СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Предлагается новая модификация метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы А.А. Красовского для случая нелинейного вхождения управлений в систему уравнений, описывающую объект, а также при наличии случайных возмущающих воздействий.

Ключевые слова: метод аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы, случайные возмущающие воздействия.

Постановка проблемы и анализ литературы. Метод аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы (АКОР), разработанный А.А. Красовским, позволяет выполнять синтез регуляторов для объектов, описываемых системами обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка [1 – 3], чем он выгодно отличается от многих других методов синтеза оптимальных регуляторов [4 – 7]. При этом математическая модель объекта управления в самом общем случае имеет вид:

$$\frac{dx_i}{dt} + f_i(x_1, \dots, x_n, t) = \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) u_j + \sum_{k=1}^r \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t), \quad (1)$$

где x_i ($i = \overline{1, n}$) – фазовые координаты объекта управления; $f_i, \varphi_{ij}, \eta_{ik}$ ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, r}$) – непрерывные функции, описывающие объект управления; $\xi_k(t)$ – белые шумы (последовательности статистически независимых δ -импульсов, случайных по площади и разделенные сколь угодно малыми, но конечными промежутками времени); u_j ($j = \overline{1, m}$) – управления, определяемые из условия минимума функционала

$$J = M[V_3(x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2)] + M \left[\int_{t_1}^{t_2} Q(x_1, \dots, x_n, t) dt \right] +$$

$$+ \frac{1}{p} M \left[\sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_j}{k_j} \right)^q dt \right] + \frac{1}{q} M \left[\sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \left(k_j \sum_{l=1}^n \varphi_{lj} \frac{\partial V}{\partial x_l} \right)^p dt \right]. \quad (2)$$

Здесь M – символ математического ожидания; V_3, Q – заданные непрерывные функции; p, q – положительные четные числа, удовлетворяющие условию $1/p + 1/q = 1$; $k_j (j = \overline{1, m})$ – положительные коэффициенты; V – функция, являющаяся решением уравнения

$$\frac{\partial V}{\partial t} - \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} f_i = -Q \quad (3)$$

при граничном условии

$$V(t = t_2) = V_3. \quad (4)$$

Управления u_j , определяемые из условия минимума функционала обобщенной работы (2), являются оптимальными как для случая объекта (1), так и для случая детерминированного объекта ($\xi_k(t) \equiv 0, k = \overline{1, r}$). Это свойство определяемых управлений и возможность синтеза регуляторов для объектов, описываемых системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка, является несомненным достоинством метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы. Однако линейное вхождение управлений в систему дифференциальных уравнений объекта (1) является определенным ограничением для применения рассматриваемого метода аналитического конструирования регуляторов. Известные способы преобразования математических моделей с нелинейно входящими управлениями к моделям с линейно входящими управлениями не всегда помогают, поскольку такие преобразования часто ухудшают качество синтезируемых систем управления. В связи с этим были разработаны методы синтеза регуляторов по критерию обобщенной работы для различных математических описаний объектов с нелинейно входящими управлениями [8 – 11]. Однако во всех указанных работах синтез регуляторов рассматривался в условиях отсутствия случайных возмущений.

Целью статьи является расширение области применения метода аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы на объекты, описываемые системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейно входящими управлениями и при наличии случайных возмущающих воздействий.

Исследования и результаты. В работе [11] доказана одна из наиболее общих теорем аналитического конструирования регуляторов по критерию

обобщенной работы с нелинейно входящими управлениями для случая $p = q = 2$.

Теорема 1. Пусть объект описывается системой уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} + f_i(x_1, \dots, x_n, t) = \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) \psi_{ij}^1(u_{1ij}) \psi_{ij}^2(u_{2ij}), \quad (5)$$

тогда оптимальными в смысле минимума функционала

$$I = V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2] + \int_{t_1}^{t_2} Q dt + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} \right) dt \quad (6)$$

являются управления

$$\begin{aligned} u_{1ij} &= -k_{1ij}^2 \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{1ij}; \\ u_{2ij} &= -k_{2ij}^2 \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{2ij}, \end{aligned} \quad (7)$$

где V – решение уравнения (3) при граничном условии (4); ψ_{ij}^1, ψ_{ij}^2 ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$) – непрерывные функции от управлений, соответственно u_{1ij} и u_{2ij} .

Обобщим эту теорему на случай, когда объект управления будет описываться системой уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} + f_i(x_1, \dots, x_n, t) &= \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) \psi_{ij}^1(u_{1ij}) \psi_{ij}^2(u_{2ij}) + \\ &+ \sum_{k=1}^r \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Теорема 2. Пусть объект описывается системой уравнений (8), тогда оптимальными в смысле минимума функционала

$$\begin{aligned} I &= M[V_3(x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2)] + M \left[\int_{t_1}^{t_2} Q(x_1, \dots, x_n, t) dt \right] + \\ &+ M \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} \right) dt \right] \end{aligned} \quad (9)$$

являются управления (7), в которых V есть решение уравнения (3) при граничном условии (4).

Доказательство.

Полная производная функции V в силу уравнений объекта (8) и уравнения в частных производных (3) равна

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{\partial V}{\partial t} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \left(\sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 + \sum_{k=1}^r \eta_{ik} \xi_k(t) - f_i \right) = \\ &= -Q + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \sum_{j=1}^m \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \sum_{k=1}^r \eta_{ik} \xi_k(t). \end{aligned} \quad (10)$$

Интегрируя выражение (10) в интервале времени $[t_1, t_2]$, получим

$$\begin{aligned} V[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2] - V[x_1(t_1), \dots, x_n(t_1), t_1] &= - \int_{t_1}^{t_2} Q dt + \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 dt + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial V}{\partial x_i} \eta_{ik} \xi_k(t) dt. \end{aligned} \quad (11)$$

Учитывая, что по условию $V[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2] = V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2]$, из (11) можно получить

$$\begin{aligned} M[V_3(x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2)] + M \left[\int_{t_1}^{t_2} Q dt \right] &= M[V(x_1(t_1), \dots, x_n(t_1), t_1)] + \\ &+ M \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 dt \right] + M \left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial V}{\partial x_i} \eta_{ik} \xi_k(t) dt \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Покажем, используя методику А.А. Красовского [1], что последний член в выражении (12) не зависит от управлений (7). Учитывая принятую модель белых шумов в уравнениях (1) и (8), можно записать

$$\xi_k(t) = \sum_d B_{kd} \delta(t - \tau_d), \quad (13)$$

где $\xi_k(t)$ – обобщенный стационарный случайный процесс; B_{kd} – независимые случайные центрированные величины; $\tau_1, \tau_2, \dots$ – случайные моменты времени, которым соответствуют "импульсы" δ -функции.

Согласно соотношению (13) последний член выражения (12) можно преобразовать к виду

$$R = M \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_d \left(B_{kd} \int_{\tau_d - 0}^{\tau_d + 0} \frac{\partial V}{\partial x_i} \eta_{ik} \delta(t - \tau_d) dt \right) \right]. \quad (14)$$

Вследствие воздействия δ -функций $\delta(t - \tau_d)$ ($d = \text{const}$) фазовые координаты объекта управления (8) за интервал времени от $\tau_d - 0$ до $\tau_d + 0$ получают приращения

$$\Delta x_{id} = \int_{\tau_d - 0}^{\tau_d + 0} \eta_{ik} B_{kd} \delta(t - \tau_d) dt, \quad i = \overline{1, n}.$$

С точностью до бесконечно малых более высокого порядка приращения Δx_{id} не зависят от управлений u_{1ij} и u_{2ij} ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$). Таким образом, изменения фазовых координат, вызванные воздействием возмущений в виде δ -функций, с точностью до бесконечно малых величин более высокого порядка не зависят от управлений u_{1ij} и u_{2ij} , а это значит, что и возмущения функций $V[x_1, \dots, x_n, t]$, $\frac{\partial V}{\partial x_i}$, $\eta_{ik}[x_1, \dots, x_n, t]$ ($i = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, m}$), вызванные воздействием возмущений в виде δ -функций с точностью до бесконечно малых более высокого порядка не зависят от управлений u_{1ij} и u_{2ij} ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$). Поэтому и R с точностью до бесконечно малых величин не зависит от управлений.

Функционал (9) с учетом выражений (12) и (14) преобразуем к виду

$$\begin{aligned} I = M[V(x_1(t_1), \dots, x_n(t_1), t_1)] + M \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 dt \right] + \\ + M \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} \right) dt \right] + R. \end{aligned} \quad (15)$$

Поскольку выполняются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{u_{1ij}}{k_{1ij}} + k_{1ij} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{1ij} \right]^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 + \frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} \right] = \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2; \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{u_{2ij}}{k_{2ij}} + k_{2ij} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{2ij} \right]^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} + \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 + \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} \right] = \end{aligned}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 ,$$

то функционал (15) можно записать в виде

$$\begin{aligned} I = & M[V(x_1(t_1), \dots, x_n(t_1), t_1)] + \\ & + M \left[\frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{u_{1ij}}{k_{1ij}} + k_{1ij} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{1ij} \right)^2 dt \right] + \\ & + M \left[\frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{u_{2ij}}{k_{2ij}} + k_{2ij} \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{ij}^1 \psi_{ij}^2 / 2u_{2ij} \right)^2 dt \right] + R . \end{aligned} \quad (16)$$

Если управления u_{1ij} и u_{2ij} определяются соотношениями (7), то подинтегральные выражения в функционале (16) обращаются в нуль и он принимает минимальное значение. Таким образом, управления (7) действительно являются оптимальными в смысле минимума функционала (9) и, следовательно, теорема 2 доказана.

Заметим, что вид оптимальных управлений (7) при случайных возмущениях описанного типа одинаков для детерминированных и стохастических систем. При этом величины управлений как и в наиболее общих теоремах по аналитическому конструированию регуляторов по критерию обобщенной работы А.А. Красовского [1] не зависят от уровня шумов.

Из общих уравнений (5), (8) объекта управления и его управлений (7) могут быть получены различные частные системы уравнений, важные для различных областей применения. В качестве примера рассмотрим задачу синтеза системы управления асинхронным приводом, математическая модель которого в осях U и V может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} + a_{11}\psi_1 + a_{13}\psi_3 &= A \cos \omega t; \\ \frac{d\psi_2}{dt} + a_{22}\psi_2 + a_{24}\psi_4 &= A \sin \omega t; \\ \frac{d\psi_3}{dt} + a_{31}\psi_1 + a_{33}\psi_3 + a_{345}\psi_4\Omega &= 0; \\ \frac{d\psi_4}{dt} + a_{42}\psi_2 + a_{44}\psi_4 + a_{435}\psi_3\Omega &= 0; \\ \frac{d\Omega}{dt} - \frac{P}{J} (a_{50}(\psi_2\psi_3 - \psi_1\psi_4)) - M_c(\Omega) - \sum_{k=1}^r \eta_k \xi_k(t) &= 0, \end{aligned} \quad (17)$$

где ψ_1, ψ_2 – потокосцепления по оси U ; t – время; $a_{11}, a_{13}, a_{22}, \dots, a_{50}$ – постоянные коэффициенты; A – амплитуда (первое управление) питающего напряжения частоты ω (второе управление); ψ_3, ψ_4 – потокосцепления по оси V ; Ω – угловая скорость вращения ротора электродвигателя; P – число пар полюсов двигателя; J – момент инерции двигателя и механизма, приведенный к валу двигателя; M_c – момент сопротивления нагрузки; η_k – характеристики объекта (постоянные коэффициенты или непрерывные функции); $\xi_k(t)$ – белые шумы.

Используя соотношения (7) и систему уравнений объекта (17), несложно получить выражения для управляющих воздействий

$$A = -\frac{k_1^2}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial x_1} \cos \omega t + \frac{\partial V}{\partial x_2} \sin \omega t \right); \quad (18)$$

$$\omega = -\frac{Ak_2^2}{2\omega} \left(\frac{\partial V}{\partial x_1} \cos \omega t + \frac{\partial V}{\partial x_2} \sin \omega t \right). \quad (19)$$

Из соотношений (18), (19) находим

$$\frac{A}{\omega} = \frac{k_1}{k_2} = const,$$

т.е. имеем известный закон при частотном управлении: отношение амплитуды сигнала к его частоте равно константе.

Выводы. Таким образом, доказательство теоремы 2 расширило область возможного применения метода АКОР на объекты, описываемые системами обыкновенных дифференциальных уравнений вида (8), т.е. на объекты с нелинейно входящими управлениями и при наличии случайных возмущающих воздействий. В дальнейшем предполагается обобщение полученных результатов и разработка численных методов для синтеза конкретных систем управления.

Список литературы: 1. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 560 с. 2. Красовский А.А., Буков В.Н., Шендрик В.С. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. – М.: Наука, 1977. – 272 с. 3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А.А. – М.: Наука, 1987. – 712 с. 4. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с. 5. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с. 6. Методы классической и современной теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Е.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. 7. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез, оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Е.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с. 8. Эволюционные методы компьютерного моделирования / Верлань А.Ф., Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И.,

Шорох В.А. – К.: Наук. думка, 1992. – 256 с. **9.** Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с. **10.** Даниленко А.Ф., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И. Математические модели оптимальных систем управления тяговым асинхронным приводом тепловозов // Электронное моделирование. – 1991. – Т. 13. – № 2. – С. 40 – 44. **11.** Дмитриенко В.Д., Носков В.И., Мезенцев Н.В. Оптимизация функционала обобщенной работы при нелинейно входящих управлениях. Праці Луганського відділення Міжнародної Академії Автоматизації. – Луганськ: Луганське відділення Міжнародної Академії Автоматизації. – 2005. № 1. – С. 17 – 22.

УДК 62-50

Синтез регуляторів методом АКУР О.А. Красовського при управліннях, що нелінійно входять, та випадкових впливах, що збурюють / Дмитрієнко В.Д., Носков В.І., Мезенцев М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 53 – 60.

Пропонується нова модифікація методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи О.А. Красовського для випадку нелінійного входження управлінь у систему диференціальних рівнянь, що описують об'єкт, а також при наявності випадкових впливів, що збурюють. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: метод аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи, випадкові впливи, що збурюють

UDC 62-50

Synthesis of regulators method of AKOR of A.A. Krasovski at nonlinear incoming controls and casual revolting influences / Dmitrienko B.D., Noskov V.I., Mezentsev N.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 53 – 60.

New modification of method of the analytical constructing of regulators is offered on the criterion of the generalized work of A.A. Krasovski for the case of the nonlinear including of controls in the system of equalizations, describing an object, and also at presence of casual revolting influences. Refs.: 11 titles.

Key words: method of the analytical constructing of regulators on the criterion of the generalized work, casual revolting influences.

Поступила в редакцію 25.05.2009

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
О.А. ПОВОРОЗНЮК, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ДИСКРЕТНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ АДАПТИВНОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ТЕОРИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОДБОРА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Предложена дискретная нейронная сеть адаптивной резонансной теории для решения задач подбора лекарственных препаратов. Сеть позволяет определять как одно, так и большее число возможных решений (если они существуют). Предложены способы выделения единственного решения из множества полученных, в том числе, и лучших решений на основе информации экспертов.

Ключевые слова: дискретная нейронная сеть адаптивной резонансной теории, задача подбора лекарственных препаратов.

Постановка проблемы и анализ литературы. При реализации терапевтических процедур врачу необходимо решить задачу подбора лекарственных препаратов (сформировать терапевтический комплекс). В [1] формализована задача многокритериального подбора лекарственных препаратов пациенту с учетом диагноза и индивидуальных особенностей пациента и предложено решение указанной задачи с использованием искусственной нейронной сети (ИНС).

Для заданного развернутого диагноза D_k k -го пациента [2], с помощью информационной системы формируется множество необходимых терапевтических воздействий F_{Dk} для этого пациента, и на его основе – бинарный входной вектор X^k нейронной сети. Компоненты вектора X^k соответствуют элементам множества терапевтических воздействий $F_D = \{f_1, \dots, f_h\}$, которые могут применяться к множеству диагнозов $D = \{D_1, \dots, D_l\}$, в данной предметной области (например, в дерматологии [3]). При этом при каждом заболевании необходимы свои терапевтические действия, например, при лечении псориаза необходимыми являются: f_1 – седативное, f_2 – анти-стрессовое, f_3 – транквилизирующее, f_4 – дезинтоксикационное, f_5 – вегетотропное, f_6 – гипосенсибилизирующее, f_7 – антигистаминное, f_8 – улучшающее периферическое кровообращение, f_9 – гепатопротекторное, f_{10} – витамины, f_{11} – иммуномодулирующее [3].

Единичными компонентами вектора X^k являются только те компоненты, которые соответствуют элементам подмножества F_{Dk} терапевтических воздействий, необходимых для k -го пациента. Выходным слоем ИНС является множество нейронов $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$, элементы которого соответствуют элементам множества возможных препаратов, применяемых в данной предметной области $Y^{np} = \{y_1^{np}, \dots, y_m^{np}\}$, и которые обеспечивают покрытие

F_D . Например, при лечении псориаза часто применяются следующие лекарственные препараты [4] (в скобках указан 11-разрядный двоичный код, соответствующий терапевтическим воздействиям $f_1, \dots, f_{11}$ при псориазе, нумерация разрядов слева – направо): y_1^{np} – аевит (00000000010); y_2^{np} – реосорбилакт (01010001100); y_3^{np} – атоксил (00010000000); y_4^{np} – магния сульфат (10001100000); y_5^{np} – адаптол (00100010000); y_6^{np} – лоратадин (00000010000); y_7^{np} – глицисед (11000000000); y_8^{np} – сондокс (10000000000); y_9^{np} – циклоспорин (00000000001).

При этом каждый лекарственный препарат y_{il}^{np} , $il = \overline{1, m}$ характеризуется вектором терапевтических действий $F_{yil} = \{f_{il_1}, \dots, f_{il_h}\}$, где il_h – число терапевтических действий препарата y_{il}^{np} , и вектором характеристик $S_{il} = \{s_{il_1}, \dots, s_{il_r}\}$, компонентами которого s_{il_k} ($k = \overline{1, r}$) являются: эффективность, направленность, противопоказания, побочные эффекты, риск сенсibilизации, цена, бренд производителя, использование натуральных ингредиентов, время выведения из организма и т.д. [4].

В [5] авторами разработана структурная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений при назначении лекарственных препаратов на основе дискретной нейронной сети адаптивной резонансной теории ART-1 (или ART-1, Adaptive Resonance Theory – 1) [6 – 8]. Однако модули нейронной сети ART-1 не обеспечивают получения нескольких решений, которые возникают при подборе комплекса препаратов. Например, седативное терапевтическое действие может осуществляться тремя препаратами (y_4^{np} , y_5^{np} , y_8^{np}), антистрессовое – двумя препаратами (y_2^{np} , y_7^{np}) и т.д. Кроме того, получаемые решения могут иметь различное значение вектора характеристик S_{il} и являются неравноценными при экспертной оценке S_{il} , поэтому желательно иметь возможность их каким-либо образом упорядочивать, например, с помощью набора весовых коэффициентов, заданных экспертом.

Целью статьи является разработка дискретной нейронной сети адаптивной резонансной теории, позволяющей определять одно или большее число решений в задачах распознавания или классификации и осуществлять выбор единственного решения из множества полученных.

Исследования и результаты. Архитектура "классической" нейронной сети ART-1 приведена на рисунке в прямоугольнике, нарисованном пунктирной линией. Сеть ART-1 имеет три поля или слоя нейронов: S – слой входных бинарных нейронов, воспринимающих входную информацию в виде

черно-белых изображений или бинарных входных векторов; Z – слой бинарных интерфейсных нейронов; Y – слой непрерывных распознающих нейронов. Кроме этого, имеются еще два управляющих нейрона G_1 и G_2 и решающий нейрон R . Архитектура нейронной сети и алгоритмы ее функционирования детально описаны в работах [6, 9].

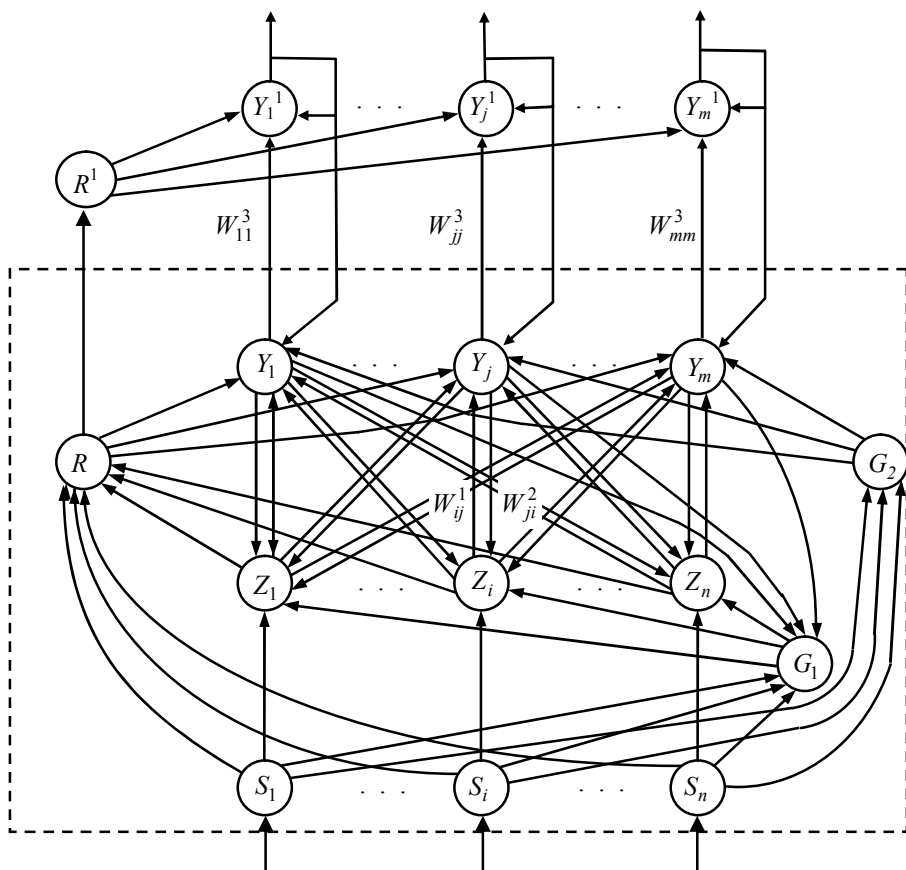


Рис. Архитектура дискретной нейронной сети АРТ для поиска нескольких решений в задачах распознавания

Сеть АРТ-1 относит входной вектор к одному из запомненных классов только в случае, если он достаточно похож на прототип этого класса, хранящийся в весах связей нейронной сети. Если такое свойство, установленное с помощью параметра сходства p между двумя векторами, имеет место в режиме обучения, то найденный прототип модифицируется,

чтобы стать более похожим на предъявленный сети входной вектор. В режиме распознавания параметры сети не меняются, а только фиксируется класс, к которому относится входной вектор. При отсутствии достаточного сходства между входным вектором и прототипами всех имеющихся классов, он запоминается сетью как прототип нового класса. Это возможно благодаря тому, что информация об векторе-прототипе хранится в весах связей одного распознающего Y -нейрона, и сеть имеет значительное число неиспользуемых распознающих нейронов, избыток которых уменьшается по мере поступления новой входной информации. Наличие избыточных распознающих нейронов является принципиальной особенностью сетей АРТ, поскольку при их отсутствии новые входные вектора просто теряются [6 – 10].

Связи с весовыми коэффициентами W_{ij}^1 ($i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$), $0 \leq W_{ij}^1 \leq 1$ передают сигналы с выхода каждого Z -элемента на входы каждого Y -нейрона, и определяют значения выходных сигналов Y -нейронов при предъявлении входного вектора. Бинарные связи с весовыми коэффициентами W_{ji}^2 ($j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, n}$) связывают выход каждого распознающего нейрона с входом каждого интерфейсного нейрона и задают бинарный прототип класса. На входы каждого Z -элемента по связям с единичными весовыми коэффициентами поступает также сигнал с выхода бинарного управляющего нейрона G_1 . Сигналы с выходов всех Z -элементов по связям с единичными весовыми коэффициентами поступают на входы решающего нейрона R . Такими же связями выходы всех распознающих нейронов соединены со входами нейрона G_1 , а их входы – с выходами нейронов G_2 и R .

Нейроны слоев Z и Y переходят в активное состояние по правилу "два из трёх", то есть при наличии возбуждающих сигналов из двух различных источников. Y -нейроны переходят в активное состояние только при наличии единичных сигналов как от Z -нейронов, так и от управляющего нейрона G_2 ; Z -нейроны переходят в активное состояние при наличии либо единичных сигналов от S -нейронов и управляющего нейрона G_1 , либо единичных сигналов от элементов входного слоя S и выходного слоя Y нейронной сети.

Для обучения дискретных нейронных сетей обычно используется метод быстрого обучения, при котором равновесные веса связей нейронов определяются за одно предъявление входного вектора [6 – 10].

Недостаток нейронной сети АРТ-1 состоит в том, что при предъявлении входного вектора сеть определяет близость этого вектора к вектору-прототипу, который хранится в весах связей победившего Y -нейрона, и тем самым определяет принадлежность входного вектора к одному из классов. Остальные возможные варианты решения задачи распознавания теряются.

Для расширения возможностей дискретной нейронной сети АРТ и получения всех возможных вариантов решения задачи распознавания в работе [11] к базовой архитектуре АРТ-1 добавлен еще один управляющий нейрон

R^1 , инвертирующий выходные сигналы нейрона R , и слой регистрирующих нейронов Y_j^1 ($j = \overline{1, m}$). Вход каждого нейрона Y_j^1 связан однонаправленной бинарной связью W_{ji}^3 ($j = \overline{1, m}$) с выходом соответствующего распознающего нейрона Y_j . Перед началом режима распознавания нейроны Y_j^1 ($j = \overline{1, m}$), как и другие нейроны сети, переводятся в пассивное состояние по цепям связей, не показанным на рисунке. Нейроны Y_j^1 ($j = \overline{1, m}$) переходят в активное состояние по правилу "два из трех" – при наличии единичных сигналов на выходе нейронов Y_j и управляющего нейрона R^1 . Единичный сигнал с выхода нейрона Y_j^1 по цепи обратной связи фиксирует выходной сигнал элемента Y_j^1 и затормаживает нейрон-победитель Y_j . После этого в сети начинается поиск нового нейрона-победителя. Процесс поиска продолжается до тех пор, пока все распознающие распределенные нейроны не окажутся заторможенными. При этом на выходах нейронов слоя Y^1 может не оказаться ни одного единичного сигнала, так как входной вектор не похож ни на один из прототипов, хранящихся в весах связей сети. Либо на выходах нейронов слоя Y^1 может быть один или несколько единичных сигналов, указывающих на принадлежность входного вектора к одному или нескольким классам изображений (векторов).

Получение нескольких решений – несомненное достоинство рассмотренной нейронной сети, получившей название ART-1s. Однако, наличие нескольких решений порождает задачу определения одного решения из множества имеющихся, которую возможно решить одним из следующих способов.

1. Случайным выбором одного из возможных решений, когда на выходах нейронов дополнительного слоя остается единственный единичный сигнал, а все остальные выходные сигналы равны нулю. Такой подход целесообразно использовать в тех случаях, когда отсутствует какая-либо информация о тех или иных предпочтениях при выборе единственного решения из множества найденных. Этот способ получения решений приводит к, так называемому жесткому решению, при котором теряется информация об остальных решениях.

2. Другим способом выделения жесткого решения является выделение решения с помощью эксперта.

3. Решение определяется с помощью модифицированной нейронной сети ART-1s, отличающейся использованием в слое нейронов Y^1 элементов, способных запоминать любые положительные сигналы со значениями в интервале $[0, 1]$, и дополнительной информации, представленной экспертами. Например, экспертами задаются предпочтения выбора одного из $n1$

определенных возможных решений с помощью набора неотрицательных весовых коэффициентов $g_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^{n1} g_j = 1$, где g_j – весовой коэффициент, соответствующий частоте выбора (или предпочтению выбора) j -го решения. Без потери общности рассуждений можно полагать, что все коэффициенты g_j различны и расположены в порядке убывания их величин, а решения выделяются с помощью нейронов $Y_{r1}^1, Y_{r2}^1, \dots, Y_{rn1}^1$. Если задать между нейронами слоев Y и Y^1 веса связей пропорциональными указанным весовым коэффициентам: $W_{11}^3 = g_1$, $W_{22}^3 = g_2$, ..., $W_{n1,n1}^3 = g_{n1}$, то на выходах нейронов слоя Y^1 будут получены сигналы, пропорциональные весовым коэффициентам экспертов. Такой способ получения решения приводит к, так называемому, мягкому решению, когда при выборе единственного решения, соответствующего максимальному выходному сигналу (или любому другому сигналу) на выходе нейронов слоя Y^1 , не теряется информация об остальных решениях. Однако решение, определенное с помощью максимального весового коэффициента, "страдает болезнью жадности" [12], так как оно не меняется при заданном наборе весовых коэффициентов g_j ($j = \overline{1, n1}$) при повторном предъявлении входного вектора, что при небольшом отличии коэффициентов g_j выглядит алогичным. Этот недостаток устраняется в следующем способе выделения единственного решения.

4. Этот способ выделения единственного решения также использует экспертную информацию в виде множества весовых коэффициентов g_j ($j = \overline{1, n1}$), соответствующих $n1$ возможным решениям. Однако коэффициенты соответствуют вероятностям, с какими веса связей могут стать единичными. Если один из весов связей определяется как единичный, то все остальные веса связей становятся равными нулю. Этот подход избавляет от "замораживания" решений и позволяет получать различные решения с вероятностями, определяемыми весовыми коэффициентами g_j ($j = \overline{1, n1}$).

Поскольку искусственная нейронная сеть обычно реализуется не аппаратно, а программно, то возможно ведение архива принятых решений и подсчет числа тех или иных решений, а также расчет новых весовых коэффициентов q_j ($j = \overline{1, n1}$), которые могут использоваться как для коррекции, так и для замены ранее заданных коэффициентов.

Одним из возможных способов коррекции коэффициентов g_j ($j = \overline{1, n1}$) с помощью новых коэффициентов q_j ($j = \overline{1, n1}$), когда значимость

коэффициентов g_j и q_j различна, например, из-за того, что они получены на выборках различной длины, или из-за того, что данным за последний период использования нейронной сети придается больший (либо меньший) вес, может быть следующий:

$$g_j^{new} = (g_j + \alpha q_j) / (1 + \alpha), \quad j = \overline{1, n1}, \quad (1)$$

где g_j^{new} – скорректированные или новые значения весовых коэффициентов; α – весовой коэффициент, учитывающий неравнозначность весов g_j , q_j ($j = \overline{1, n1}$).

Пример. Пусть $n1 = 3$, $g_1 = 0,5$; $g_2 = 0,3$; $g_3 = 0,2$; $q_1 = 0,6$; $q_2 = 0,2$; $q_3 = 0,2$; $\alpha = 0,3$. Тогда по соотношениям (1) имеем: $g_1^{new} = 0,523$; $g_2^{new} = 0,277$; $g_3^{new} = 0,200$.

Еще одним способом получения коэффициентов g_j или q_j ($j = \overline{1, n1}$) может быть метод анализа иерархий [13], хотя он и является довольно трудоемким и поэтому обычно проводится однократно или через значительные интервалы времени, когда вектор характеристик лекарственных препаратов существенно меняется.

Выводы. Таким образом, разработана дискретная нейронная сеть адаптивной резонансной теории, позволяющая определять одно или большее число решений (если они существуют) в задачах распознавания или классификации. Предложены способы выделения единственных решений из множества полученных, в том числе, и лучших решений на основе информации экспертов. Перспективой дальнейших исследований является совершенствование интеллектуальной системы поддержки принятия решений при назначении лекарственных препаратов.

Список литературы: 1. Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А. Система оптимального подбора лекарственных средств в дерматологии // Автоматика-2008: доклады XV международной конференции по автоматическому управлению, 23 – 26 сентября 2008 г. – Одесса: ОНМА. – С. 159 – 161. 2. Весненко А.И., Попов А.А., Проненко М.И. Топо-типология структуры развернутого клинического диагноза в современных медицинских информационных системах и технологиях // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 6. – С. 143 – 154. 3. Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. І.І. Маврова // "Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог". – К.: ТОВ "Доктор-Медіа", 2007. – 344 С. (Серія "Бібліотека "Здоров'я України"). 4. Компендиум 2007 – лекарственные препараты / Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.compendium.com.ua>. 5. Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А. Применение нейронных сетей в задаче оптимального подбора лекарственных препаратов // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 56 – 63. 6. Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И. Основы теории нейронных сетей. – Белгород: БИИММАП, 2001. – 159 с. 7. Grossberg S. Competitive learning: from interactive activation to adaptive resonance // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63. 8. Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А. Новые алгоритмы обучения одно- и многомодульных дискретных нейронных сетей АРТ // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008 – № 24. – С. 51 – 64. 9. Моделирование и оптимизация

систем управления и контроля локомотивов / Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю. – Х.: ХФИ Транспорт Украины, 2003. – 248 с.

10. Carpenter G.A., Grossberg S. A massively parallel architecture for selforganizing neural pattern recognition machine // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.

11. Дмитриенко В.Д., В.И., Хавина И.П. Вычислительная сеть для решения задач распознавания с несколькими решениями // Вестник НТУ "ХПИ". – 2007. – № 19. – С. 58 – 63.

12. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 С.

13. Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А. Многокритериальная оценка лекарственных препаратов // Доклады IX Международной конференции контроль и управление в сложных системах (КУСС-2008), 21 – 24 октября 2008 г. – Винница: ВНТУ – С. 262.

УДК 681.513:620.1

Дискретна нейронна мережа адаптивної резонансної теорії для розв'язання задач підбору лікарських препаратів / Дмитрієнко В.Д., Поворознюк О.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 61 – 68.

Запропонована дискретна нейронна мережа адаптивної резонансної теорії для розв'язання задач підбору лікарських препаратів. Мережа дозволяє визначати як одне, так і велике число можливих рішень (якщо вони існують). Запропоновано способи виділення єдиного рішення з множини отриманих, у тому числі, і кращих рішень на основі інформації експертів. Лл.:1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: дискретна нейронна мережа адаптивної резонансної теорії, задача підбора лікарських препаратів.

UDC 681.513:620.1

Discrete neural network adaptive resonance theory for decision of the problem selection medicinal preparation / Dmitrienko V. D., Povoroznyuk O. A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Theme issue: Information science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 61 – 68.

It is offered discrete neural network to adaptive resonance theory for decision of the problem selection medicinal preparation. The network allows to define as one, so and large number of the possible decisions (if they exist). The offered ways of the separation of the single decision from ensemble got, including, and the best decisions on base of information expert. Figs: 1. Refs: 13 sources.

Key words: discrete neural network to adaptive resonance theory, problem of the selection medicinal preparation.

Поступила в редакцию 15.04.2009

В.Г. ИВАНОВ, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. НЮАУ им. Я. Мудрого,
Ю.В. ЛОМОНОСОВ, канд. техн. наук, доц. НЮАУ им. Я. Мудрого,
М.Г. ЛЮБАРСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, проф. НЮАУ им. Я. Мудрого
(г. Харьков)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В СИСТЕМАХ СЖАТИЯ

Проведен статистический анализ эффективности основных унитарных преобразований, которые используются в алгоритмах сжатия изображений. Отмечается, что одним из наиболее эффективных преобразований является преобразование Карунена-Лоэва, которое обладает свойством полной декорреляции коэффициентов. Однако в действующих форматах сжатия изображений используется наиболее близкое по характеристикам преобразование с дальнейшим квантованием коэффициентов.

Ключевые слова: унитарные преобразования, статистический анализ, сжатие изображений.

Постановка проблемы. Быстрое развитие компьютерных систем и систем телекоммуникаций приводит к возникновению необходимости постоянного развития и модификации методов и алгоритмов сжатия данных. Среди всех видов мультимедийных данных наиболее распространенными являются графические изображения. Специфика современных графических форматов заключается в поиске и применении наиболее эффективных преобразований, а также способов представления данных при формировании результирующего потока, и рассматривать эти задачи необходимо комплексно. Поэтому эффективное функционирование и развитие систем хранения, обработки, передачи мультимедийной информации невозможно без использования методов сжатия, которые требуют корректного сравнения на базе анализа эффективности основных унитарных преобразований.

Анализ литературы. Цитируемая литература в основном состоит из работ, в которых наиболее полно и ясно изложено то или иное направление в области сжатия данных. К сожалению, законченного сравнительного анализа основных преобразований в алгоритмах сжатия данных для тестовых изображений, отвечающих современному состоянию, полностью не приводится [1 – 9].

Цель статьи. Провести статистический анализ и сопоставить эффективность унитарных преобразований методов сжатия данных с целью более точного прогноза количественных результатов сжатия.

Многие алгоритмы сжатия изображений основаны на применении к изображению какого-либо ортогонального преобразования и последующего квантования. Степень сжатия изображения и его качество зависят от обоих этих этапов, а, главное, от их согласованности с типом сжимаемого

изображения, который можно охарактеризовать статистическими свойствами последнего. Среди основных известных преобразований, преобразование Карунена-Лоэва является единственным унитарным преобразованием, в котором достигается полная декорреляция коэффициентов для произвольного изображения. В других преобразованиях между коэффициентами преобразования остается некоторая остаточная корреляция [1, 2]. Кроме того, преобразование Карунена-Лоэва обеспечивает наибольшую среди всех унитарных преобразований степень концентрации энергии спектра преобразования. К сожалению, его коэффициенты не фиксированы, а зависят от исходных данных. Вычисление этих коэффициентов (собственных векторов ковариационной матрицы) делается медленно, как и нахождение самих преобразованных величин. Поскольку преобразование зависит от исходных данных, приходится сохранять его коэффициенты в сжатом файле.

Статистический анализ коэффициентов преобразований $T(u, v)$ можно свести к случаю обработки наблюдений над системой произвольного числа случайных величин $X_1, X_2, \dots, X_m$, над которой произведено n независимых наблюдений и найдены числовые характеристики этой системы – математические ожидания и элементы корреляционной матрицы, на главной диагонали которой стоят дисперсии коэффициентов преобразования (D) [3, 4].

Требуется найти оценки для характеристик системы – математических ожиданий $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_m}$ и элементов корреляционной матрицы

$$\|K_{ij}\| = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1m} \\ \dots & K_{22} & \dots & K_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & K_{mm} \end{vmatrix}. \quad (1)$$

На главной диагонали корреляционной матрицы стоят дисперсии случайных величин (коэффициентов) $X_1, X_2, \dots, X_m$ ($m = 1, 2, \dots, n^2$):

$$k_{11} = D_1; k_{22} = D_2, \dots; k_{mm} = D_m.$$

Оценки для математических ожиданий находятся как

$$\tilde{m}_{x_k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_{ki}, \quad (2)$$

где $k = 1, 2, \dots, m$; $i = 1, 2, \dots, n$, а $m = 8 \times 8$ и $n = \frac{N^2}{m^2} = 1024$.

Несмещенные оценки для дисперсий определяются по формулам

$$\tilde{D}_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \tilde{m}_{x_k})^2}{n - 1}, \quad (3)$$

а корреляционные моменты равны

$$\tilde{K}_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \tilde{m}_{x_k})(x_{li} - \tilde{m}_{x_l})}{n-1}, \quad (4)$$

где k и l изменяются от 1 до m .

На основе приведенных выше выражений путем численного моделирования на ЭВМ был проведен анализ эффективности того или иного преобразования по критерию неравномерности распределения дисперсий коэффициентов преобразования, а также их остаточной корреляции для широкого класса тестовых изображений, которые традиционно используются для сравнительного анализа алгоритмов сжатия данных [1, 2, 6, 7, 8].

Удобно использовать понятие класса изображений, который определяется достаточно условно как в кодировании изображений, так и в телевидении [7, 8]. Под классом будем понимать совокупность изображений, которые после сжатия дают качественно близкие результаты. Класс 1 – изображение слабой насыщенности типа "Портрет" (Zelda.bmp), класс 2 – изображение средней насыщенности типа "Художественный портрет" (Lena.bmp) и общий план (Cameraman.bmp), класс 3 – насыщенное деталями изображение (Boat.bmp), класс 4 – насыщенное деталями искусственное изображение с символьными данными (Печать.bmp, Pechat_00011.bmp).

В таблице представлены значения среднеквадратической ошибки и соответствующего коэффициента сжатия для рассматриваемых преобразований и классов изображений после отбрасывания определенного количества дисперсий при обратном z-сканировании.

Как и следовало ожидать, наилучшим с точки зрения минимизации среднеквадратической ошибки, равной сумме отброшенных дисперсий, является преобразование Карунена-Лозва (KL), которое одновременно полностью декоррелирует исходные данные, то есть ковариационная матрица в результате этого преобразования является диагональной.

Рассмотренные преобразования (KL – Карунена-Лозва, Cos – дискретное косинусное преобразование, Нааг – преобразование Хаара) можно упорядочить по эффективности следующим образом: $KL \geq Cos > Нааг$.

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с данными других исследователей, которые для анализа в качестве статистической модели изображения выбирали двумерный марковский процесс первого порядка или те же тестовые изображения [7, 9]. Таким образом, дисперсионный критерий дает возможность предсказать (спрогнозировать) относительное качество различных ортогональных преобразований при сжатии данных и изображений.

Квантование и кодирование коэффициентов преобразований. Эффективность JPEG-кодирования изображений, связанная с усечением разложений, является функцией числа и относительной важности

отбрасываемых коэффициентов преобразования, а также точности (квантования), используемой для представления значений сохраняемых коэффициентов. Квантование является тем звеном обработки, на котором JPEG вносит потери.

Таблица

Значение ошибки и коэффициента сжатия при отбрасывании различного числа дисперсий

Тип преобразования	Кол-во отброшенных дисперсий		15	28	40	50
	Кол-во оставленных дисперсий		49	36	24	14
	Теоретический коэффициент сжатия		1,306	1,778	2,667	4,571
KL	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0012	0,003	0,008	0,017
		Lena	0,0014	0,004	0,010	0,022
		Cameraman	0,0019	0,006	0,015	0,03
		peppers	0,0009	0,003	0,009	0,024
		pechat	0,0144	0,037	0,080	0,162
		Boat	0,0010	0,004	0,013	0,031
Cos	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0019	0,005	0,011	0,021
		Lena	0,0025	0,007	0,015	0,028
		Cameraman	0,0030	0,009	0,021	0,037
		peppers	0,0024	0,006	0,015	0,032
		pechat	0,0171	0,048	0,100	0,172
		Boat	0,0015	0,006	0,017	0,035
Haar	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0041	0,007	0,018	0,037
		Lena	0,0040	0,008	0,021	0,047
		Cameraman	0,0082	0,015	0,033	0,058
		peppers	0,0097	0,018	0,039	0,075
		pechat	0,0514	0,095	0,189	0,311
		Boat	0,0090	0,017	0,04	0,075

Таблица квантования может быть взята по умолчанию или формируется кодером для конкретной статистики изображения и передается декодеру вместе со сжатыми данными. В стандарте JPEG на базе дискретного косинусного преобразования для цветных изображений разработаны таблицы квантования сигналов яркости и цветности, которые рекомендуются к использованию по умолчанию, но использование которых не является строго предписанным. Они были получены опытным путем на основе психофизических тестов [9] и имеют общую тенденцию – с ростом пространственной частоты коэффициенты косинусного преобразования квантуются все более грубо.

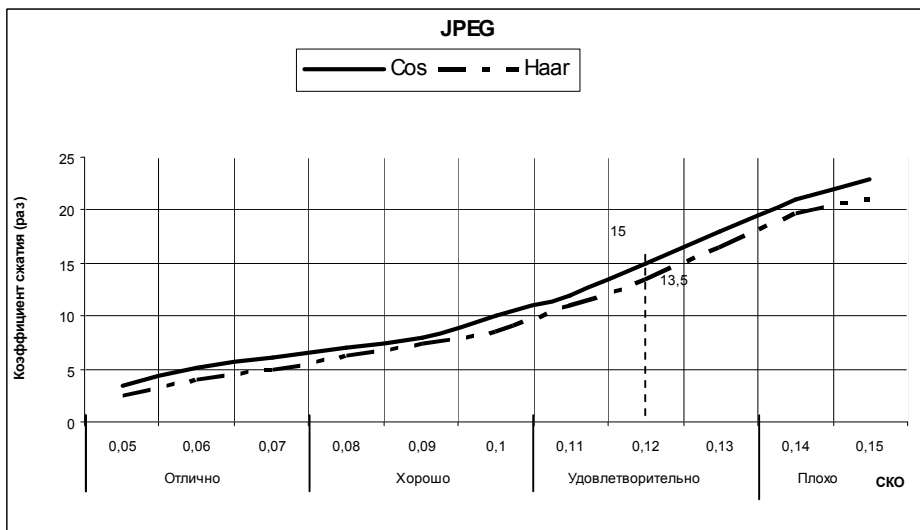


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжатия от SKO для тестового изображения "Zelda" при соответствующем преобразовании

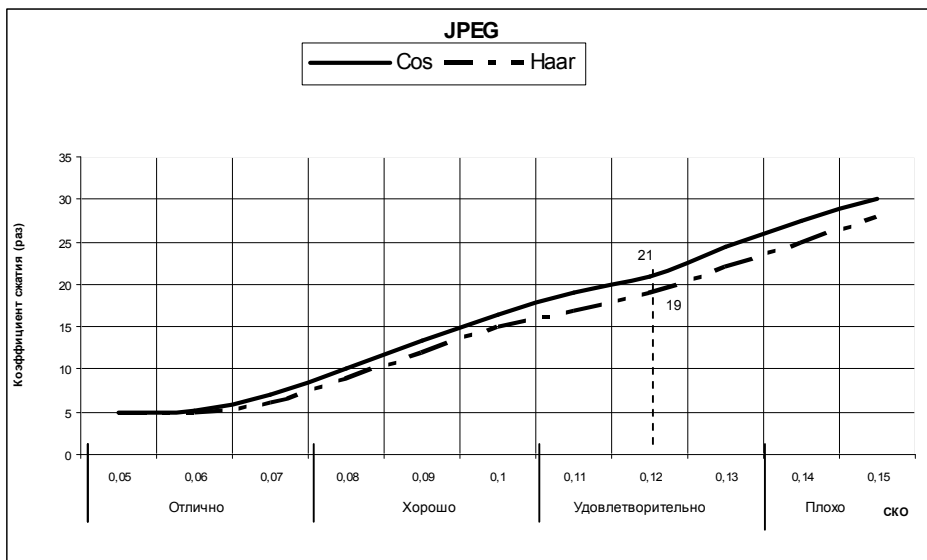


Рис. 2. Зависимость коэффициента сжатия от SKO для тестового изображения "Lena" при соответствующем преобразовании

Такое квантование отражает то важнейшее свойство зрительной системы, что с ростом пространственной частоты падает ее контрастная характеристика чувствительности, а значит, отсутствует необходимость передавать составляющие этих частот с большой точностью. Таблица учитывает также анизотропию этой характеристики – в диагональном направлении значения факторов квантования еще более велики [5 – 9]. Элементы матрицы коэффициентов нормализации могут масштабироваться, обеспечивая тем самым многообразие уровней сжатия.

На рис. 1 и 2 приведены зависимости коэффициента сжатия (отношение количества двоичных знаков на входе обобщенной модели к количеству этих знаков, полученных на выходе) от среднеквадратической ошибки (СКО), а на рис. 3 и 4 – визуальные примеры некоторых исходных и восстановленных тестовых изображений после соответствующих преобразований.



а) JPEG-Cos (DCT) СКО=12% K=21



б) JPEG-Cos (DCT) СКО=12% K=15

Рис. 3. Примеры исходных и восстановленных тестовых изображений:

а) Zelda; б) Lena; в) Kameraman; г) Boat.



в) JPEG-Cos (DCT) СКО=12% K=17,5



г) JPEG-Cos (DCT) СКО=12% K=15,8-17,1

Рис. 4. Примеры исходных и восстановленных тестовых изображений:
а) Kameraman; б) Boat.

Выводы. Путем численного моделирования на ЭВМ проведен анализ эффективности сжимающих свойств основных ортогональных преобразований с использованием критерия неравномерности распределения дисперсий коэффициентов, а также их остаточной корреляции для широкого класса тестовых изображений. Установлено, что наилучшим является преобразование KL. Однако в пространстве квантованных коэффициентов полной цепочки JPEG-кодирования преимущества преобразования KL для некоторых классов изображений, по сравнению с косинусным преобразованием, полностью утрачивается.

Выявлено, что преобразование KL при малых значениях СКО (0,06) на изображении Zelda.bmp дает выигрыш в сжатии по сравнению с JPEG-ДКП в

44 %, и затем с ростом СКО это преимущество уменьшается, а на изображении Lena.bmp степень сжатия становится практически одной и той же. Дисперсионный же критерий оценки сжимающих свойств того или иного преобразования по сравнению с преобразованием КЛ всегда лучше у последнего. Поэтому количественные оценки эффективности разрабатываемых алгоритмов кодирования реалистичных изображений рекомендуется делать на основе обобщенной модели технологической среды сжатия данных, учитывающей этапы квантования коэффициентов преобразований [8].

Список литературы: 1. Ахмед Н., Пао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с. 2. Ватанабе С. Разложение Карунена-Лоева и факторный анализ / Автоматический анализ сложных изображений. – М.: Мир, 1969. – С. 254-275. 3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1964. – 576 с. 4. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. – М.: Мир, 1989. – 376 с. 5. Прет У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн. – Кн. 2. – М.: Мир, 1982. – 480 с. 6. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 384 с. 7. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. 8. Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В. Фурье и вейвлет-анализ изображений в плоскости JPEG технологий // Проблемы управления и информатики. – К.: 2004. – № 5. – С. 111-124. 9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

УДК 004.627

Статистичний аналіз ефективності основних перетворень в системах стиску / Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 69 – 76.

Проведений статистичний аналіз ефективності основних унітарних перетворень, які використовуються в алгоритмах стиснення зображень. Наголошується, що одним з найбільш ефективних перетворень є перетворення Карунена-Лоева, яке володіє властивістю повної декореляції коефіцієнтів. Проте у форматах стиснення зображень, що діють, використовується найбільш близьке за характеристиками перетворення з подальшим квантуванням коефіцієнтів. Лл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: унітарні перетворення, статистичний аналіз, стиснення зображень.

UDC 004.627

Statistical analysis of efficiency of basic transformations is to the systems of compression / Ivanov V.G., Lyubarsky M.G., Lomonosov U.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 69 – 76.

The statistical analysis of efficiency of basic unitary transformations which are utilized in the algorithms of compression of images is conducted. It is marked that one of the most effective transformations is transformation of Karhunen-Loeve, which possesses property of complete decorrelation coefficients. However in the operating formats of compression of images the most near on descriptions transformation is utilized with the further quantum of coefficients. Figs: 4. Tabl.: 1. Refs: 9 titles.

Key words: unitary transformations, statistical analysis, compression of images.

Поступила в редакцію 10.04.2009

В.Г. ІВАНОВ, д-р. техн. наук, проф., зав. каф. НЮАУ ім. Я. Мудрого (м. Харків),

Н.І. МАЗНИЧЕНКО, ст. викладач НЮАУ ім. Я. Мудрого (м. Харків)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОРИСТУВАЧА ЕОМ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЧЕРКУ

У статті розглянуті основні принципи побудови, області вживання, особливості використання автоматизованих систем ідентифікації користувачів комп'ютерних систем та мереж за інформаційним почерком. Досліджені деякі підходи до ідентифікації користувача ЕОМ за допомогою двох складових інформаційного почерку: клавіатурний почерк та динаміка роботи з манипулятором "миша", розглянутих в комплексі. Проаналізовані можливі сфери вживання, запропоновані перспективні області застосування.

Ключові слова: інформаційний почерк, ідентифікація користувача ЕОМ.

Постановка проблеми. У час загальної інформатизації особливу важливість і значення набувають задачі захисту інформації. Тому постійно розробляються нові методи захисту, які дозволяють збільшувати надійність і стійкість систем, призначених для вирішення такого роду задач [1].

Основною частиною забезпечення безпеки інформаційної системи є завдання обмеження кола осіб, які мають доступ до конкретної інформації. Ідентифікація користувача ЕОМ – завдання, вирішення якого дозволяє організувати весь процес управління правами доступу, а також реалізувати ряд інших допоміжних завдань, що мають самостійне прикладне значення. З погляду використання прихованого моніторингу роботи за персональним комп'ютером представляє інтерес класифікація психофізичних параметрів користувача, до яких відносяться: клавіатурний почерк, підпис мишею, реакція на події, що відбуваються на екрані [2]. Термін, що з'явився в зв'язку з цим, інформаційний почерк користувача (далі ІПК) відображає стиль роботи користувача з деякими пристроями введення.

Аналіз літератури. Останнім часом все більша увага звертається на методи ідентифікації особи користувача і його фізичного стану по динаміці підсвідомих рухів. Мова йде про відпрацьовані рухові навички людини і можливості їх моніторингу по відповідних ознаках. Спостереження за ІПК під час роботи користувача з персональним комп'ютером дозволяє відстежувати його працездатність і характер виконуваної роботи.

У літературі наводяться результати аналізу написання букв [3], спостереження клавіатурного почерку [4, 5] і "інформаційного почерку" [6, 7]. Відомі роботи по розпізнаванню клавіатурного почерку використовують лише наступні параметри: V_n – середня швидкість натиснення клавіші, $t_{уд}$ – середній час утримання клавіші, t_n – середній час між натисненнями. Такий

клавіатурний почерк розпізнається засобами нейронних мереж з надійністю 0,99. [4] При цьому здійснюється не моніторинг роботи користувача, а формування ІПК у момент введення паролльної фрази і розпізнавання її образу при вході в систему. Але в жодній роботі не розглядається безперервний режим моніторингу роботи користувача.

Існуючі дослідження моніторингу маніпулятора миша при роботі користувача в системі показують надійність розпізнавання 0,8 – 0,9 [8, 9]. Але жодне дослідження не розглядає моніторинг всього процесу еволюції системи "користувач-миша" впродовж тривалого (потенційно необмеженого) інтервалу часу спостереження за користувачем.

Мета статті. На сьогоднішній день багато питань ідентифікації користувачів за ІПК не вивчено. Актуальна розробка нових методів, алгоритмів і їх програмно-апаратних реалізацій, що дозволить значно підвищити ефективність автоматизованих систем, призначених для цієї мети. Також представляється цікавим розгляд сфер вживання ідентифікації користувача за ІПК, яким до останнього часу призначалося мало уваги, наприклад, моніторинг роботи користувача на протязі тривалого часу з метою відстеження його фізичного стану, що вважається дуже важливим для деяких сфер вживання, де можливі помилки під час роботи можуть мати не тільки важливе значення, але і бути катастрофічними.

Виклад основного матеріалу. Людська індивідуальність простежується при роботі користувачів за комп'ютером. Для вирішення цієї задачі активно використовуються методи біометрії – ідентифікації конкретної людини за унікальними, притаманними лише їй біологічними ознаками. Системи доступу і захисту інформації, засновані на таких технологіях є не тільки найнадійнішими, але і найзручнішими для користувачів на сьогоднішній день. Біометричні технології активно застосовуються в багатьох областях, пов'язаних із забезпеченням безпеки доступу до інформації і матеріальних об'єктів.

Серед біометричних механізмів ідентифікації можна виділити такі [1]:

1) по статичних ознаках – ті, що практично не міняються згодом, починаючи з народження людини (по відбитку пальця, по малюнку райдужної оболонки ока або сітківки ока, по геометрії грона руки, за формою долоні, будові лица, формі черепа, по формі лица, ДНК і т.д.);

2) по динамічних ознаках – поведінкові характеристики, тобто ті, які засновані на особливостях, властивих для підсвідомих рухів в процесі відтворення якої-небудь дії (по голосу, по почерку, по клавіатурному почерку, по ході, по "мишиному" почерку і т.д.). Динамічні ознаки можуть змінюватися з часом, але не різко, стрибком, а поступово.

У біометричних системах ідентифікації, які засновані на динамічних ознаках, найчастіше використовуються голос, почерк і клавіатурний почерк. Привабливою рисою систем динамічної ідентифікації є те, що вони здатні паралельно з ідентифікацією оцінювати поточний психічний стан особи. З цієї

причини динамічні методи розглядаються як психологічні.

Новим напрямом моніторингу особи користувача є відстеження його поведінкових особливостей, що виявляються в характері роботи з різними маніпуляторами: світлове перо, маніпулятор "миша", клавіатура і ін. В результаті відстеження ІПК в комп'ютері може формуватися унікальний для кожного користувача образ, який може використовуватися як засіб ідентифікації його стану, рівня комп'ютерної письменності, специфіки діяльності і так далі.

Під інформаційним почерком конкретного користувача будемо розуміти область простору параметрів, що відображають особливості роботи користувача з різними пристроями введення (клавіатура, комп'ютерна миша, графічний планшет, джойстик і т. п.). Очікується, що всі користувачі мають ІПК, що розрізняються, в деякій метриці цього простору. Слід сказати, що поняття "інформаційний почерк" зустрінете тільки в роботах [2, 6, 7].

У даній роботі передбачається, що випадковий процес взаємодії користувача з пристроями введення комп'ютера – мишею і клавіатурою – стаціонарний на тимчасовому інтервалі аналізу.

При виборі параметрів для ідентифікації інформаційного почерку дуже важливо врахувати саме ті, які мають важливе значення для надійної ідентифікації користувача.

Стосовно маніпулювання комп'ютерною мишею у [8] визначена множина параметрів траєкторії курсору. Запропоновано кожен траєкторію відображати вектором п'яти параметрів:

$$m = (T, L, U_p, \delta, \alpha), \quad (1)$$

де T – час руху маніпулятора до його зупинки; L – довжина траєкторії; U_p – швидкість розгону; δ – час між зупинкою покажчика й підтверджуючим натисненням кнопки маніпулятора; α – кут напряму початкового руху. Більшість з цих параметрів визначає швидкісні характеристики (динаміку) роботи користувача з комп'ютерною мишею.

В результаті вимірювань множини траєкторій може бути сформована статистична вибірка з N векторів, представлена у вигляді матриці експерименту розмірністю $N \times 5$. Ця матриця є базою для різноманітної обробки з метою формування унікального комп'ютерного образу користувача. Наприклад: вектор середніх (простий випадок); 10 координат вершин гіперпаралелепіпеда, що формуються мінімальними і максимальними значеннями в стовпцях матриці експерименту; 5-мірна гістограма – аналог імовірнісної міри з 5-мірною множиною інтервалів (осередків простору параметрів). Проблема нестационарного почерку може бути вирішена, зокрема, регулярним/нерегулярним повторенням акту "навчання" системи, що формує і ідентифікує ІПК.

Стосовно клавіатурного почерку дослідження показали [4, 5], що клавіатурний почерк конкретного користувача володіє стабільністю. Це

дозволяє з великою достовірністю ідентифікувати користувача, що працює з клавіатурою. У якості часових параметрів роботи користувача за клавіатурою автори вказаних робіт пропонують середні значення тимчасових інтервалів τ_{Hi} між натисненням клавіш і тривалості часу $\tau_{удj}$ їх утримання. При цьому тимчасові інтервали між натисненням клавіш характеризують темп роботи, а час утримання клавіш – стиль роботи з клавіатурою: різкий удар або плавне натиснення [4].

До цих двох характеристик додають середню швидкість набору тексту, зміряну в різних епізодах роботи з клавіатурою [4]:

$$U_n = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}, \quad (2)$$

де U_i – середня швидкість набору в i -му епізоді.

При цьому за деякий час вимірювання з'являється M значень 3-мірного вектора, які характеризують M епізодів взаємодії користувача з клавіатурою, – матриця експерименту $M \times 3$. Її обробка також може бути зведена до трьох вищеперелічених варіантів, якщо рахувати процес роботи користувача з клавіатурою стаціонарним.

Таким чином, для ідентифікації інформаційного почерку користувача необхідно відстежувати значення як мінімум восьмимірного вектора:

$$P = (T, L, U_p, \delta, \alpha, U_n, t_{y\delta}, t_n). \quad (3)$$

Дослідження взаємозв'язків між параметрами інформаційного почерку на вибірці об'ємом більше 10 000 у декількох користувачів показує, що статистичний зв'язок параметрів клавіатурного почерку і параметрів траєкторій комп'ютерної миші слабкий. Це говорить про самоцінності кожного з компонентів вектора (3) параметрів ІПК. З кореляційної матриці слідує також гіпотеза про відносну автономію кожного з параметрів і відсутності надмірності в сукупності вибраних характеристик ІПК.

У основі більшості алгоритмів розпізнавання лежить гіпотеза компактності, яка полягає в тому, що реалізації одного образу (матриця $N \times 8$) в 8-мірному геометричному просторі утворюють "компактні згустки". Процес ідентифікації ІПК складається з двох основних етапів: навчання (відображення) ІПК кожного користувача і ухвалення рішення про приналежність спостережуваного процесу взаємодії користувача з ПК одному з еталонів (відображень) ІПК.

Процедура формування образу ІПК в реальному часі на етапі "навчання" може бути розбита на три стадії, що повторюються:

1) вимірювання значень параметрів подій і процесів, пов'язаних з вказаними вище пристроями під час роботи користувача з комп'ютером. Формування матриці експерименту. При цьому необхідне нормування значень параметрів;

- 2) формування образу ІПК одним з перерахованих способів;
- 3) шифрування результату.

Поповнення повчальної вибірки може відбуватися, наприклад, через кожних 5 хвилин. Програмне забезпечення для здійснення цих вимірювань створене і апробоване [7]. Висока продуктивність сучасних комп'ютерів робить цей процес абсолютно непомітним для користувача.

На цьому, першому етапі вирішальною є стадія 2. Враховуючи, що вектор P випадковий, необхідні методи математичної статистики для формування відображень ІПК. При цьому немає проблеми репрезентативності вибірки, оскільки отримання кількості вимірювань в декілька тисяч не складає труднощів.

Перша процедура заснована на відображенні ІПК крапкою в 8-мірному просторі – $ІПК_c = (p_1, \dots, p_8)$, де p_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) – середні значення стовпців матриці експерименту.

Друга процедура зводиться до редукції матриці експерименту в матрицю 2×8 , першим рядком якої є мінімальні значення, другий – максимальні значення відповідних стовпців матриці експерименту. В цьому випадку образ ІПК – це багатомірний паралелепіпед ($ІПК_k$):

$$\Delta P = (p_{11} \leq p_1 \leq p_{12}, p_{21} \leq p_2 \leq p_{22}, \dots, p_{81} \leq p_8 \leq p_{82}). \quad (4)$$

Правила формування $ІПК_c$ і $ІПК_k$ визначають процедури ідентифікації ІПК користувача, що працює за комп'ютером. Нагадаю, що розглядаємо поки тільки стаціонарний процес взаємодії користувача з комп'ютером.

Можна запропонувати наступні алгоритми ідентифікації користувача.

Алгоритм 1. Доречно розглянути простий варіант зіставлення евклидових відстаней між поточним чином ІПК (поточною крапкою) і кожним із створених образів, допущених до системи користувачів. Істотним обмеженням цього методу є неможливість абсолютної ідентифікації користувача. Правда, цю проблему можна вирішити в процесі тривалого використання методу і створення δ -областей $ІПК_c$. Для цього необхідно відстежувати флуктуації положення конкретної крапки і визначати цю область у вигляді гіперпаралелепіпеда, об'єм якого

$$V_n = (p_{1, \max} - p_{1, \min}) \times (p_{2, \max} - p_{2, \min}) \times \dots \times (p_{n, \max} - p_{n, \min}).$$

Межі гіперпаралелепіпеда розглядаються у вигляді мінімальних і максимальних значень координат або в статистичних довірчих інтервалах для координат. Останнє зажадає як мінімум перевірки гіпотези на нормальність розподілів координат.

Алгоритм 2 базується на представленні ІПК у вигляді гіперпаралелепіпеда – $ІПК_k$. Зокрема, можна використовувати метод "еталонів, що дробляться", – розпізнавання з використанням покриття повчальних вибірок кожного образу простими фігурами, що ускладнюються в міру необхідності [10]. Ухвалення рішення про схожість або відмінність двох $ІПК_k$

при перетині гіперпаралелепіпедів здійснюється таким чином. При перетині двох образів область перетину ділиться на додаткові образи наступного покоління, які у свою чергу при перетині також можуть бути розбиті. Використання гіперпаралелепіпедів, як фігур що покривають, дозволить спростити процес обчислення об'ємів можливих перетинів різних образів – ІПК_к різних користувачів. Цей метод може дати економію часу розрахунків 30 % [10]. Рішення про схожість/відмінність ІПК ухвалюється за наслідками порівняння об'ємів всіх перетинів ІПК_к.

Для абсолютної ідентифікації користувача потрібна істотно велика статистика про ІПК_к конкретного користувача. Далі визначається мінімальне значення об'єму перетину поточного і еталонного ІПК_к і ухвалюється рішення про їх ідентичність.

Висновки. Розробки ідентифікації користувача на основі його інформаційного почерку можуть застосовуватися для підвищення надійності систем розмежування доступу, для посилення контролю над користувачами (явного або негласного) в системах, що працюють з критичними даними. На сьогоднішній день рішення питання підвищення ефективності ідентифікації користувачів ЕОМ бачиться через створення комплексних систем, що використовують для прийняття рішень декілька біометричних характеристик користувача: особливості клавіатурного почерку, динаміки при роботі з мишею, тремора (користувачу пропонується обвести за допомогою графічного планшета складну фігуру).

Виконані дослідження дозволили зробити висновки про недостатній рівень розглядання можливостей у використанні саме інформаційного почерку при встановленні особи користувача ЕОМ. Всі представлені існуючі системи взагалі пропонують дуже невелику кількість параметрів для визначення ІПК, що автоматично призводить до досить низької надійності систем, побудованих на ідентифікації за цими динамічними ознаками людини. Автоматизованих систем ідентифікації з використанням спостереження за динамікою роботи користувача з маніпулятором "миша" майже не пропонується, а комплексних систем, які б використовували декілька складових ІПК разом на сьогоднішній день взагалі не існує. Але ідентифікація на базі ІПК, на наш погляд, має певне коло застосувань, тим більше, що це єдині біометричні ознаки, які можливо спостерігати досить тривалий час (під час всієї роботи користувача на ЕОМ), що дозволить значно розширити коло задач, які вирішуються. Наприклад, ідентифікація не тільки під час входу в систему, але й протягом всієї роботи на ЕОМ; відстеження психофізичного стану, його зміни під час роботи за ПК. Ця функція буде дуже важливою в сферах діяльності, де стан користувача і можливі помилки в роботі можуть мати катастрофічні наслідки. Тобто, цей напрямок в системі захисту інформації та обмеження доступу до інформаційних систем та мереж, на наш погляд, дуже прогресивний і актуальний і потребує більш досконалого вивчення та розробки нових можливостей.

Список литературы: 1. *Иванов А.И.* Биометрические и нейросетевые механизмы связи с криптографическими механизмами информационной безопасности / Сборник трудов науч.-техн. конф. "Безопасность информационных технологий". – Пенза, ПНИЭИ, 2003. – Том 4. – С. 3 – 6. 2. *Бушуев С.И., Авраменко В.С.* Аутентификация пользователей в автоматизированных системах на основе информационного почерка // Проблемы современной геополитики / Сборник трудов 1-й межд. науч.-практ. конф. "Проблемы современной геополитики. Продление НАТО на Восток – проблемы безопасности России и стран СНГ". – СПб.: Балтийский гос. техн. ун-т "ВОЕНМЕХ". – 1999. – С. 53 – 59. 3. *Епифанцев Б.Н., Ложников П.С.* Идентификация человека по динамике написания слов в компьютерных системах / Материалы 10 межд. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные методы и технологии". – Томск: Томский политехн. ун-т, 2004. – С. 163 – 164. 4. *Гузик В.Ф., Галуев Г.А., Десятерик М. Н.* Биометрическая нейросетевая система идентификации пользователя по особенностям клавиатурного почерка // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение. – 2001. – № 7 – 8. – С. 104 – 118. 5. *Шарунов Р.Р.* Идентификация и аутентификация пользователей по клавиатурному почерку // Электронное приборостроение. Научн. практ. сб. – Казань: ЗАО "Новое знание", 2005. – Вып. 3 (44). – С. 50 – 54. 6. *Власов А.Н.* Способ представления координатной составляющей информационного почерка пользователя / Материалы межд. науч. конф. по мягким вычислениям. – СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2003. – Т. 1. – С. 116 – 119. 7. *Диденко С.М., Шапцев В.А.* Методика отображения информационного почерка пользователя // Вестник кибернетики. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2005. – С.74 – 79. 8. *Диденко С.М., Шапцев В.А.* Исследование динамики работы пользователя с манипулятором мышь // Математическое и информационное моделирование. – Тюмень: Изд-во Тюм. ун-та, 2004. – С. 295 – 304. 9. *Диденко С.М.* Разработка и исследование компьютерной модели динамики системы "пользователь – мышь". Автореферат дис. к.т.н. – Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-т. – 2007. – 19 с. 10. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.

УДК 519.711.3:343.98

Идентификация пользователя ЭВМ на основе информационного почерка / Иванов В.Г., Мазниченко Н.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 77 – 83 .

В статье рассмотрены основные принципы построения, области применения, особенности использования автоматизированных систем идентификации пользователей компьютерных систем и сетей на основе информационного почерка. Исследованы некоторые подходы к идентификации пользователя ЭВМ при помощи двух составляющих информационного почерка: клавиатурного почерка и динамики работы с манипулятором "мышь", рассмотренных в комплексе. Проанализированы возможные сферы использования, предложены перспективные области применения. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: информационный почерк, идентификация пользователя ЭВМ.

UDC 519.711.3:343.98

Computer user identification on the basis of informative handwriting / Ivanov V.G., Maznichenko N.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 77 – 83.

There are the considered basic principles of construction in the article, application, feature of the use of the automated systems of authentication of users of the computer systems and networks domains on the basis of informative handwriting. Some approaches to computer user identification through two constituents of informative handwriting are explored: keyboard handwriting and dynamics of work with the manipulator «mouse», considered in a complex. The possible spheres of the use are analyses, perspective application domains are offered. Refs: 10 titles.

Key words: information handwriting, computer user identification.

Поступила в редколлегию 08.04.2009

В.В. КАРАСЮК, канд. техн. наук, доц., зав. лаб. НЮАУ ім. Я.Мудрого (м. Харків)

МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОГО ПІДХОДУ ДО НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОСЛУГ У КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ

У статті розглянуті проблеми адаптації мережних інформаційних послуг, які надаються у локальній мережі навчального закладу, до потреб користувачів. Пропонується модель персоналізації потрібної користувачу інформації на основі контролю поведінки користувача у розподіленій мережі знань. Запропоновано формування кластерів користувачів відповідно до їх персоналізованих інформаційних потреб.

Ключові слова: мережа навчального закладу, інформаційні послуги, персоналізовані інформаційні потреби, кластер.

Вступ. Більшість вищих навчальних закладів України побудували власні локальні комп'ютерні мережі і наповнили їх навчальною інформацією. У багатьох випадках ця інформація розосереджена на серверах різних підрозділів навчальних закладів, має заплутану структуру і різні формати уявлення. Орієнтуватися у подібних інформаційних накопиченнях навіть досвідченим користувачам складно, що вже казати про студентів початкових курсів. З іншого боку, перед більшістю навчальних закладів України постали непрості задачі, пов'язані з впровадженням Болонських домовленостей. Також все більшого значення набуває процес індивідуалізації навчання.

Постановка проблеми. Зазначені задачі вимагають пошуку нових форм і методів надання студентам учбової інформації. Збільшення частини самостійної та індивідуальної роботи потребує нової організації індивідуального спілкування викладача і студента. Це досить складні проблеми, рішення яких вбачається винятково за рахунок сучасних технічних засобів, у першу чергу мережних інформаційних технологій [1]. Але, як вже зазначено вище, скористатися інформацією у локальних мережах, які є основним джерелом навчальної інформації для студента, непросто. Настала пора розробити засоби, які будуть виконувати роль «провідника» для користувачів мережі у наданні ефективного доступу до релевантних і актуальних даних, необхідних їм у досягненні мети навчання. Особливо ця проблема є актуальною для студентів гуманітарних спеціальностей, тому що їх навчальний матеріал у більшості своїй являє набір неструктурованих інформаційних матеріалів значного обсягу, що розподілений по різним джерелам і мають слабкі зв'язки (або взагалі не мають) між окремими елементами цього набору. Отже, проблема полягає у складності пошуку і доступу до потрібної інформації користувачам навчальних ресурсів мереж.

Аналіз літератури. З кожним днем інтенсивність інформаційних потоків у комп'ютерних мережах збільшується, що викликає чимало нових проблем. Перша проблема – бажання користувача отримувати із мережі саме ту послугу або інформацію, яка йому потрібна і не отримувати велику кількість непотрібних посилань. Друга проблема – сумісність різних додатків. Велика кількість існуючих додатків не в змозі "зрозуміти" один одного, і, тим більше, «домовитись», щоб надавати користувачу певну послугу [2 – 4]. На жаль, сучасні системи, що існують у Web, не мають засобів для рішення вказаних проблем і ця ситуація погіршується за рахунок використання значної кількості різних форматів уявлення даних, неповнотою, невизначеністю та суперечністю інформації із різних джерел [5 – 7]. У мережах також відсутні засоби накопичення, систематизації і інтеграції знань. Для вирішення названих проблем W3C Consortium впроваджує ідеї Семантичного Веба (Semantic Web) [8, 9]. Також велика кількість робіт присвячена розробці технологій розподілених програмних агентів [10, 11] та опису пов'язаних даних у мережах за допомогою онтологічних принципів [12].

Ціль статті: розглядаючи абстрактно локальну мережу як розподілену мережу знань, для груп користувачів (відповідних кластерів), що визначаються на підставі їх навчальних задач, необхідно сформувати моделі отримання знань і рекомендацій управління їх поведінкою у мережі за принципом доцільної інформації кожному користувачу з врахуванням його налаштувань.

Опис сценаріїв роботи користувача. Сценарії роботи користувача у мережі формально можна описати наступним чином. Є множина N провайдерів Web-сервісів Φ : $\Phi = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, набір Θ множин Web-сервісів, які надаються провайдерами Θ : $\Theta = \{W_1, W_2, \dots, W_p\}$, та набір Z із множини M користувачів Z : $Z = \{U_1, U_2, \dots, U_M\}$. Кожен користувач може використати Q різних пристроїв (каналів доступу), що належать набору Ω : $\Omega = \{D_1, D_2, \dots, D_Q\}$ для доступу до одного чи більшого числа Web-сервісів. Користувач U_i під час сесії m у системі може бути уявлений кортежем:

$$t_{\langle m, i, W, j \rangle} = \langle m, U_i, \{W_1, W_2, \dots, W_k\}, D_j \rangle. \quad (1)$$

Значення $t_{\langle m, i, W, j \rangle}$ потрібно розуміти наступним чином: впродовж сесії номер m , користувач U_i має доступ до послуг через пристрої D_j , отримуючи Web-сервіси відповідно до набору $W = \{W_1, W_2, \dots, W_k\}$. Цей формалізм (1) пропонується використати для двох фундаментальних цілей:

- для опису, представлення і контролю поведінки користувача у розподіленій мережі знань;
- для отримання даних про зміну профіля користувача шляхом дослідження аспектів його активності у мережі і пояснення його поведінки.

До того ж наведена модель роботи користувача (1) у розподіленій мережі знань пов'язана з відповідним кластером UC_i (і таким чином з кожним користувачем, що входить до кластеру UC_i) та може бути використана для контролю користувачів з персоналізованими цілями [13].

Багатовимірна модель мережі знань. Сценарій поведінки користувача у мережі, що описаний у (1), являє собою багатовимірну структуру, в якій кожний вимір є змінною користувача, або атрибутом. Елементи кожного виміру являють собою значення, що можуть бути використаними у задачі персоналізації. При цьому маємо на увазі, що персоналізація користувача передбачає персоналізацію даних і персоналізацію сервісів для нього.

Виходячи з наведеного, можна записати формальне визначення багатовимірної моделі мережі знань. Припустимо, що $G = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_R\}$ є набір R змінних користувача, що характеризують його поведінку у мережі і можуть бути визначеними (наприклад, ρ_T може бути визначено шляхом доступу до останнього переглянутого матеріалу). Ці змінні визначають виміри запропонованої моделі. Для кожної змінної ρ_T $E(\rho_T)$ буде набором доступних значень ρ_T . Наприклад, у випадку шляху доступу це може бути:

$$E(\rho_T) = \{ \text{ftp://web.nlau.net.ua/Кримінальне право/Підручник}, \\ \text{ftp://web.nlau.net.ua/Цивільне право/Програма}, \\ \text{http://jur-academy.kharkov.ua,} \}.$$

Позначимо набір всіх значень із області існуючих $V = \{E(\rho_1), E(\rho_2), \dots, E(\rho_R)\}$. Припустимо, що $l(\rho_T)$ буде рівень ієрархії, визначений для змінної ρ_T і хай $\Gamma(\rho_T, h)$ буде функція, яка на основі $l(\rho_T)$ і заданої цілої повертає рівень h для $l(\rho_T)$, якщо він існує.

Позначимо набір всіх ієрархій $L = \{l(\rho_1), l(\rho_2), \dots, l(\rho_R)\}$. Таким чином, багатовимірна модель мережі знань m_{KN} буде визначена:

$$m_{KN} = \langle G, V, L, \Gamma \rangle. \quad (2)$$

Відповідно до парадигми "необхідні знання" "зацікавленому користувачу" у "його форматі", кожен із багатовимірних входів моделі m_{KN} являє собою персоналізаційний об'єкт, тобто ресурс, який може бути визначеним і призначений для використання під час доступу до персоналізаційних знань.

У практичній реалізації моделі (2) мережі знань можуть бути використаними: 1) XML-файл, що моделює задачу персоналізації даних; 2) набір файлів τ_W , що забезпечує опис використовуваних Web-сервісів (τ_W підтримує задачу персоналізації сервісів); 3) XSL-файл, в якому зберігаються

правила форматування до персоналізаційних даних, що записані у XML-файлі і оброблюються сервісами, що зберігаються у τ_W .

Ця модель далі спеціалізується для кожного користувача U_i , тобто уточнюється $m_{KN}(U_i)$. У процедурі обчислень цих параметрів вони вважаються недоступними для користувача, і лише програмне забезпечення проміжного рівня має до них динамічний доступ. Перелік параметрів може включати в себе: вказівку на кластер, до якого відноситься користувач; рівень його обізнаності у інформаційних технологіях; використовуваний комп'ютер, точніше, його технічні характеристики; спосіб під'єднання до мережі; швидкість обміну інформацією; тип операційної системи на комп'ютері; встановлений браузер; останні відвідані інформаційні ресурси та використані сервіси. Під час з'єднання з мережею користувачу буде завантажено його модель персональних налаштувань $m_{KN}(U_i)$ у вигляді файлів XML, XSL, τ_W і він опиняється у своєму, звичному, операційному оточенні, що відповідає його навчальним цілям.

У процесі роботи у мережі профіль користувача має змінюватись. Впродовж поточної робочої сесії моніторингові компоненти моделі фіксують еволюцію поведінки у роботі користувача з метою сформувати на наступну робочу сесію вже скорегований профіль користувача. При цьому використовується багатокрокова процедура, яка враховує попередній стан, зафіксовані зміни у поведінці і консолідує ці дані, а потім, у наступних сесіях, уточнює сформований профіль.

Персоналізація даних користувача є більш складною задачею, чим персоналізація сервісів, тому що кількість враховуваних параметрів є значно більшою, але і у цьому випадку можна скористатися описаним підходом. Полегшити і формалізувати цю задачу можна при використанні онтологічних принципів опису знань у мережі.

Висновки. Ефективність роботи користувачів з навчальними інформаційними ресурсами у мережі може бути підвищеною за рахунок персоналізації потрібних йому даних і сервісів. При поєднанні сценаріїв роботи користувачів (1) у багатовимірну модель (2) буде отримана модель мережі знань, що описує корисний інформаційний простір у комп'ютерній мережі будь-якого масштабу. За рахунок можливостей проміжного програмного забезпечення виконується реалізація цієї моделі. Ефективне функціонування моделі можливе за умови безперервного моніторингу поведінки користувача, аналізу його інформаційних потреб та вподобань і віднесення до певного кластеру. У навчальних мережах можна виконати випереджаюче віднесення користувача до кластеру, що визначається його спеціальністю та навчальною програмою. Подальша реалізація запропонованої моделі і накопичення досвіду її використання дасть змогу побудувати сховище даних корисної інформації будь-якої природи (структурованої,

неструктурованої, потокових даних та ін.) і адаптувати цю модель на інформаційне середовище навчального закладу.

Список літератури: 1. *Иванов С.Н., Карасюк В.В., Тацый В.Я.* Информационные технологии обучения в мультисервисной локальной сети // Образование и виртуальность. Сборник научных трудов. Подготовлен по материалам 11-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования. – Харьков – Ялта: УАДО, 2007. – С. 77 – 83. 2. *Батищев С.В., Искварина Т.В., Скобелев П.О.* Методы и средства построения онтологий для интеллектуализации сети Интернет // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2002. – Т.4. – № 1. – С. 91 – 103. 3. *Йордон Э.* Управление сложными Интернет-проектами. – М.: Лори, 2003. – 352 с. 4. *Фишкин А.В.* Поиск в Интернете. – М.: Альфа-Пресс, 2005. – 108 с. 5. *Кранц Л.* Сети хранения данных. – М.: Лори, 2004. – 576 с. 6. *Ланде Д.* Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 272 с. 7. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с. 8. *Semantic Web: роли XML и RDF / Декер С., Мельник С., Хермелен Ф. и др.)* // Открытые системы. – 2001. – № 9. – С. 51 – 60. 9. *Колесов А.* Извлекаая знания из хаоса информации // PC Week online. Russian edition. – 02.12.2003. – Режим доступа: [http://www.pcweek.ru/]. 10. *Дрейган Ричард В.* Будущее программных агентов // PC Magazine. – СК Пресс. – 1997. – № 5. – С. 190. 11. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1408 с. 12. *Муромцев Д.И.* Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé. – СПб: СПб ГУ ИТМО. – 2007. – 62 с. 13. *Cuzzocrea A.* Combining multidimensional user models and knowledge representation and management techniques for making web services knowledge-aware // Web Intelligence and Agent Systems: An international journal. – 2006. – №. 4. – P. 289 – 312.

УДК 681.3

Моделирование адаптивного подхода к предоставлению информационных услуг в компьютерной сети / Карасюк В.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 84 – 88.

Рассмотрены проблемы адаптации сетевых информационных услуг к запросам пользователей сети учебного заведения. Предложена модель персонализации необходимой пользователю информации. Модель основывается на мониторинге поведения пользователя в распределенной сети знаний. Предложено формирование кластеров пользователей в соответствии с их персонализированными информационными потребностями. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: сеть учебного заведения, информационные услуги, персонализированные информационные потребности, кластер.

UDC 681.3

Modelling of adaptive approach to the grant of informative services in a computer network. / Karasiuk V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 84 – 88.

The problems of adaptation of network informative services to the queries of users in the local network of educational establishment are considered in the article. Model of personalization of information for the user offered. A model is based on monitoring components, which control the user behavior in the distributed network of knowledge's. Forming of clusters of users is offered in accordance with their personalization informative necessities. Refs: 13 titles.

Key words: local network of educational establishment; personalization informative service, cluster.

Надійшла до редакції 05.04.2009

Н.И. КОРСУНОВ, д-р техн. наук, проф. БелГТУ им. В.Г. Шухова
(Белгород, Россия),

М.В. МИХЕЛЕВА, БелГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕЛЬНИЦ ПОМОЛА

В статье рассматривается возможность применения вейвлет-преобразований и нейросетевых технологии для частотной обработки спектров звуковой энергии шаровой мельницы. Предложено эффективное применение нейросетевых технологии для частотной обработки на основе базовых функций вейвлета Хаара.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, нейросетевые технологии, частотная обработка.

Постановка проблемы. Процесс измельчения сырья, широко используемый в различных областях промышленности, характеризуется высокой ресурсоемкостью, и заставляет производителей и исследователей искать новые энергосберегающие технологии измельчения, заниматься разработкой более эффективного управления оборудованием.

Шаровые мельницы обеспечивают получение больших объемов тонкодисперсных материалов при достаточно высоких показателях технической надежности оборудования. В настоящее время никакое другое помольное оборудование не может конкурировать с шаровыми мельницами в деле переработки больших объемов материалов, и производственная практика это лишний раз подтверждает.

Процесс измельчения материала в шаровой мельнице сопровождается излучением звуковой энергии, возникающей из-за соударений шаров и материала друг с другом и о футеровку. Считается, что сила звука, излучаемого мельницей, зависит от величины загрузки мельницы рудой, а по изменению амплитуды и частоты издаваемых мельницей звуков можно судить об эффективности измельчения материала.

Для качественного динамического контроля измельчения исходного сырья необходимо выделить динамических параметров шаровой мельницы. Такими параметрами являются акустические и энергетические сигналы мельницы, по которым можно судить об эффективности и скорости измельчения материала.

Анализ литературы. Для установления взаимосвязи между динамическими явлениями, происходящими в шаровой мельнице, и эффективностью измельчения применяют различные методы контроля мельницы. В этом направлении большие возможности открывают методы виброакустического контроля, базирующиеся на использовании информации о звуковой энергии.

Спектры звуковых давлений шаровой мельницы дают полное представление об уровне и частоте шума, издаваемого мельницей. Измерение амплитуды и частоты звука возможно при помощи конденсаторного микрофона. Сигнал микрофона через анализатор поступает на самописец и регистрируется с помощью логарифмической шкалы [1].

Требованиями, предъявляемыми к оперативному контролю барабанных мельниц, являются: получение минимального числа наиболее информативных признаков, на основе которых строится решающее правило, обеспечивающее требуемую глубину контроля; высокая вычислительная эффективность метода контроля; простота аппаратной или программной реализации.

В настоящее время при решении задач звукометрического контроля с помощью существующих методов возникают определенные трудности. Это касается определения режимов работы мельницы и локальных особенностей звуковой энергии при измельчении сырья.

В основе многих разработанных методов контроля лежит вычисление коэффициентов ряда Фурье. Характер изменения коэффициентов позволяет получить информацию о свойствах сигнала, например, выявить скрытые периоды. Для вычисления коэффициентов существует алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), называемый алгоритмом прореживания по частоте/времени или алгоритмом по основанию 2, имеющий сложность $O(N \log(N))$.

Важнейшим свойством коэффициентов Фурье является то, что они отражают поведение сигнала в целом. Спектр Фурье наглядно демонстрирует лишь глобальные свойства сигналов, но из него трудно извлечь информацию о локальных особенностях – резких скачках, узких пиках, и т.п. Шум мельницы является сложным сигналом, представляющим собой совокупность сигналов, возбуждаемых различными источниками колебаний.

Существующий на практике метод спектрального Фурье-преобразования не всегда успешно справляется с обработкой этих сигналов. Основным недостатком этого метода является его применимость лишь для анализа стационарных сигналов. Проблема заключается в том, что спектральный анализ не всегда позволяет определять динамику изменения реального сигнала диагностируемого оборудования. Переход к оконному преобразованию Фурье приводит к сильной зависимости частотных характеристик сигнала от параметров окна.

Преодолеть эти трудности можно с помощью вейвлет-преобразования [2, 3], которое позволяет определить характер изменения частоты сигнала во времени.

Вейвлет-анализ есть логическое продолжение оконного преобразования Фурье. В случае Фурье-анализа в качестве базиса используются гармонические функции, с бесконечной областью определения по времени, а для вейвлет-анализа используются функции, ограниченные на ограниченных интервалах времени.

Вейвлеты обладают существенными преимуществами по сравнению с преобразованием Фурье, потому что вейвлет-преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника. С их помощью можно легко анализировать локальные свойства сигнала и прерывистые сигналы, либо сигналы с острыми всплесками [4].

Практическое использование вейвлет-преобразований связано, в основном, с дискретными вейвлетами как в силу повсеместного использования цифровых методов обработки данных, так и в силу ряда различий дискретного и непрерывного вейвлет-преобразований [5].

Цель статьи – предложить способ выделения параметров для контроля мельницы помола, который бы позволял оперативно контролировать работу мельницы.

Для достижения цели нами предлагается использовать вейвлет-преобразования для виброакустического контроля работы шаровой мельницы.

Вейвлет анализ можно представить как последовательное представление исследуемой функции через иерархически вложенные непересекающиеся подпространства V_m , где $m \in Z$, Z – множество целых чисел [6].

Для анализа дискретной временной последовательности хорошо подходит вейвлет Хаара [6]. На основе базовой функций вейвлета Хаара записываем масштабированную функцию звукового сигнала шаровой мельницы:

$$\varphi_{m,k}(x) = 2^{m/2} \varphi(2^m x - k), \quad (1)$$

где $\varphi_{m,k}(x)$ – базисная функция; $m \in Z$; k – шаг сдвига.

Эта функция образует нормированные взаимно ортогональные базисы пространства вейвлетных коэффициентов, на которые может быть разложен анализируемый сигнал. При сдвиговой ортогональности прямоугольных базисных функций прямое преобразование (проекция сигнала на базис (1)) для непрерывных сигналов выполняется по формуле:

$$C_{m,k} = \int_{k\Delta x}^{(k+1)\Delta x} s(x) \varphi(2^m x - k) dx,$$

где $s(x)$ – сигнал; $\varphi(2^m x - k)$ – базисная функция, $m \in Z$, k – шаг сдвига.

Восстановление сигнала выполняется по формуле реконструкции:

$$s_r(m, x) = \sum_{k=0}^{N-1} C_{m,k} \varphi_{m,k}(x),$$

где N – количество отсчетов сигнала; m – количество масштабных строк.

Общая формула реконструкции сигнала [5]:

$$s_r(x) = C_0 \varphi_0(x) + D_0 \varphi_0(x) + \sum_{k=0}^1 D_{1,k} \varphi_{1,k}(x) + \dots + \sum_{k=0}^{N-1} D_{m,k} \varphi_{m,k}(x), \quad (2)$$

где m – уровень декомпозиции сигнала; $D_0, D_{i,k}$ – детализирующие коэффициенты; $i = \overline{1, m}$; C_0 – масштабный коэффициент.

Представление звукового сигнала в виде (2) позволяет определять характер изменения частоты сигнала во времени. Поскольку шумы мельницы относятся к тональным сигналам, то для контроля работы мельницы помола целесообразно воспользоваться вейвлет-преобразованиями, которые достаточно точно локализуют точки максимумов энергии, которые характеризуют изменение режима работы мельницы. Если шумы различаются по тональности, то их достаточно разделить на частотном диапазоне, что позволит определять степень загрузки мельницы. Следствием является возможность контролировать работу мельницы помола не по абсолютным значениям параметров сигнала, а по попаданию точек максимумов энергии в тот или иной частотный диапазон.

В матричном виде один уровень вейвлет-преобразования представляется в виде:

$$y = xW, \quad (3)$$

где x – вектор сигнала; W – матрица-фильтр; y – результирующий вектор.

Получение результирующего вектора y предполагает $n \times m$ однотипных операций по умножению элементов матрицы W и вектора x , где m – число строк матрицы W ; n – длина вектора x .

Представление вейвлет-преобразования в виде (3) позволит эффективно применить нейросетевые технологии для частотной обработки на основе базовых функций вейвлета:

$$Y = f(W \cdot X),$$

где $W = \|w_{ij}\|$ – матрица весовых коэффициентов нейронной сети, длина вектора-столбца X равна длине вектора-столбца Y ; f – функция активации, базовая функция вейвлета Хаара. Весовые коэффициенты связей нейронной сети w_{ij} определяются на этапе обучения. Для применения многоуровневого вейвлет-преобразования сигналов можно использовать $(k+1)$ -слойную нейронную сеть, каждый $k+1$ слой которой будет реализовывать k -й уровень вейвлет преобразования. Был проведен вычислительный эксперимент с помощью вейвлет-преобразований и быстрого преобразования Фурье, который показал, что преобразование Фурье несет информацию об изолированной особенности сигнала, а с помощью вейвлетов различаются моменты возникновения изолированных особенностей, что позволяет точно определить, в каком режиме работает мельница. Кроме этого, может быть построен алгоритм обучения нейронной сети, выходами которой будут являться моменты времени появления временных изолированных особенностей.

Полученные результаты проверялись с помощью вычислительного эксперимента в соответствии с алгоритмом:

1. Измерение шума мельницы с помощью первичных преобразователей.

2. Исследование сигнала на предмет выявления его свойств.
3. Предварительная обработка сигнала с целью повышения его информативности.
4. Анализ характеристик сигнала с целью формирования системы контролируемых признаков на основе вейвлет-преобразования.
5. Сравнение контролируемых признаков с эталонными и принятие решения, т.е. определение режима, в котором работает мельница помола.

Выводы. Таким образом, исследована возможность использования вейвлет преобразований для контроля режимов работы мельницы по звуковому сигналу мельницы. Такое преобразование обеспечивает точную реконструкцию сигнала, а значит и более точное определение, режима работы мельницы. Также рассмотрена возможность реализации контроля на основе нейросетевых технологий.

Список литературы: 1. *Марюта А.Н., Мецераков Л.И.* Спектральный анализ сигнала активной мощности приводного двигателя мельниц мокрого самоизмельчения руд для задач контроля технологических переменных // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 1981. – № 1. – С. 91-96. 2. *Richard J. Higgins.* Digital Signal Processing in VLSI, Prentice-Hall, 1990. – С.101-103. 3. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук, 1996. – С. 1153-1157. 4. *Nason G.P., Silberman B.W.* The Discrete Wavelet Transform in S // Journal of Computational and Graphical Statistics, 1994. – № 4. – С. 51-52. 5. *Воробьев В.И., Грибунин В.Г.* Теория и практика вейвлет-преобразования. – ВУС, 1999. – С. 74-83. 6. *Червяков Н.И., Ремизов С.Л.* Нейросетевая реализация модулярных преобразований в вейвлет-обработке речевых сигналов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2005. – № 5. – С. 68-72. 7. *Дьяконова В.П.* Вейвлеты. От теории к практике. – М.: Солон-Р, 2002. – 480 с. 8. *Чуи К.* Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 482 с.

УДК 621.391

Застосування вейвлет-перетворювань для виділення параметрів контролю млинів помелу / Корсунів М.І., Михелева М.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 89 – 93.

У статті розглядається можливість вживання вейвлет-перетворювань і нейромережових технологій для частотної обробки спектрів звукової енергії кульового млина. Запропоновано ефективне вживання нейромережових технологій для частотної обробки на основі базових функцій вейвлета Хаара. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: вейвлет-перетворювання, нейромережові технології, частотна обробка.

UDC 621.391

Application of wavelet-transformations for allocation of control parametres by grinding mills / Korsunov N.I., Miheleva of M.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 89 – 93.

In article possibility of application wavelet-transformations and neuronets technologies for frequency processing of a spherical mill spectra sound pressure is considered. Effective application of neuronets is offered to technology for frequency processing on the basis of base functions wavelet Haara. Refs: 8 titles.

Keywords: wavelet-transformations, neuronet technologies, frequency processing.

Поступила в редакцию 10.04.2009

Т.Б. НИКИТИНА, канд. техн. наук, докторант НТУ "ХПИ"

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ АНИЗОТРОПИЙНОГО РЕГУЛЯТОРА СТАБИЛИЗАТОРА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Разработан метод многокритериального синтеза стохастического робастного управления стабилизатором в вертикальной плоскости с учетом упругих элементов как дискретно-континуального объекта управления. Приведен пример динамических характеристик синтезированной системы.

Ключевые слова: многокритериальный синтез, анизотропийный регулятор, стабилизатор.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.

Колесные и гусеничные машины отечественного производства обладают высокими тактико-техническими характеристиками и успешно конкурируют с военной техникой иностранного производства, что, в частности, подтверждается контрактами с Пакистаном, Иорданией и Сирией на поставку отечественной военной техники. При модернизации колесных и гусеничных машин для повышения тактико-технических характеристик предполагается использование в системах наведения и стабилизации бортовой ЭВМ, с помощью которой аппаратно и программно можно реализовать более сложные законы управления, чем традиционные пропорциональные регуляторы с обратными связями по углам и угловым скоростям объекта управления [1 – 3].

К системам наведения и стабилизации предъявляются достаточно жесткие требования по показателям качества работы в различных режимах. Приведем часть таких требований, предъявляемых к системе наведения и стабилизации. Время отработки заданного угла рассогласования – $t_{\text{рег}}$. Время разгона до номинальной скорости и время торможения до полной остановки – $t_{\text{раз}}$. Ошибка отработки гармонического сигнала заданной амплитуды и частоты $\varepsilon_{\text{гар}}$. Ошибка стабилизации при движении с заданной скоростью по нормализованной трассе со случайным изменением профиля $\varepsilon_{\text{сл}}$. Максимальная скорость наведения ω_{max} . Минимальная скорость наведения ω_{min} . Неплавность наведения при минимальной скорости $\Delta\omega_{\text{min}}$. Естественно, что при этом должны быть учтены также ограничения на переменные состояния системы [1 – 3].

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время интенсивно развивается теория стохастического робастного управления [1 – 3]. Системы стохастического робастного управления обладают рядом преимуществ. Во-первых, они робастно устойчивы, т.е. сохраняют

устойчивость при изменении параметров объекта управления в определенных пределах. Во-вторых, они имеют существенно меньшую чувствительность к изменению параметров объекта управления по сравнению с оптимальными системами, несмотря на то, что динамические характеристики стохастических робастных систем могут незначительно отличаться от соответствующих характеристик оптимальных систем. Трудность синтеза стохастической робастной системы заключается не в решении тех или иных уравнений, а, прежде всего, в формулировании критерия качества стохастического робастного управления таким образом, чтобы синтезированная система удовлетворяла техническим требованиям, предъявляемым к системе [4].

Целью работы является разработка методики выбора критерия качества в виде решения задачи многокритериальной оптимизации при синтезе стохастического робастного управления для выполнения технических требований, предъявляемых к системе и учете ограничений на переменные состояния и управления. Задачей статьи является синтез и исследование динамических характеристик стохастической робастной системы управления стабилизатором танкового вооружения в вертикальной плоскости с учетом упругости ствола с выбранными критериями качества.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Применение регуляторов, оптимальных по квадратичным критериям качества показало их высокую чувствительность к структурным и параметрическим возмущениям объекта управления и внешних воздействий. Для уменьшения чувствительности синтезированной системы к структурным и параметрическим возмущениям объекта управления и внешних воздействий вместо H^2 нормы используют H^∞ норму в следующем виде

$$\|w_{zx}\|_\infty \rightarrow \min.$$

Робастные регуляторы, синтезированные по критерию H^∞ , обладают малой чувствительностью к структурным и параметрическим возмущениям, однако их динамические характеристики часто оказываются неудовлетворительными в связи с излишней "осторожностью" робастных регуляторов, рассчитанных на работу системы в самых неблагоприятных условиях.

Применение регуляторов, синтезированных по смешанному критерию, включающему H^2 и H^∞ нормы, позволяет получать системы, обладающие достаточно высокими динамическими характеристиками при низкой чувствительности к изменению параметров и структуры объектов управления. Однако вопрос выбора параметра толерантности γ , характеризующего соотношения между H^2 и H^∞ нормами решается на интуитивном уровне. Чем ближе система к оптимальной по H^2 норме, тем она более чувствительна к изменению параметров и структуре моделей объекта управления и внешних

воздействий. Чем ближе синтезированная система к оптимальной по H^∞ норме, тем меньшую точность она имеет, так как проявляет излишнюю "осторожность" и рассчитана на работу в самых неблагоприятных условиях.

Одним из корректных подходов к обоснованному выбору смешанного критерия, включающего H^2 и H^∞ нормы, является построение анизотропийных регуляторов. При стохастическом подходе к синтезу H^∞ управления в качестве критерия оптимальности системы используется стохастическая норма системы

$$\|w_{ZX}\|_a \rightarrow \min.$$

При этом фактически используется комбинация стохастической нормы системы и средней анизотропии случайного сигнала, что и приводит к одному из вариантов стохастической нормы, названной анизотропийной нормой.

Рассмотрим решение задачи анализа анизотропийных регуляторов для многомерной дискретной системы с m входами и p выходами и матричной передаточной функцией w , на вход которой поступает дискретный многомерный гауссовский белый шум с нулевым математическим ожиданием и единичной ковариационной матрицей. Тогда средняя анизотропия дискретной последовательности на выходе такой системы определяется следующим выражением

$$\bar{A}(w_\phi) \equiv -\frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln \det \left\{ \frac{m}{\|w_\phi\|_2^2} \hat{w}_\phi(\omega) [\hat{w}_\phi(\omega)]^* \right\} d\omega.$$

Величина средней анизотропии равна нулю, если дискретная последовательность представляет собой гауссовский белый шум с единичной ковариационной матрицей.

Представим исходную дискретную систему в форме пространства состояний

$$w_\phi = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix},$$

т.е. передаточная функция системы w_ϕ задана в виде A , B , C , D реализации. Тогда средняя анизотропия дискретной последовательности на выходе системы может быть определена следующим образом

$$\bar{A}(w_\phi) \equiv -\frac{1}{2\pi} \ln \det \left[\frac{mT}{\text{tr}\{CPC^T + DD^T\}} \right],$$

где матрица T связана с решением R уравнения Риккати:

$$R = ARA^T + BB^T - LTL^T, \\ T \equiv CRC^T + DD^T,$$

$$L \equiv (ARC^T + BD^T)T^{-1},$$

а грамиан управляемости P системы является решением уравнения Ляпунова

$$P = APA^T + BB^T.$$

Для решения уравнения Риккати используется алгоритм для нахождения обобщенных собственных векторов Шура, а для решения уравнения Ляпунова используется алгоритм Шура для унитарной триангуляции матриц.

Для дискретной динамической системы с передаточной функцией w , на вход которой поступает дискретная последовательность, сформированная из гауссовской последовательности с мощностью дискретного фильтра с передаточной функцией w_ϕ вводится анизотропийная норма системы в следующем виде

$$\|w\|_a \equiv \sup \left\{ \frac{\|ww_\phi\|_2}{\|w\|_2}; w_\phi \in w_a \right\}.$$

Анизотропийная норма системы характеризует не анизотропию дискретных последовательностей на входе и выходе системы, а чувствительность системы в среднем к случайным входным последовательностям со средним уровнем анизотропии, равным a . Причем, при нулевой анизотропии ($a = 0$) входной дискретной последовательности анизотропийная норма системы равна H^2 норме системы, а при бесконечной анизотропии ($a \rightarrow \infty$) входной дискретной последовательности анизотропийная норма системы равна H^∞ норме системы, так что имеет место следующее соотношение

$$\frac{1}{\sqrt{m}}\|w\|_2 = \|w\|_0 \leq \lim_{a \rightarrow +\infty} \|w\|_a = \|w\|_\infty.$$

Таким образом, если величина анизотропии входной дискретной системы находятся в диапазоне $0 < a < \infty$, то значение анизотропийной нормы системы $\|w\|_a$ ограничено значениями H^2 и H^∞ норм системы

$$\frac{1}{\sqrt{m}}\|w\|_2 \leq \|w\|_a \leq \|w\|_\infty.$$

Рассмотрим алгоритм вычисления анизотропийной нормы дискретной системы, заданной в пространстве состояний матрицами A , B , C , D . Запишем для этой дискретной системы уравнение Риккати относительно матрицы R в следующем виде

$$R = A^T R A + q C^T C - L^T \Sigma^{-1} L,$$

$$\Sigma \equiv (I_m - q D^T D - B^T R B)^{-1},$$

$$L \equiv \Sigma (B^T R A + q D^T C).$$

Тогда a – анизотропийная норма этой системы может быть определена в виде

$$\|w\|_a = \left\{ \frac{1}{q} \left[1 - \frac{m}{\text{tr}\{LPL^T + \Sigma\}} \right] \right\}^{1/2},$$

где грамиан управляемости P формирующего фильтра

$$w_\Phi = \begin{bmatrix} A + BL & b \Sigma^{1/2} \\ L & \Sigma^{1/2} \end{bmatrix}$$

определяется уравнением Ляпунова

$$P = [A + BL]P[A + BL]^T + B \Sigma B^T.$$

При этом величина анизотропии дискретной случайной последовательности на входе системы равна

$$-\frac{1}{2} \ln \det \left[\frac{m \Sigma}{\text{tr}\{LPL^T + \Sigma\}} \right] = a.$$

Метод решения. Рассмотрим синтез робастного регулятора, минимизирующего анизотропийную норму в форме пространства состояний. Этот регулятор формирует управляющее воздействие на вход системы по ее измеряемому выходу и представляет собой динамический блок типа компенсатора, объединяющий робастный наблюдатель и робастный регулятор.

Обозначим A, B, C, D реализацию исходной системы, замкнутой этим динамическим блоком в следующем виде

$$\mathfrak{Z}(W, W_{ky}) \sim \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & D_{11} \end{bmatrix} \equiv \left[\begin{array}{cc|c} A & B_2 \hat{C} & B_1 \\ \hat{B} C_2 & \hat{A} & \hat{B} D_{21} \\ \hline C_1 & D_{12} \hat{C} & D_{11} \end{array} \right].$$

Рассмотрим уравнение Риккати

$$R = \bar{A}^T R \bar{A} + q \bar{C}^T \bar{C} + L^T \Sigma^{-1} L,$$

$$\Sigma \equiv [I_{m_1} - q D_{11}^T D_{11} - \bar{B}^T R \bar{B}]^{-1},$$

$$L \equiv [L_1 \ L_2] \equiv \Sigma [\bar{B}^T R \bar{A} + q D_{11}^T \bar{C}].$$

В этом уравнении скалярный параметр q выбирается из полуоткрытого интервала $[0; \|\mathfrak{Z}(w, w_{ky})\|_\infty^2]$. Если это уравнение Риккати имеет решение, то анизотропия сигнала равна

$$-\frac{1}{2} \ln \det \left[\frac{m_1 \Sigma}{\text{tr}\{LPL^T + \Sigma\}} \right] = a,$$

а эквивалентный формирующий фильтр

$$W_\Phi \sim \begin{bmatrix} \bar{A} + \bar{B}L & \bar{B} \Sigma^{1/2} \\ L & \Sigma^{1/2} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc|c} A + B_1 L_1 & B_1 L_2 + B_2 \hat{C} & B_1 \Sigma^{1/2} \\ \hline \hat{B}[C_2 + D_{21} L_1] & \hat{A} + \hat{B} D_{21} L_2 & \hat{B} D_{21} \Sigma^{1/2} \\ L_1 & L_2 & \Sigma^{1/2} \end{array} \right]$$

имеет грамиан управляемости, определяемый уравнением Ляпунова

$$P = [\bar{A} + \bar{B}L]P[\bar{A} + \bar{B}L]^T + \bar{B} \Sigma \bar{B}^T.$$

При этом a – анизотропийная норма системы, замкнутой таким регулятором, равна

$$\|\Im(W, W_{ky})\|_a = \left\{ \frac{1}{q} \left[1 - \frac{m_1}{tr\{LPL^T + S\}} \right] \right\}^{1/2}.$$

Рассмотрим уравнение Риккати

$$S = [A + B_1 L_1]S[A + B_1 L_1]^T + B_1 \Sigma B_1^T - \Lambda \Theta \Lambda^T,$$

$$\Theta \equiv [C_2 + D_{21} L_1]S[C_2 + D_{21} L_1]^T + D_{21} \Sigma D_{21}^T,$$

$$\Lambda \equiv [[A + B_1 L_1]S[C_2 + D_{21} L_1]^T + B_1 \Sigma D_{21}^T] \Theta^{-1}.$$

Рассмотрим также уравнение Риккати

$$T = \underline{A}^T T \underline{A}^T + \underline{C}^T \underline{C} - N^T \Pi N,$$

$$\Pi \equiv \underline{B}^T T \underline{B} + D_{12}^T D_{12},$$

$$N \equiv [N_1 \quad N_2] \equiv -\Pi^{-1}(\underline{B}^T T \underline{A} + D_{12}^T \underline{C}),$$

в котором матрицы A, B, C, D реализации имеют следующий вид

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \equiv \left[\begin{array}{cc|c} A & B_1 M & B_2 \\ 0 & A + B_1 M + B_1 \hat{C} & 0 \\ \hline C_1 & D_{11} M & \underline{D} \end{array} \right].$$

Откуда может быть получена $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}, \hat{D}$ реализация регулятора, оптимизирующего анизотропийную норму.

$$\hat{A} = B_2 \hat{C} + [I_n - \Lambda] \begin{bmatrix} A & B_1 \\ C_2 & D_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_n \\ M \end{bmatrix},$$

$$\hat{B} = \Lambda, \quad \hat{C} = N_1 + N_2.$$

Таким образом, решение задачи стохастической робастной оптимизации сводится к вычислению трех алгебраических уравнений Риккати, уравнения Ляпунова и уравнения специального вида для вычисления уровня анизотропии входного сигнала.

Математическая модель дискретно-континуального объекта управления. Рассмотрим математическую модель объекта управления системы стабилизации танкового вооружения в вертикальной плоскости

следуя работе [1]. Представим танковую пушку в виде твердого тела – казенной части и упругого элемента – ствола, помимо вращения относительно оси цапф, оно совершает упругие колебания. Введем следующие компоненты вектора состояния: угол $\varphi(t)$ отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и его производную $\dot{\varphi}(t)$, значение функции $T_0(t)$ в представлении функции $y(x, t)$ характеризующей отклонение точек оси канала ствола от его недеформируемого состояния, а также производную этой функции $\dot{T}_0(t)$, момент стабилизации $M_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра и его производную $\dot{M}_{co}(t)$, момент возмущения $M_{bo}(t)$, обусловленный угловой скоростью перемещения корпуса танка в вертикальной плоскости и его производную $\dot{M}_{bo}(t)$, силу возмущения $f_0(t)$, связанную с ускорением корпуса танка относительно его вертикальной оси и его производную $\dot{f}_0(t)$. При этом вектор состояния примет следующий вид

$$\vec{X}_o(t) = \{\varphi(t), \dot{\varphi}(t), T_0(t), \dot{T}_0(t), M_{co}(t), \dot{M}_{co}(t), M_{bo}(t), \dot{M}_{bo}(t), f_0(t), \dot{f}_0(t)\}.$$

Тогда в уравнении состояния возмущенного движения непрерывного дискретно-континуального объекта стабилизации в вертикальной плоскости совместно с уравнениями формирующих фильтров и исполнительного электрогидравлического привода с гидроцилиндром

$$\dot{X}_o(t) = A_o X_o(t) + B_o u(t),$$

матрица состояния примет следующий вид

$$A_o = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & & & & & & & & \\ \hline & & \frac{-a_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi a_0 b_0}{\Delta} & \frac{c_0}{\Delta} & & \frac{c_0}{\Delta} & & \frac{a_0}{\Delta} & \\ \hline & & & 1 & & & & & & \\ \hline & & \frac{-I_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi I_0 b_0}{\Delta} & \frac{-a_0}{\Delta} & & \frac{-a_0}{\Delta} & & \frac{I_0}{\Delta} & \\ \hline & & & & & 1 & & & & \\ \hline & & & & \frac{-1}{T_y^2} & \frac{-2\xi_y}{T_y} & & & & \\ \hline & & & & & & & 1 & & \\ \hline & & & & & & \frac{-1}{T_b^2} & \frac{-2\xi_b}{T_b} & & \\ \hline & & & & & & & & 1 & \\ \hline & & & & & & & & \frac{-1}{T_f^2} & \frac{-2\xi_f}{T_f} \\ \hline \end{array}$$

Здесь введено обозначение $\Delta = I_0 c_0 + a_0^2$.

Результаты моделирования. Результаты синтеза робастного управления в значительной степени определяются вектором контролируемых параметров $\vec{z}(t)$. При этом роль весовых матриц играют B_1 и D_{12} . В частности, быстродействие системы в значительной мере определяется отношением значений элементов матрицы B_1 к значениям элементов матрицы D_{12} . Чем выше это отношение, тем меньший "вес" управления $u(t)$ в критерии качества, определяемого вектором контролируемых параметров $\vec{z}(t)$, а, следовательно, и тем больше быстродействие системы управления.

Естественно, что за повышение быстродействия приходится "платить" более энергичным управлением – чем больше быстродействие системы, тем требуется большее значение стабилизирующего момента для приведения системы в согласованное положение. С другой стороны, для реализации робастного управления, по полному вектору состояния строится робастный наблюдатель, с помощью которого восстанавливается весь вектор состояния системы $\vec{x}(t)$ по измеряемому вектору выхода системы $\vec{y}(t)$. Быстродействие наблюдателя в основном определяется отношением элементов матриц B_1 и C_2 к элементам матрицы D_{21} . Это отношение характеризует фактическое отношение сигнал/шум измеряемого вектора выхода системы $\vec{y}(t)$.

Первым этапом в решении задачи многокритериального синтеза является сведение исходной задачи к системе ограничений. Такой этап оправдан в связи с тем, что условия технического задания, как правило, формируются в форме ограничений. Затем после получения такого допустимого решения, удовлетворяющего всем ограничениям целесообразно попытаться улучшить частные критерии, переведя часть либо все ограничения в частные критерии [4]. Схема компромиссов позволяет формально перейти от векторного критерия качества к скалярному. Свертка частных критериев в скалярный, должна отражать степень важности частных критериев в общем скалярном критерии. По существу схема компромиссов не является теорией, а представляет индивидуальный набор предпочтений лица принимающего решение с точки зрения его профессиональной компетенции и, как правило, выполняется эвристически.

В качестве примера на рисунке показаны реализации компонент вектора состояния замкнутой системы: угла $\varphi(t)$ отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и его производной $\dot{\varphi}(t)$ и момента стабилизации $M_{co}(t)$ башни с помощью электропривода при случайном изменении возмущающего момента. Таким образом, применение робастных регуляторов позволило получить приемлемые показатели качества для стабилизатора как дискретно-континуального объекта управления с учетом упругих колебаний.

Выводы. Разработана методика многокритериального синтеза стохастического робастного управления приводом вертикального наведения с учетом упругих элементов. С помощью разработанной методики многокритериального синтеза робастных регуляторов удалось получить приемлемые показатели качества и удовлетворить техническим требованиям, предъявляемым к системе. Приведены динамические характеристики синтезированной системы наведения и стабилизации в вертикальной плоскости. Дальнейшее повышение точности стабилизации сдерживается энергетическими ограничениями исполнительного электродвигателя и информационными ограничениями измерителей.

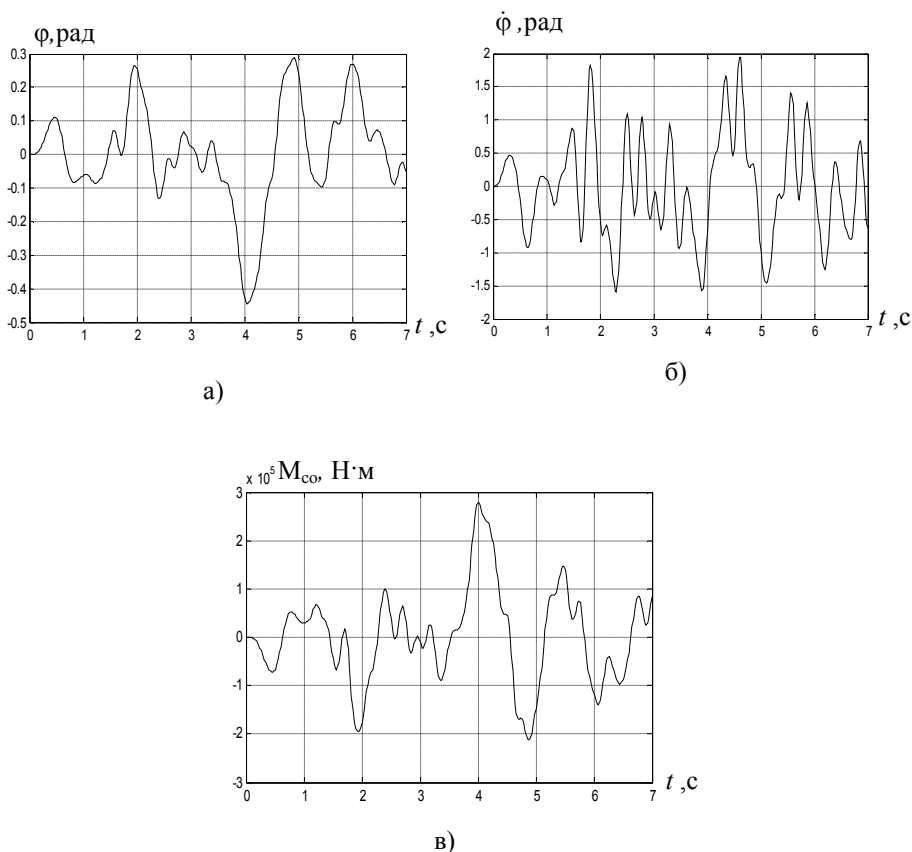


Рис. Изменение угла $\phi(t)$ отклонения а), производной угла $\dot{\phi}(t)$ отклонения б) и момента стабилизации $M_{\text{co}}(t)$ в) вертикального наведения при случайных внешних воздействиях

Список литературы: 1. *Никитина Т.Б.* Робастное управление системой наведения и стабилизации вооружения легкобронированной машиной // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – № 36. – С. 80 – 88. 2. *Никитина Т.Б.* Робастная стабилизация танкового вооружения. // Вестник НТУ "ХПИ". – 2007. – № 10. – С. 134 – 144. 3. *Никитина Т.Б.* Робастная стабилизация дискретно-континуального объекта // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. – К.: 2007. – С. 60 – 64. 4. *Никитина Т.Б.* Выбор критерия качества робастного управления как задача многокритериальной оптимизации // Вестник НТУ "ХПИ": – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – № 41. – С. 35 – 44. 5. *Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., Semyonov A.V.* On computing the anisotropic norm of linear discrete-time-invariant systems // Proceedings of the 13 th IFAC Word Congress, San-Francisco, California, USA, June 30 – July 5, 1996. – V. G, Paper IFAC-2d-01.6, 1996. – P. 55 – 67. 6. *Vladimirov I.G., Kurdjukov A.P., Semyonov A.V.* State-space solution to anisotropy-based stochastic H-infinity optimization problem // Proceedings of the 13th IFAC Word Congress, San-Francisco, California, USA, June 30 – July 5, 1996. – V. H, Paper IFAC-3d-01.6, 1996. – P. 115 – 118. 7. *Mariton M., Bertrand P.* A homotopy algorithm for solving coupled Riccati equations // Optimal Control Applications & Methods. – 1985. – V. 6. – P. 57 – 61.

УДК 621.77

Багатокритеріальний синтез анізотропійного регулятора стабілізатора у вертикальній площині / Никитина Т.Б. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 94 – 103.

Розроблено метод багатокритеріального синтезу стохастичного робастного керування стабілізатором у вертикальній площині з урахуванням пружних елементів як дискретно-континуальним об'єктом. Наведено приклад динамічних характеристик синтезованої системи. Іл.: 1. Бібліогр.: 7 назв.

Ключові слова: багатокритеріальний синтез, анізотропійний регулятор, стабілізатор.

UDK 621.77

A multicriterion synthesis of anisotropic regulator of stabilizer in vertical plane / Nikitina T.B. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 94 – 103.

The method of multicriterion control anisotropic synthesis by the vertical square with elastic elements as discrete-continual plant is developed. The example of dynamic characteristics for such system is given. Figs: 1. Refs: 7 titles.

Key words: multicriterion synthesis, anisotropic control, stabilization.

Поступила в редакцію 14.02.2009

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
А.Э. ЗАВОЛОДЬКО, ст. преп. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ОБНАРУЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАНЫМ ЗАПРОСНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Приводится сравнительный анализ показателей качества обнаружения траекторий воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения тремя структурами квазиоптимального обнаружителя при раздельных принятиях решений об обнаружении сигнала, воздушного объекта и траектории воздушного объекта для случая больших отношений сигнал/шум.

Ключевые слова: показатель качества обнаружения, воздушный объект, запросные системы наблюдения, информационная сеть.

Постановка проблемы и анализ литературы. Контроль использования воздушного пространства относится к основным задачам обеспечения безопасности страны. Единое радиолокационное поле, создание которого предусматривается Государственной научно-технической программой создания государственной интегрированной информационной системы [1], немислимо без реализации единой информационной сети (ЕИС), на базе существующих и перспективных систем наблюдения (СН) [2 – 5]. Изменение структуры информационного обеспечения, рекомендованное ИКАО, обусловленное в переходе к автоматическому зависимому наблюдению, несколько изменяет весь подход к информационному обеспечению потребителей. Действительно, переход запросных СН до основных источников информации, ставит задачу сопровождения воздушных объектов (ВО) по данным этих источников в ЕИС. Синтезу и анализу оптимальных и квазиоптимальных структур обнаружителей трасс ВО по данным запросных СН посвящены работы [6 – 8]. Исследование порогового значения коэффициента готовности ответчиков запросных СН, как основной статистической характеристики последних, представляет научный и практический интерес.

Цель статьи. Оценка влияния порогового значения коэффициента готовности ответчиков на показатели качества обнаружения трасс ВО по данным запросных СН.

Основной раздел. Существующие СН построены по принципу несинхронной сети, обслуживания первого правильно принятого запросного сигнала (ЗС) и открытой системы массового обслуживания с отказами [4, 5]. Такое построение последних открывает широкие возможности по несанкционированному использованию ответчиков этих систем, а также для полной парализации систем путем постановки

коррелированных помех требуемой интенсивности. При работе ответчика только в поле действия многих запросных СН (ЗСН), создающих внутрисистемные помехи, коэффициент готовности ответчика (КГ) P_0 всегда меньше единицы. Коэффициент готовности ответчика зависит от интенсивности потока ЗС, образованного потоком ЗС от запросных СН, потоком преднамеренных коррелированных помех, а также потоком ЗС, образовавшимся из потока преднамеренных и непреднамеренных некоррелированных помех.

Модульность построения обнаружителя трасс ВО, синтезированного в [7], позволяет рассматривать структуру обнаружителя в следующих последовательностях предварительных обнаружений:

а) обнаружитель ВО – обнаружитель ответного сигнала (ОС) – обнаружитель трассы ВО (I вариант);

б) обнаружитель ОС – обнаружитель ВО – обнаружитель трассы ВО (II вариант);

в) обнаружитель ВО – обнаружитель трассы ВО – обнаружитель ОС (III вариант).

Если принять, что логики принятия решения об обнаружении ВО и трассы ВО соответственно равны " K из N " и " l из m ", то выражения для вероятности обнаружения трасс ВО ($D_i, i = I, II, III$) для вышеизложенных вариантов реализации обнаружителя имеют вид:

I вариант:

$$D_I = \sum_{i=l}^m C_m^i D_{11}^i (1 - D_{11})^{m-i},$$

где $D_{11} = \sum_{i=0}^{N-K} C_N^i P_0^{N-i} (1 - P_0)^i \left[\sum_{l=0}^{N-K-i} C_{N-i}^l P_1^{N-l-i} (1 - P_1)^l \right]^n$, C_m^i – число сочетаний; P_1 – вероятность обнаружения одиночного импульса; n – значность интервально-временного кода.

II вариант:

$$D_{II} = \sum_{i=l}^m C_m^i D_{22}^i (1 - D_{22})^{m-i},$$

где $D_{22} = \sum_{i=0}^{N-K} C_N^i (P_0 P_1^n)^{N-i} (1 - P_0 P_1^n)^i$.

III вариант:

$$D_{III} = D_{33}^n,$$

где $D_{33} = \sum_{i=l}^m C_m^i D_3^i (1 - D_3)^{m-i}$.

Рассмотрим область больших значений отношений с/ш, при которых флуктуационными помехами в ответном канале можно пренебречь. В этом случае характеристики обнаружения определяются длиной ответной пачки и КГ ответчика запросной СН.

Вероятности правильного обнаружения ВО по данным запросных СН для всех вышеизложенных вариантов обнаружения, при постоянных значениях N и P_0 , сходятся к пределу:

$$D = \sum_{i=K}^N C_N^i P_o^i (1 - P)^{N-i}, \quad (1)$$

величина которого зависит от цифрового порога обнаружения K .

При заданных значениях D , N и K выражение (1) представляет собой уравнение относительно P_0 . Корень этого уравнения является пороговым значением коэффициента готовности, обладающего следующими свойствами:

- если P_0 больше порогового значения, то для ответного радиоканала запросных СН существует такое значение отношения с/ш, которое при заданном P_0 обеспечивает заданное значение вероятности правильного обнаружения;

- если $P_0 < P_0^*(D, N, K)$, то независимо от значения отношения с/ш в ответном радиоканале низкий коэффициент готовности не позволяет вероятности D достичь заданной величины при фиксированных N и K . В отличие от отношения с/ш увеличение длины пачки всегда позволяет достичь заданной величины вероятности D независимо от значения P_0 .

На рис. 1 – 3 представлены зависимости вероятности обнаружения трасс ВО по данным запросных СН как функции цифрового порога K , КГ ответчика и логики обнаружения трассы для пачки наблюдаемых ответных сигналов $N = 25$. Анализ представленных зависимостей показывает, что:

- наилучшим вариантом построения обнаружителя трасс ВО является первый вариант, так как при одинаковых порогах обнаружения позволяет получить выигрыш в пороговом отношении с/ш;

- величина КГ ответчиков запросных СН существенным образом влияет на оптимальный порог обнаружения трасс ВО;

- наилучшей, в смысле вероятности правильного обнаружения, является логика обнаружения трассы "2 из 3".

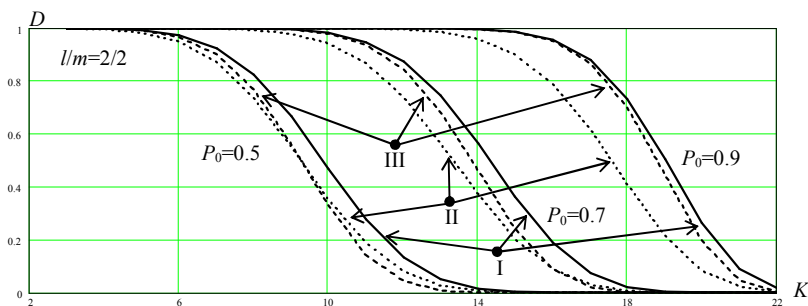


Рис. 1. Зависимость $D = f(R, P_0, l/m)$

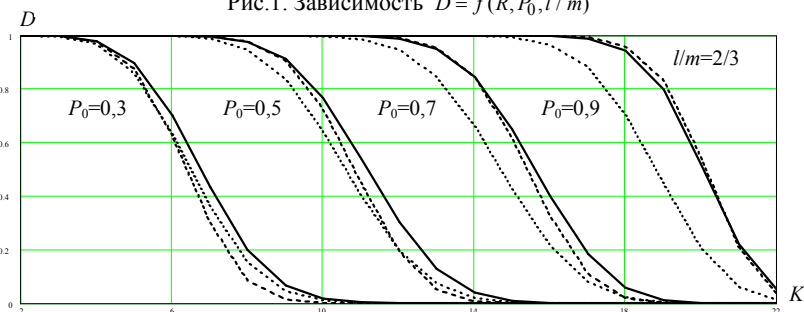


Рис. 2. Зависимость $D = f(R, P_0, l/m)$

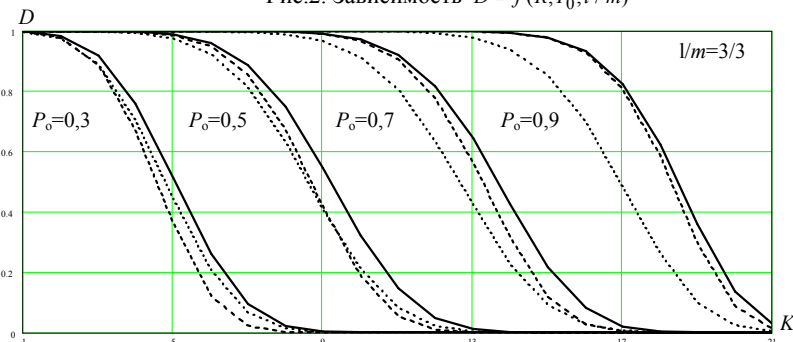


Рис. 3. Зависимость $D = f(R, P_0, l/m)$

Выводы. Таким образом, в работе проведена сравнительная характеристика трех вариантов построения обнаружителей трасс ВО по данным запросных СН и оценено влияние цифрового порога, КГ ответчика запросных СН и логики обнаружения на качество обнаружения трасс ВО.

Список литературы: 1. Постанова Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 834. 2. Lok J.J. C² for the air warrior // Jane's International Defense Review. – October 1999. – V. 2. – P. 53 – 59. 3. Farina A., Studer F.A. Radar Data Processing Introduction and Tracking. – Vol. 1. Research Studies Press. Letch worth England. 1985. – P. 121 – 123. 4. Комплексне інформаційне забезпечення

систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 342 с. **5.** Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 271 с. **6.** *Обод І.І., Заволодько Г.Е.* Синтез оптимального виявлювача траєкторій повітряних об'єктів за даними запитних систем спостереження єдиної інформаційної мережі // Вісник НТУ "ХПІ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 49. – С. 114 – 120. **7.** *Обод І.І., Заволодько А.Э.* Синтез квазиоптимального обнаружителя трасс воздушных объектов запросными системами наблюдения единой информационной сети // Системы обработки информации. – Х. – 2009. – Вып. 2 (76). – С. 72 – 75. **8.** *Заволодько А.Э.* Сравнительный анализ качества обнаружения трасс воздушных объектов запросными системами наблюдения единой информационной сети // Системы управління, навігації та зв'язку. – Х. – 2009. – Вып. 1 (9). – С. 23 – 26.

УДК 004.045:621.396.967.2

Виявлення траєкторій повітряних об'єктів по даним запитальних систем спостереження єдиної інформаційної мережі / Обод І.І., Заволодько Г.Е // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 104 – 108.

Приводиться порівняльний аналіз показників якості виявлення траєкторій повітряних об'єктів за даними запитальних систем спостереження трьома структурами квазіоптимального детектору при роздільних прийняттях рішень про виявлення сигналу, повітряного об'єкту і траєкторії повітряного об'єкту для випадку великих відносин сигнал/шум. Іл.:3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: показник якості виявлення, повітряний об'єкт, запитальні системи спостереження, інформаційна мережа.

UDC 004.045:621.396.967.2

Finding out trajectories of air objects software to information of observing system of a uniform informational network /Obod I.I., Zavalodko G.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 104 – 108.

A comparative analysis over of indexes of air objects trajectories detector quality index is brought from data of enquiry supervision systems of three quasioptimal detector structures at separate decisions making about finding out a signal, air object and air object trajectory for the case of large relations signal/noise. Figs: 3. Refs: 8 titles.

Keywords: trajectories detector, air object, enquiry supervision systems, information network.

Поступила в редакцію 05.04.2009

И.И. ОБОД, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Л.С. ЛИТВИНЕНКО, бакалавр НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
И.Г. МИРОНЕНКО, бакалавр НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
И.В. ПАНАРИНА, бакалавр НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, МОНИТОРИНГА И СБОРА ДАННЫХ НА БАЗЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваются принципы координатно-временного обеспечения универсальной цифровой системы мониторинга, построенной на базе технологии беспроводных сенсорных сетей, которая могла бы применяться в различных сферах жизни. Ключевой особенностью сенсорной сети является возможность ретрансляции сообщений от одного узла к другому, что позволяет покрывать большие территории без использования мощных передатчиков.

Ключевые слова: координатно-временное обеспечение, мониторинг, сенсорные сети.

Постановка проблемы и анализ литературы. Создание распределенных систем сбора информации и управления на основе сетей беспроводных датчиков считается сегодня наиболее перспективным направлением в области информационных технологий [1, 2]. Действительно, успехи современной микроэлектроники позволяют в настоящее время интегрировать на одном кристалле разнородные технологии. В результате в одной микросхеме стало возможно объединение микропроцессора с радиомодемом, что обеспечивает технологическую возможность реализации разного рода сетевых протоколов. Малые размеры элементов цифровой радиосвязи и наличие в них возможностей сетевого взаимодействия привели к появлению целого спектра новых применений средств управления и наблюдения за пространственно распределенными, в том числе и подвижными, объектами. Такие сети используются для наблюдения какого-либо подвижного объекта, где часто возникает задача с высокой точностью фиксировать как время регистрации событий, так и координаты объекта. Высокая точность локальных часов также необходима для работы протоколов связи.

В известной литературе [3 – 8], как правило, вопросы координатного и временного обеспечения датчиков сенсорной сети (СС) рассматриваются раздельно, что несколько усложняет наблюдение за подвижными объектами в рассматриваемой сети.

Цель работы. Разработка структуры и математической модели единого координатно-временного обеспечения датчиков сенсорной сети.

Основной раздел. Беспроводные СС состоят из множества узлов, которые собирают данные о физическом мире, обрабатывают и передают информацию посредством радиосвязи. Такие сети используются для

наблюдения какого-либо подвижного объекта, где часто возникает задача с высокой точностью фиксировать как время регистрации событий, так и координаты объекта. Подвижность наблюдаемого объекта приводит к сложностям синхронизации его шкалы времени (ШВ). Изменение местоположения наблюдаемого объекта приводит к изменению времени распространения сигнала синхронизации и, как следствие, к нарушению принципа одновременности в СС.

При этом необходимо отметить, что понятие синхронности тесно связано с понятием одновременности. Действительно, в датчиках СС должны одновременно вырабатываться одноименные временные импульсы. Само же понятие одновременности в общей теории относительности не является однозначным. Однако можно утверждать, что единственным непротиворечивым определением одновременности является следующее определение. Для анализа любых явлений в рамках общей теории относительности можно ввести некоторую четырехмерную систему координат (СК), имеющую одну временную координату и три пространственных. Два события, фиксированные в некоторой СК значениями (t_1, x_1, y_1, z_1) и (t_2, x_2, y_2, z_2) , считаются одновременными относительно этой СК, если соответствующие им значения временной координаты совпадают: $t_1 = t_2$. В дальнейшем такое определение одновременности (и соответствующее ему определение синхронизации часов) будем называть координатным. Указанное определение позволяет ввести в рамках общей теории относительности самосогласованную единую ШВ в самых различных областях пространства-времени и с любой разумной точностью. Тот факт, что выбор СК, по координатному времени которой производится синхронизация, произволен, не должен вызывать беспокойство: от синхронизации по координатному времени одной СК легко перейти к синхронизации по координатному времени любой другой СК. Это утверждение очень важно для реализации СС. Действительно, датчики СС функционируют на некотором территориальном уровне. Для согласования ШВ датчиков СС необходимым условием является наличие общего источника синхронизации (ИС), т.е. источника, по времени которого синхронизируются ШВ.

В качестве такой СК, координатное время которой позволяет осуществлять синхронизацию местного времени СС датчиков подвижных объектов, удобно использовать координатную систему глобальных спутниковых систем навигации или подобную им.

Как следует из вышеизложенного, основу СС составляет формирователь местной ШВ и элементы его синхронизации. Формирователь местной ШВ, как показано выше, должен произвести не только сверку своей ШВ с образцовой ШВ системы, но и осуществить смещение ее на определенный интервал времени, если это необходимо. Следовательно, алгоритм формирования ШВ в такой СС состоит из двух этапов. На первом этапе устройство, входящее в СС,

производит оценку своего местоположения и по результатам оценки, на втором этапе, производит сдвиг ШВ на время, вычисляемое по следующему выражению

$$t_3 = \frac{1}{c} \sqrt{(x_b - x_p)^2 + (y_b - y_p)^2 + (z_b - z_p)^2} - \sqrt{(x_c - x_p)^2 + (y_c - y_p)^2 + (z_c - z_p)^2}, \quad (1)$$

где c – скорость света; x_b, y_b, z_b – координаты регионального пункта привязки данной СС; x_p, y_p, z_p – координаты потребителя СС; x_c, y_c, z_c – координаты пункта синхронизации. Этим удастся формировать местные ШВ и, следовательно, местные СК.

Для описания временных процессов получим математическую модель (ММ) рассматриваемой синхронной СС. Для этого рассмотрим ММ опорного генератора ШВ отдельного пункта СС. При этом будем учитывать то, что в элементах СС возможно формирование ШВ как со скомпенсированным временем задержки между датчиками СС, так и без него.

ММ опорного генератора отдельного пункта описывает временной процесс, наблюдаемый на выходе генератора. Опорный генератор представляет собой устройство, состоящее из прецизионного генератора и делителей. Выходной сигнал генератора можно моделировать в виде периодического колебания $S(t) = A \sin \Phi(t)$, где A – амплитуда колебаний, а через t обозначено идеальное время. Функцию мгновенной угловой частоты $\Phi(t)$ можно моделировать в следующей форме:

$$\dot{\Phi}(t) = \omega_0 + \sum_{k=0}^{M-1} (L(k) / k!) \cdot t^k + \xi(t), \quad (2)$$

где ω_0 – постоянная величина, обозначающая номинальное значение частоты собственных колебаний генератора; $L(0)$ – случайная величина с нулевым средним значением, выражающая начальную ошибку по частоте (отклонение). Эта ошибка возникает вследствие неопределенности в начальной установке частот собственных колебаний генератора. Величины $L(k)$ ($k = 1, \dots, M - 1$) задают совокупность независимых от времени случайных величин, моделирующих уходы k -порядка, а ξ – стационарный случайный процесс с нулевым средним, описывающий кратковременные нестабильности частоты.

Фазовый процесс генератора можно найти, интегрируя выражение (2) в пределах от 0 до t . В результате получим:

$$\Phi(t) = \Phi(0) + \omega_0 \cdot t + \sum_{k=0}^{M-1} (L(k-1) / k!) \cdot t^k + [\xi(t) + [\xi(t) - \xi(0)]] \cdot t. \quad (3)$$

"Временной процесс", вырабатываемый опорным генератором отдельного пункта, можно получить делением фазового процесса генератора на

номинальную частоту собственных колебаний ω_0 . С учетом (3) временной процесс $T(t)$ опорного генератора передающего пункта можно записать в следующем виде:

$$T(t) = T(0) + t + \sum_{k=1}^M (q(k) / k!) \cdot t^k + \Psi(t), \quad (4)$$

где $q(k) = L(k-1) / \omega_0$, $k = 1, \dots, M$ – совокупность случайных величин, моделирующих уходы во времени $(k-1)$ порядка, а $\Psi(t) = \{\xi(t) - \xi(0)\} / \omega_0$ – в общем случае нестационарные стохастические кратковременные нестабильности формирования ШВ датчика. Таким образом, временной процесс опорного генератора характеризуется начальной ошибкой установки времени, систематическим уходом времени, а также случайными кратковременными нестабильностями.

В СС временной процесс опорного генератора каждого пункта управляется сигналом ошибки, получаемым из сигнала времени опорного генератора пункта синхронизации. Рассмотрим двухдатчиковую СС с синхронизацией по задающему генератору без компенсации временной задержки между датчиками. В такой системе сигнал времени опорного генератора пункта синхронизации передается на приемный пункт. Принятый сигнал, представляющий собой задержанный передаваемый сигнал времени, сравнивается с сигналом времени местного генератора. В результате этого вырабатывается сигнал ошибки, пропорциональный разности времени опорных генераторов синхронизирующего и приемного пунктов. Полученный сигнал ошибки используется для управления местным опорным генератором. Путем анализа можно получить следующие уравнения, описывающие работу такой системы синхронизации:

$$\dot{T}_1(t) = \Omega_1(t), \quad (5)$$

$$\dot{T}_2(t) = \Omega_2(t) + B_2 F_2(p) \{q_{21}[T_1(t - t_3) - T_2(t)] + N_{21}(t)\}, \quad (6)$$

где B_2 – коэффициент усиления в петле обратной связи приемного пункта; $F_2(p)$ – передаточная функция фильтра; $q_{21}(p)$ – характеристика временного детектора приемного пункта; N_{21} – эквивалентный шум в канале передачи синхросигнала; $\Omega(t)$ – нормированная частота, определяемая из следующего выражения:

$$\Omega_i(t) = (\dot{\Phi}(t) / \omega_0) = 1 - \sum_{k=1}^M [q_i(k) / (k-1)!] \cdot t^{k-1} + \dot{\Psi}_i(t). \quad (7)$$

Приведенные выражения (5) и (6) позволяют математически описать временные процессы, происходящие в СС. При этом выражение (5) описывает временной процесс ведущего пункта, а (6) – приемного пункта.

ММ СС для N -пунктов, в этом случае, можно описать следующей

системой уравнений:

$$\dot{T}_i(t) = \Omega_i(t) + B_i F_i(p) \cdot a_{ij} \left\{ q_{ij} \left[T_j(t - t_3) - T_i(t) \right] + N_{ij}(t) \right\} \quad (8)$$

при $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1$, где a_{ij} – весовые коэффициенты, удовлетворяющие следующему условию $a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{при } i = j, \\ 1 & \text{при } i \neq j. \end{cases}$

Используя аналогичные рассуждения, получаем ММ СС с N датчиками при синхронизации по задающему генератору с компенсацией времени задержки при помощи линии задержки в следующем виде:

$$\dot{T}_i(t) = \Omega_i(t) + B_i F_i(p) a_{ij} \left\{ q_{ij} \left[T_j(t - t_3) - T_i(t - \hat{t}_3) \right] + N_{ij}(t) \right\}, \quad (9)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1$, а $\hat{t}_3$ – оценка величины t_3 .

На основании полученных ММ СС с различной системой синхронизации можно записать обобщенную математическую модель СС, которая представляется следующим выражением:

$$\ddot{\vec{T}}(t) = \vec{\Omega}(t) + \vec{F}(p) \left[\vec{G} + \vec{N} \right] \vec{I}, \quad (10)$$

где $\vec{T}(t) = [T_1(t), \dots, T_N(t)]$; $\vec{\Omega}(t) = [\Omega_1(t), \dots, \Omega_N(t)]^T$; $I = [1, 1, \dots, 1]^T$; $\vec{N} = [B_i N_{ij}(t)]$; T – знак транспонирования; $\vec{F}(p) = \text{diag}[F_1(p), \dots, F_n(p)]$; $\vec{G} = \{B_i a_i g_i [T_j(t - t_{3ij} - \eta_{ij})]\}$.

При соответствующем выборе коэффициентов уравнение (10) подходит для описания работы всех рассмотренных выше систем синхронизации.

Путем выбора величины η_{ij} выражение (10) может моделировать различные методы компенсации задержки. При этом для системы без компенсации задержки $\eta_{ij} = 0$, $i = 1, 2, \dots, N$, а для систем с компенсацией посредством линии задержки $\eta = \hat{t}_{3ij}$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Выводы. Таким образом, приведенные ММ можно использовать для описания временных процессов в СС систем сбора информации подвижных объектов. Переход к четырехмерной системе путем включения времени в координатную систему позволит реализовать синхронный принцип сбора информации от подвижных датчиков и, следовательно, снизить требования к пропускной способности систем радиодоступа.

Список литературы: 1. Ilyas M., Mahgoub I. Handbook of Sensor Networks, CRC Press, 2004. – 864 p. 2. Ye W., Heidemann J., Estrin D. Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2004. – V. 12. – № 3. – P. 140 – 155. 3. Ganesan D., Ratnasamy S., Wang H., Estrin D. Coping with Irregular Spatio-Temporal Sampling in Sensor Networks // Computer Communication Review. – 2004. – 34 (1) – P. 125 – 130. 4. Ye W., Heidemann J., Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks / In Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications

Societies (INFOCOM). – New York. – 2002. – Vol. 3. – P. 1567 – 1576. **5. Roemer K.** Temporal message ordering in wireless sensor networks / In Proceedings of the IFIP Mediterranean Workshop on Ad-Hoc Networks (Med-Woc-Net 2003). – Madhia. – Tunisia. – 2003. – P. 131 – 142. **6. Dai H., Han R.** Tsync: A lightweight bidirectional time synchronization service for wireless sensor networks // Mobile Computing and Communications Review. – 2004. – 8 (1). – P. 125 – 139. **7. He T., Huang C., Blum B.M., Stankovic J.A.** Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks // CS-TR2003-06. Submit to MobiCom. – 2003. – P. 654 – 667. **8. Nagpal R., Shrobe H., Bachrach J.** Organizing a Global Coordinate System from Local Information on an Ad Hoc Sensor Network / 2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '03). – Palo Alto. – 2003. – P. 123 – 129.

УДК 004.045

Координатно-часове забезпечення систем керування, моніторингу та збору даних на базі бездротових сенсорних мереж / Обод І.І., Літвіненко Л.С., Міроненко І. Г., Панаріна І.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 109 – 114.

Розглядаються принципи координатно-часового забезпечення універсальної цифрової системи моніторингу, побудованій на базі технології бездротових сенсорних мереж, яка могла б застосовуватися в різних сферах життя. Ключовою особливістю сенсорної мережі є можливість ретрансляції повідомлень від одного вузла до іншого, що дозволяє покривати великі території без використання могутніх передавачів. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: координатно-часове забезпечення, моніторинг, сенсорні мережі.

UDC 004.045

Coordinate-temporal providing of control systems, monitoring and capture of data on base of wireless sensory networks / Obod I.I., Litvinenko L.S., Mironenko I.G., Panarina I.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 109 – 114.

Principles of the co-ordinate-temporal providing of the universal digital monitoring system are examined, to the technology of wireless sensory networks, which would be used in the different spheres of life, built on a base. The key feature of sensory network is possibility of retransmitting of reports from one nodes to other, that allows to cover large territories without the use of powerful transmitters. Refs: 8 titles.

Keywords: coordinate-temporal providing, monitoring, sensory networks.

Поступила в редакцію 05. 04.2009

А.А. ОЛЕЙНИК, ЗНТУ (г. Запорожье),

С.А. СУББОТИН, канд. техн. наук, доц. ЗНТУ (г. Запорожье)

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НЕЙРО-ФАЗЗИ СЕТЕЙ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ АГЕНТАМИ

Рассмотрена задача параметрической идентификации нейро-фаззи сетей, для решения которой разработан мультиагентный метод с прямой связью между агентами и ускоренной сходимостью к оптимальному решению, и более подробным изучением пространства поиска. Предложенный метод программно реализован и позволяет выполнять параметрический синтез нейро-фаззи моделей. Проведены эксперименты по параметрическому синтезу нейро-фаззи сетей, подтверждающие эффективность разработанного метода.

Ключевые слова: мультиагентный метод, нейро-фаззи сеть, нейро-фаззи модель.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время нейро-фаззи сети эффективно применяются в различных прикладных областях, связанных с управлением, прогнозированием и диагностикой, что вызвано их эффективностью, прозрачностью и относительной дешевизной при реализации. В частности, нейро-фаззи сети нашли широкое применение в таких областях человеческой деятельности как: медицинская и техническая диагностика, финансовых менеджмент, распознавание образов, разведка ископаемых, управление компьютерными сетями, управление технологическими процессами, анализ веб-контента в Internet и т.д. [1 – 5].

Архитектура нейро-фаззи сети изоморфна нечеткой базе знаний. Пусть задана обучающая выборка $\langle X, Y \rangle$, где $X = \{x_1^1, x_2^1, \dots, x_k^1, \dots, x_1^m, x_2^m, \dots, x_k^m\}$ – независимые переменные, $Y = \{y^1, y^2, \dots, y^m\}$ – выходная переменная, зависимость которой от независимых переменных исследуется. Пусть $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – настраиваемые параметры нейро-фаззи сети. Тогда задача параметрического синтеза нейро-фаззи сети заключается в поиске таких значений $P^* = \{p_1^*, p_2^*, \dots, p_n^*\}$, при которых выполняется следующее условие:

$$\varepsilon[FN(P^*)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\varepsilon[FN(P^*)]$ – ошибка прогнозирования нейро-фаззи сети FN , у которой параметры P принимают значения P^* . Ошибка определяется на основе исходных значений Y и рассчитанных значений Y^* , полученных при помощи нейро-фаззи сети.

В нейро-фаззи сетях используются дифференцируемые реализации треугольных норм (умножение и вероятностное ИЛИ), а также гладкие функции принадлежности [6]. Применение гладких функций принадлежности вызвано тем, что для настройки нейро-фаззи сетей применяются методы

обучения нейронных сетей, основанные на технике обратного распространения ошибки. Однако, как известно, метод обратного распространения ошибки обладает недостатками, связанными с долгой работой и ограничениями, накладываемыми на архитектуру сети (в данном случае, функции принадлежности должны быть дифференцируемыми).

В связи с этим актуальной является разработка новых методов, позволяющих выполнять настройку нейро-фаззи сетей, которые не обладают указанными недостатками. Одной из новых ветвей методов оптимизации являются методы коллективного интеллекта (Swarm Intelligence) [7, 8]. К таким методам относятся: метод муравьиных колоний [9, 10], метод пчелиной колонии [11], метод оптимизации с использованием роя частиц [12] и другие [13, 14]. Данные методы уже эффективно применяются для решения различных задач оптимизации: задач коммивояжера, календарного планирования, динамической маршрутизации, нахождения оптимума многомерной функции, транспортных задач и т.д.

В данной статье исследуется возможность применения методологии коллективного интеллекта для настройки нейро-фаззи сетей. Поскольку задачу параметрического синтеза нейро-фаззи сети можно отнести к задаче непрерывной оптимизации, то для решения данной задачи предлагается исследовать метод пчелиной колонии. Данный метод представляет собой мультиагентный метод с прямой связью между агентами.

Цель статьи – разработка метода параметрического синтеза нейро-фаззи сетей, основанного на мультиагентном подходе с прямой связью между агентами. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать особенности архитектуры нейро-фаззи сетей;
- исследовать метод пчелиной колонии: его основные принципы, особенности, преимущества и недостатки;
- разработать метод параметрического синтеза нейро-фаззи сетей, основанный на моделировании агентов с прямой связью между ними, учитывающий недостатки базового метода, и с применением дополнительных процедур, позволяющих устранить эти недостатки;
- программно реализовать разработанный метод настройки параметров нейро-фаззи сетей;
- провести эксперименты по решению тестовых задач и сравнить результаты, полученные с помощью предложенного метода, с результатами, полученными путём применения традиционного подхода для настройки нейро-фаззи сетей.

Архитектура нейро-фаззи сетей. На практике наиболее часто примеряют нейро-фаззи сети, которые реализуют систему нечеткого вывода Мамдани или Сугено в виде нейронной сети прямого распространения [5, 6].

Рассмотрим структуру нейро-фаззи сети Мамдани для определения параметров, которые требуется настраивать при параметрическом синтезе. Данная сеть состоит из пяти слоёв.

Первый слой образуют элементы входного вектора.

Второй слой содержит нечёткие термы, которые соответствуют входным переменным, и рассчитывает принадлежности входного вектора к каждому из нечётких термов:

$$\mu_{jp}(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - b_i^{jp}}{c_i^{jp}} \right)^{2a_i^{jp}}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad p = \overline{1, k_j}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где $\mu_{jp}(x_i)$ – функция принадлежности переменной x_i терму p -ой строчки j -го правила; a_i^{jp} , b_i^{jp} , c_i^{jp} – параметры функции принадлежности.

На третьем слое находятся строки-конъюнкции антецедентов (посылок) правил нечёткой базы знаний, каждый узел этого слоя реализует оператор T -нормы и выдаёт степень соответствия входного вектора сопоставляемому узлу-правилу.

Четвёртый слой объединяет правила в классы d_j , $j = \overline{1, m}$, и вычисляет степень принадлежности входного вектора соответствующим термам выходной переменной, каждый узел этого слоя реализует оператор T -конормы. Функция принадлежности входного вектора j -му терму d_j выходной переменной y определяется как: $\mu_{d_j} = \max_{p=1, k_j} \{w_{jp} \min_{i=1, N} [\mu_{jp}(x_i)]\}$.

Пятый слой содержит один нейрон, который объединяет функции принадлежности к нечётким термам выходной переменной и выполняет операцию дефазификации.

Число узлов в нейро-фаззи сети определяется следующим образом: слой 1 – по количеству элементов входного вектора; слой 2 – по количеству нечётких термов в базе знаний (n); слой 3 – по количеству строк-конъюнкций в базе знаний; слой 4 – по количеству классов, на которые разбивается диапазон выходной переменной (m).

Дугам графа присваиваются такие веса: единица (дуги между первым и вторым слоями); функции принадлежности входа нечёткому терму (дуги между вторым и третьим слоями); веса правил (дуги между третьим и четвёртым слоями); единица (дуги между четвёртым и пятым слоями). Пороги нейронов считаются равными нулю.

Таким образом, можно отметить, что настраиваемыми параметрами нейро-фаззи сети можно считать параметры функций принадлежности (для входных переменных и для выходной переменной) и веса правил. Следовательно, задачей параметрического синтеза нейро-фаззи сети является

нахождение таких значений параметров, при которых достигается наилучшее прогнозирование при использовании данной сети.

Метод пчелиной колонии. Метод пчелиной колонии является мультиагентным эвристическим итеративным методом случайного поиска с прямой связью между агентами, основанный на моделировании коллективного интеллекта колонии пчёл. Одной из главных особенностей коллективного поведения моделируемых агентов является разделение функций между различными агентами: занятыми фуражирами и разведчиками. Занятые фуражиры – это агенты, которые закреплены за определёнными областями пространства поиска и разрабатывают их, и, таким образом, направлены на улучшенное изучение найденных областей, а разведчики, в свою очередь, выполняют поиск новых перспективных областей пространства поиска, в которых может находиться оптимум. За счёт такого разделения труда достигается эффективная работа всей группы агентов. При этом агенты информируют других агентов об областях при помощи прямой связи, которая достигается путём моделирования виляющего танца, в результате свободные агенты (незанятые фуражиры) могут стать занятыми фуражирами.

Формальное описание такого поведения агентов с прямой связью между ними может быть приведено в терминах исчисления взаимодействующих систем (Calculus of Communicating Systems, CCS) [11].

CCS – математическая модель (формальный язык), предназначенная для описания процессов, обычно применяемая при изучении параллелизма. CCS содержит набор термов, операторов и аксиом, которые используются для описания и управления составленными выражениями. Выражения характеризуют элементы параллельной системы, а управление этими выражениями показывает, как ведёт себя система. Центральным элементом в CCS является уникально именованный агент, который обладает специфическим поведением. Поведение агента определяется множеством событий и действий, которые может выполнять агент. Множество событий, выполняемых агентом, описывается с помощью оператора "действие", который обозначается как ".". Другим важным оператором в CCS является оператор "+", который является оператором выбора. Этот оператор используется в случае, если описывается участие агента в одном из нескольких альтернативных действий.

CCS [11] работает с агентами и с действиями, которые представляют собой возможность перехода из одного состояния в другое. Таким образом, колония может быть представлена в виде связного графа, вершинами которого являются агенты, а ребрами – действия. Например, агент может быть представлен в следующем виде:

$$\text{Разведчик}_b = \text{хороший}_b(s). \text{Поиск}_b(s) + \text{плохой}_b. \text{Незанятый}_b.$$

Представленный агент b является разведчиком, который ищет область с оптимумом. В случае, если он будет *плохо* искать оптимум, то он станет

незанятым фуражиром, если же он будет *хорошо* искать, то он продолжит $\text{Поиск}_b(s)$ некоторой области с оптимумом s .

Тогда процесс фуражировки можно формализовать с помощью CCS в следующем виде:

$\text{Использовать}_b(s) = \kappa_{b,s}.\text{Поиск}_b(s),$

$\text{Поиск}_b(s) = \text{нектар}_{b,s}.\text{Удачно}_b(s) + \text{ничего}_s.\text{Неудачно}_b(s),$

$\text{Удачно}_b(s) = \text{из}_{b,s}.\text{Вербовка}_b(s),$

$\text{Неудачно}_b(s) = \text{из}_{b,s}.\text{Незанятый}_b,$

$\text{Вербовка}_b(s) = \text{танец}(b, s).\text{Вербовка}_b(s) + \text{покинуть}_b.\text{Использовать}_b(s),$

$\text{Незанятый}_b = \text{танец}(b', s).\text{Использовать}_b(s) + \text{исследовать}_b.\text{Разведчик}_b,$

$\text{Разведчик}_b = \text{хороший}_b(s).\text{Поиск}_b(s) + \text{плохой}_b.\text{Незанятый}_b.$

В данном описании b – уникальный идентификатор одного агента, b' – идентификатор другого агента, s – источник нектара.

Таким образом, с помощью предложенной формализации моделируется поведение агентов с прямой связью между ними. Незанятый агент остаётся свободным до тех пор, пока не получит сигнал от занятого фуражира посредством обмена информацией; если такой сигнал получен, то агент перемещается к соответствующей области с оптимумом; в противном случае – он может сам стать разведчиком через некоторое время; если в предполагаемой области есть оптимум, то агент разрабатывает его и моделирует обмен информацией.

В результате анализа различных применений данного мультиагентного метода с прямой связью между агентами [15 – 20] можно выделить следующие его преимущества:

- метод не склонен к заикливанию в локальных оптимумах, поскольку основан на случайном поиске;
- поиск лучшего решения основывается на решениях агентов всей колонии;
- метод может применяться в динамических приложениях, поскольку способен адаптироваться к изменениям окружающей среды;
- метод не выдвигает никаких требований к целевой функции;
- метод может использоваться для решения как дискретных, так и непрерывных задач оптимизации.

К недостаткам метода можно отнести:

- достаточно высокую итеративность метода;
- трудности теоретического анализа процесса получения решений, обусловленные тем, что поиск решения имеет стохастическую природу;
- априорную неопределённость времени поиска, хотя сходимость гарантируется;
- зависимость метода от настройки параметров, подбираемых экспериментально.

Таким образом, метод является эффективным и может быть рекомендован для решения задачи параметрического синтеза нейро-фаззи сетей, поскольку он не обладает недостатками традиционных методов, связанных с накладываемыми ограничениями на архитектуру сети. Однако рассматриваемый мультиагентный подход с прямой связью между агентами обладает и недостатками, которые должны быть учтены при разработке соответствующего метода параметрического синтеза нейро-фаззи сетей.

Параметрический синтез нейро-фаззи сетей на основе метода пчелиной колонии. Как было отмечено ранее, задача параметрического синтеза нейро-фаззи сети может рассматриваться как задача многомерной оптимизации, поскольку требуется найти значения параметров архитектуры нейро-фаззи сети, при которой достигается минимум ошибки прогнозирования такой сети. К настраиваемым параметрам нейро-фаззи сети относятся:

- параметры функций принадлежности термов входных переменных;
- веса правил;
- параметры функций принадлежности термов выходной переменной (в случае параметрического синтеза нейро-фаззи сети типа Мамдани).

Поскольку функции принадлежности обычно определяются 2 – 4 параметрами, а при этом каждой входной переменной соответствует несколько нечётких термов, а соответственно, и несколько функций принадлежности, то общее количество настраиваемых параметров будет значительным. В связи с этим в традиционный мультиагентный метод с прямой связью между агентами предлагается ввести дополнительные процедуры, которые позволили бы разрабатываемому методу лучше и быстрее изучать пространство поиска, а также быстрее сходиться к оптимальному решению:

- процедура имитации отжига [21], позволяющая со временем отбирать всё меньшее количество агентов для анализа полученных ими решений, что позволит повысить сходимость к оптимальному решению;
- применение операторов генетического поиска [22], в частности, оператора скрещивания, что позволит более детально изучить пространство поиска.

Разработанный метод параметрического синтеза нейро-фаззи сетей, основанный на мультиагентном подходе с прямой связью между агентами, моделирующий поведение пчёл, можно представить в виде последовательности следующих шагов.

Шаг 1. Задаются начальные параметры работы метода: обучающая выборка, по которой будет рассчитываться ошибка прогнозирования нейро-фаззи сети; начальное количество агентов-разведчиков B_s ; допустимая ошибка прогнозирования ε^* ; максимальная энергия; коэффициент α ; начальная температура T_{init} ; конечная температура T_{final} ; максимальное количество итераций $iter_{max}$. Также задаются параметры, связанные с архитектурой нейро-фаззи сети: количество настраиваемых переменных $argCnt$; минимальный

$minRange$ и максимальный $maxRange$ пределы для каждой из переменных, т.е. область, в которой можно искать возможные решения.

Шаг 2. Создаются начальные агенты-разведчики.

Шаг 2.1. Для каждого начального агента-разведчика создаётся случайное решение:

$$bee_i.x_j = rand \cdot (\max Range_j - \min Range_j) + \min Range_j, \forall i = \overline{1, B_s}, j = \overline{1, argCnt},$$

где bee_i – i -й агент-разведчик; $rand$ – случайное число из интервала $[0, 1]$.

Шаг 2.2. Для полученных случайных решений рассчитывается полезность данного источника нектара как значение ошибки прогнозирования соответствующей нейро-фаззи сети:

$$bee_i.profitability = \varepsilon [FN(bee_i.x_1, bee_i.x_2, ..., bee_i.x_{argCnt})], \forall i = \overline{1, B_s}. \quad (3)$$

Устанавливается текущее количество итераций: $iter = 1$; устанавливается количество агентов-разведчиков: $B = B_s$; устанавливается текущая температура: $T = T_{init}$.

Шаг 3. Выбираются рабочие агенты, т.е. такие агенты, на базе которых будут создаваться новые агенты с помощью процедуры скрещивания.

Шаг 3.1. Определяется агент $best$ с наибольшей полезностью.

Шаг 3.2. Процедура имитации отжига [21]. Агент относится к рабочим агентам $workBee$, если выполняется условие:

$$e^{\frac{|bees_i.profitability - best.profitability|}{T}} > rand, \forall i = \overline{1, B}. \quad (4)$$

Шаг 4. Скрещивание. Поскольку реальные пчёлы-разведчики при выборе источника нектара пользуются также генетическим материалом (в биологии ещё не изучено, каким именно образом разведчики выбирают одни цветки и пропускают другие, то есть предполагается, что разведчики основываются на генетическом опыте), то с помощью процедуры скрещивания моделируется именно этот момент поведения пчёл. Для скрещивания используются ранее отобранные с помощью процедуры имитации отжига рабочие агенты $workBee$ и лучший агент за все итерации $best$. Новые агенты создаются в два этапа: на базе решений рабочих агентов и на базе решения лучшего агента.

Шаг 4.1. Создание новых агентов на базе рабочих агентов $workBee$:

$$newWorkBee_i.x_j = workBee_i.x_j \pm rand \cdot (workBee_i.x_j - best.x_j), \forall i = \overline{1, B_w}, j = \overline{1, argCnt},$$

где B_w – количество рабочих агентов $workBee$; знак преобразования "+" или "-" выбирается случайным образом.

Шаг 4.2. Создание новых агентов на базе лучшего агента $best$:

$$newWorkBee_i.x_j = best.x_j \pm rand \cdot (workBee_i.x_j - best.x_j), \forall i = \overline{1, B_w}, j = \overline{1, argCnt}.$$

Шаг 4.3. Для всех новых агентов производится корректировка полученных решений, поскольку полученные таким образом значения переменных могут выходить за пределы $[minRange; maxRange]$.

Шаг 4.4. Рассчитывается полезность полученных решений:

$$newWorkBee_i.profitability = \varepsilon \left[FN(newWorkBee_i.x_1, \dots, newWorkBee_i.x_{argCnt}) \right], \forall i = \overline{1, B_n},$$

где B_n – количество созданных при скрещивании агентов $newWorkBee$.

Шаг 4.5 Выбирается новый лучший агент $best$.

Шаг 5. Моделирование обмена информацией между агентами. К возможному обмену информацией допускаются рабочие агенты $workBee$, агенты, созданные путём скрещивания, $newWorkBee$, лучший агент за все итерации $best$. Моделирование обмена информацией происходит в несколько этапов. В результате данного моделирования выбираются те агенты, которые за счёт предоставления информации о найденных ими решениях выполняют вербовку других агентов для исследования области с данным решением.

Шаг 5.1. Выполняется нормирование полезностей агентов, допущенных к возможности выполнения танца. Нормирование выполняется следующим образом:

$$np_i = 1 - \frac{bee_i.profitability}{profitability_{\max} - profitability_{\min}}, \quad (5)$$

где np_i – нормированная полезность i -го агента; $profitability_{\max}$ и $profitability_{\min}$ – максимальная и минимальная полезности среди всех агентов, соответственно.

Шаг 5.2. Добавление шумов к полученным нормированным полезностям и их корректировка:

$$np_i = \begin{cases} 1, & \text{если } np_i + w_i > 1; \\ np_i + w_i, & \text{если } e_n < np_i + w_i < 1; \\ 0, & \text{если } 0 < np_i + w_i < e_n, \end{cases} \quad (6)$$

где w_i – шум в полезности. Шум равномерно распределён в интервале $(-w, +w)$. Значение w выбирается экспериментально (предлагается $w = 0,1$); e_n – минимальный порог полезности. Минимальный порог выбирается экспериментально (предлагается $e_n = 0,1$).

Шаг 5.3. Определение достоинства решения каждого агента:

$$L_i = \max \{ np_i - \eta \cdot \overline{np}, 0 \},$$

где L_i – достоинство решения i -го агента; η – коэффициент, управляющий влиянием величины $\overline{np}$ на L_i ; $\overline{np}$ – среднее значение нормированной полезности всех агентов, которые допущены к моделированию обмена информацией:

$$\overline{np} = \frac{1}{B_c} \sum_{i=1}^{B_c} np_i,$$

где B_c – количество агентов, допущенных к обмену информацией.

Шаг 5.4. Выбор тех агентов, которые за счёт обмена информацией выполняют вербовку других агентов для исследования найденного ими решения. Агент считается выполнившим вербовку, если:

$$\frac{L_i}{\beta} > \gamma \cdot \overline{np}, \quad \forall i = \overline{1, B_c},$$

где $\beta > 0$ – коэффициент, понижающий влияние достоинства решения на вероятность выполнения вербовки; $\gamma \in (0; 1)$ – пороговый коэффициент, определяющий, на сколько выше должно быть достоинство решения данного i -го агента относительно средней полезности решений всех B_c агентов.

Шаг 6. Выбирается агент с лучшим решением *best*.

Шаг 7. Перезапуск агентов. Создаются агенты, которые будут рассматриваться как агенты-разведчики для следующей итерации.

К новым агентам-разведчикам будут относиться:

- агенты, выполнившие посредством танца вербовку, лучший агент;
- агенты, которые стали занятыми фуражирами вследствие вербовки.

Поскольку такие агенты должны выполнять улучшенное изучение уже существующей области с решением, то при создании решений для данных агентов должны учитываться решения завербовавших их агентов. В связи с этим для завербованных агентов решение создаётся следующим образом:

$$x_j = \text{dancedBee}.x_j + \text{range} \cdot \text{rand} - \frac{\text{range}}{2}, \quad \forall j = \overline{1, \text{argCnt}},$$

где *range* – это предел, в котором величина переменной может отклоняться от значения данной j -ой переменной в решении агента, моделировавшего обмен информацией; *dancedBee*. – агенты, решение которых создаётся случайным образом:

$$x_j = \text{rand} \cdot (\max \text{Range}_j - \min \text{Range}_j) + \min \text{Range}_j, \quad \forall j = \overline{1, \text{argCnt}}.$$

Также для всех созданных агентов рассчитывается полезность выбранного решения.

Шаг 8. Обновление параметров метода:

- увеличивается количество итераций: $\text{iter} = \text{iter} + 1$;
- изменяется текущая температура: $T = \alpha \cdot T$;
- изменяется предел *range*: $\text{range} = \text{range} \cdot \frac{\text{iter}_{\max} - \text{iter}}{\text{iter}_{\max}}$.

Шаг 9. Проверка условий на останов. Проверка условий на останов считается успешной, если выполняется хотя бы одно из условий:

- максимальное количество итераций достигнуто: $\text{iter} = \text{iter}_{\max}$;
- текущая температура равна конечной температуре: $T = T_{\text{final}}$;
- ошибка прогнозирования лучшей нейро-фаззи сети находится в допустимых рамках: $\varepsilon_{\text{best}} < \varepsilon^*$.

Если проверка на останов дала успешный результат, тогда выполняется переход на шаг 10, в противном случае – на шаг 3.

Шаг 10. Останов.

Эксперименты и результаты. Для проверки и исследования работоспособности и эффективности разработанного мультиагентного метода параметрического синтеза нейро-фаззи сетей с прямой связью была выполнена программная реализация данного метода. Для выполнения параметрического синтеза нейро-фаззи сети при помощи метода обратного распространения ошибки использовалась библиотека, реализующая его.

Для экспериментов использовалась сеть Сугено, параметры которой настраивались при помощи традиционного метода обратного распространения ошибки, и сеть Мамдани, которая настраивалась с помощью предложенного мультиагентного метода параметрического синтеза нейро-фаззи сетей. Выполнялась аппроксимация следующей двухмерной функции:

$$z = x^2 \cdot \sin(y - 1), \quad x \in [-7; 3], \quad y \in [-4,5; 1,7].$$

График рассматриваемой функции представлен на рис. 1.

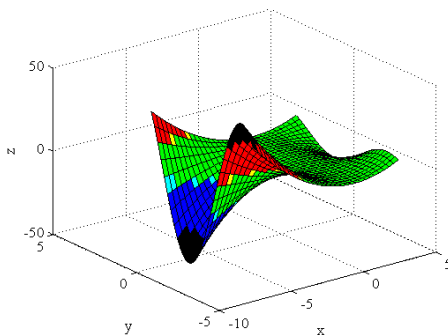


Рис. 1. График функции z

При этом входные и выходные переменные рассматриваются как лингвистические переменные, которые определяются следующими термами-множествами:

- для x и y : низкий, средний, высокий;
- для z : низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий.

Для формализации термов использовалась симметричная гауссовская функция принадлежности. При этом для нейро-фаззи сети типа Мамдани для выходной переменной использовалась эта же функция принадлежности, в то время как для нейро-фаззи сети типа Сугено в связи с ограничениями на её архитектуру использовалась линейная функция принадлежности.

Графики полученных аппроксимирующих зависимостей приведены на рис. 2.

Дисперсии, показывающие различия между тестовой выборкой и значениями целевой функции, рассчитанные на основе полученных нейро-фаззи сетей типа Сугено и Мамдани, составили 0,1388 и 0,0272, соответственно. Следовательно, можно сделать вывод, что в обоих случаях отклонение полученной зависимости от аппроксимируемой зависимости является незначительным, при этом отклонение нейро-фаззи сети типа Мамдани, настроенной с использованием предложенного мультиагентного метода меньше, что свидетельствует об эффективности разработанного мультиагентного метода с прямой связью между агентами для параметрического синтеза нейро-фаззи сетей.

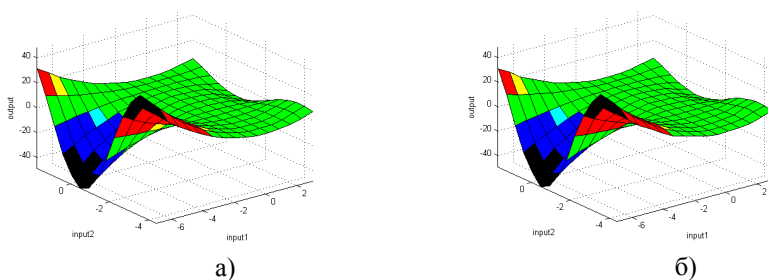


Рис. 2. Графическое представление полученных аппроксимирующих зависимостей для: а) нейро-фаззи сети типа Сугено; б) нейро-фаззи сети типа Мамдани

Представленные графики также подтверждают, что полученные зависимости незначительно отличаются от аппроксимируемой.

Выводы. В работе решена актуальная задача параметрического синтеза нейро-фаззи сетей на основе мультиагентного метода оптимизации с прямой связью между агентами, который эффективно позволяет решать многомерные задачи непрерывной оптимизации. Однако, в связи с большой размерностью решаемой задачи было решено добавить дополнительные процедуры в метод, позволяющие повысить сходимость к лучшему решению, а также позволяющие более детально исследовать пространство поиска.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые предложен мультиагентный метод с прямой связью между агентами, позволяющий выполнять параметрическую идентификацию нейро-фаззи сетей Мамдани и Сугено, что достигается за счёт применения мультиагентного подхода с дополнительными процедурами, позволяющими отбрасывать бесперспективные области поиска и более детально исследовать новые области пространства поиска.

Практическая ценность работы заключается в разработке программного обеспечения, реализующего предложенный метод, и позволяющего осуществлять параметрический синтез нейро-фаззи сетей.

Результаты проведенных экспериментов подтвердили эффективность разработанного мультиагентного метода с прямой связью между агентами для параметрического синтеза нейро-фаззи сетей, поскольку полученные аппроксимирующие зависимости характеризовались точностью, которая была не хуже аппроксимирующих зависимостей, полученных при помощи применения традиционных методов параметрической идентификации нейро-фаззи сетей.

Список литературы: 1. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – № 8. – P. 338–353. 2. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–13. 3. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-Making in Fuzzy Environment // Management Science. – 1970. – № 4. – P. 141–160. 4. Holmblad L.P., Ostergaard J.J. Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic // Fuzzy Information and Decision Processes. – Amsterdam: North-Holland, 1982. – P. 389–400. 5. Jang J.R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665–685. 6. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. – Chichester: John Wiley & Sons, 1997. – 305 p. 7. Beni G., Wang J. Swarm Intelligence // Annual Meeting of the Robotics Society: Proceedings of Seventh International Conference. – Tokyo: RSJ Press, 1989. – P. 425–428. 8. Dorigo M. Optimization, Learning and Natural Algorithms. – Milano: Politecnico di Milano, 1992. – 140 p. 9. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant Colony System: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – № 1 (1). – P. 53–66. 10. Олейник А.А. Сравнительный анализ методов оптимизации на основе метода муравьиных колоний // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць / За ред. Д.М. Пізи, С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. – С. 147–159. 11. Sumpter D.T., Broomhead D.S. Formalising the Link between Worker and Society in Honey Bee Colonies // Lecture Notes In Computer Science: Proceedings of the First International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation. – MABS '98 LNAI, 1998. – P. 95–110. 12. Subbotin S.A., Oleynik A.A. PSO with Control of Velocity Change for Feature Selection // Inductive Modeling: Proceedings of 2nd International Conference ICIM'2008, 2008. – Kyiv, 2008. – P. 81–83. 13. Passino K.M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control // IEEE Control System Magazine, 2002. – № 3 (22). – P. 52–67. 14. De Castro L.N., Von Zuben F.J. Artificial Immune Systems. Part I. Basic Theory And Applications / L. N. De Castro. – Technical Report No. Rt Dea 01/99. – Brazil: Feec/Unicamp, 1999. – 95 p. 15. Chong S.C., Low M.H. A Bee Colony Optimization Algorithm to Job Shop // Winter Simulation Conference: Proceedings of the 38th conference on Winter simulation. – Monterey: Monterey Press, 2006. – P. 1954–1961. 16. Lučić P., Teodorović D. Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence // Transportation Analysis: Proceedings of the Triennial Symposium TRISTAN IV. – Sao Miguel: Azores Press, 2001. – P. 441–445. 17. Teodorović D., Dell'Orco M. Bee Colony Optimization – a Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems // Advanced OR and AI Methods in Transportation: Proceedings of 16th Mini-EURO Conference and 10th Meeting of EWGT. – 2005. – Poznan: Publishing House of the Polish Operational and System Research, 2005. – P. 51–60. 18. Quijano N., Passino K.M. Honey Bee Social Foraging Algorithms for Resource Allocation: Theory and Application. – Columbus: Publishing house of the Ohio State University, 2007. – 39 p. 19. Nakrani S., Tovey C. On Honey Bees and dynamic allocation in an internet server colony // Adaptive Behavior. – 2004. – № 12. – P. 223–240. 20. Passino K.M., Seeley T.D. Modeling and analysis of nest-site selection by honey bee swarms: The speed and accuracy trade-off // Behavioral Ecology and Sociobiology. – 2006. – № 59. – P. 427–442. 21. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. Optimization by simulated annealing // Science. – 1983. – Vol. 220. – P. 671–680. 22. Gen M., Cheng R. Genetic algorithms and engineering design. – New Jersey: John Wiley & Sons, 1997. – 352 p.

УДК 519.7:004.93

Мультиагентний метод параметричного синтезу нейро-фаззі мереж з прямим зв'язком між агентами / Олійник О. О. Субботін С. О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 115 – 127.

Розглянуто завдання параметричної ідентифікації нейро-фаззі мереж, для вирішення якого розроблено мультиагентний метод з прямим зв'язком між агентами з прискореною збіжністю до оптимального рішення та покращеним вивченням простору пошуку. Запропонований метод програмно реалізований та дозволяє виконувати параметричний синтез нейро-фаззі моделей. Проведено експерименти по параметричному синтезу нейро-фаззі мереж, що підтверджують ефективність розробленого методу. Іл.: 2. Бібліогр.: 22 назв.

Ключові слова: мультиагентний метод, нейро-фаззі мережа, нейро-фаззі модель.

UDC 519.7:004.93

The method of neuro-fuzzy network parametrical synthesis based on multiagent approach with direct connections between agents / Oleynik A.A. Subbotin S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 115 – 127.

The problem of neural-fuzzy network parametrical synthesis is considered. The multiagent method based on direct connections between agents with better convergence to optimal solution and more effective exploring of search space is developed. The offered method is programmatic realized and allows to execute the self-reactance synthesis of neural-fuzzy models. Figs: 2. Refs: 22 titles.

Key words: multiagent method, neural-fuzzy network, neural-fuzzy model.

Поступила в редакцію 05.04.2009

А.И. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
Ю.В. МИРГОРОД, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ БИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХОКА

В статье рассмотрена идентификация физиологических квазипериодических сигналов на основе преобразования Хока. Рассмотрена процедура оптимизации метода путем введения расширенной шкалы пороговых значений функции дифференциации расстояния с целью повышения качества идентификации. Проведено тестирование процедуры.

Ключевые слова: физиологические квазипериодические сигналы, преобразование Хока, расширенная шкалы пороговых значений, функция дифференциации расстояния.

Постановка проблемы. В традиционной схеме структурная идентификация физиологических квазипериодических сигналов (ФКС) осуществляется с использованием эвристических алгоритмов. Еще одним подходом в решении задачи структурной идентификации биосигналов является применение неточечного преобразования Хока [1, 2]. В данном методе работа ведется в квантованном пространстве параметров. Однако остается не исследованным подбор оптимальных параметров преобразования Хока. В связи с этим, данная задача является актуальной.

Анализ литературы. В задаче структурной идентификации квазипериодических физиологических сигналов основным недостатком эвристических методов является то, что анализируются амплитудные характеристики сигнала, которые малоинформативны и подвержены влиянию шумов, поэтому приходится использовать другие характеристики (производные, спектр и др.) в качестве дополнительных (а иногда и основных) критериев при построении решающих правил структурной идентификации [3 – 7]. Авторами разработан формализованный метод структурной идентификации ФКС различной природы с помощью преобразования Хока [8]. Также было исследовано влияние шага квантования пространства параметров преобразования Хока на точность распознавания ФКС [9, 10].

Цель статьи – идентификация сигналов методом, основанном на преобразования Хока и оптимизация этого метода.

Применение преобразования Хока к структурной идентификации физиологических сигналов. Для каждого k -го типа структурного элемента выбирается эталон путем задания точек начала и конца интервала S_k наиболее характерного "базового" периода и выполняется автоматическое описание эталона (аппроксимация эталона набором аналитических кривых). Для определения расстояний между объектами в пространстве параметров (Y)

вводится метрика, основанная на методе потенциальных функций, и вычисляется мера близости параметров эталона и анализируемого участка сигнала $D(z_3, z_c)$.

$$D(z_3, z_i) = \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \alpha \sum_{j=1}^K (p_j^{z_3} - p_j^{z_i})^2}}, \quad (1)$$

где $p_j^{z_3}$, $p_j^{z_i}$ – признаки объектов z_3 и z_i (координаты точек в пространстве Y); $\alpha > 0$ – весовой коэффициент, задающий скорость затухания потенциальной функции; K – размерность пространства $Y(P)$. Все полученные значения расстояний сравниваются с порогом T . При выполнении условия

$$D(P_3, P_c) < T \quad (2)$$

считается, что интервал S_k^i содержит структурный элемент k -го типа.

Оптимизация метода. Предложена оптимизация метода с целью повышения качества идентификации, суть которой заключается в применении расширенной шкалы порогов при определении структурных элементов.

После проведения ряда опытов по обработке электрокардиограмм (ЭКГ) рассмотренным методом выяснилось, что функция дифференциации D для таких структурных элементов, как зубцы R , P и T принимает вид, показанный на рис. 1, из которого видно, что D имеет 2 ярко выраженных экстремума: минимум в точке A_1 и максимум в точке A_2 , причем точка A_2 отстоит от A_1 на половину длины L структурного элемента. Наличие минимума A_1 сигнализирует о полном совпадении текущего участка сигнала с эталоном при сканировании сигнала. В точке A_2 , которая соответствует окончанию участка структурного элемента, резко изменяется крутизна склона, кроме того, данная точка может являться вершиной противофазного зубца, например R , который следует за Q .

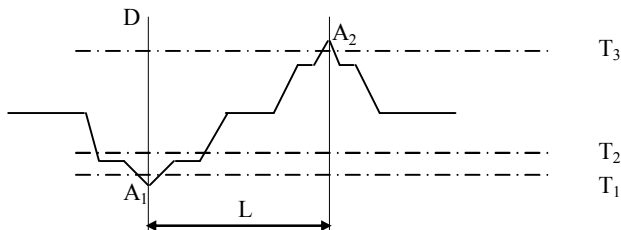


Рис. 1. Общий вид функции дифференциации расстояния

Таким образом точка A_2 на исходном сигнале соответствует началу противофазной составляющей структурного элемента, что соответствует максимуму функции дифференциации расстояния D .

На рис. 1 приведены три граничных уровня: T_1 , T_2 , T_3 и половина длины L структурного элемента. Точка A_1 обозначает полное совпадение текущего структурного элемента с эталоном, а точка A_2 показывает элемент, противоположный эталону. Приведенная модификация эффективна для квазисимметричных структурных элементов.

Были введены следующие решающие правила отнесения структурного элемента к определенному классу.

При выполнении условия

$$D(P_s, P_c) < T_1,$$

считается, что интервал S_k^i содержит структурный элемент k -го типа (рис. 2, на примере комплекса QRS).

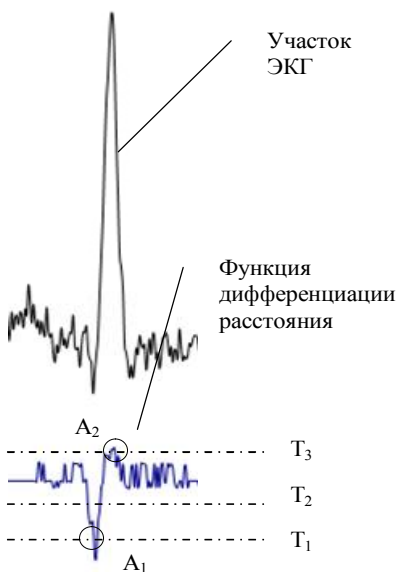


Рис. 2. Участок ЭКГ и функция дифференциации расстояния

Из рис. 2 видно, что функция дифференциации расстояния D пересекает линию порога T_1 , из чего делаем вывод, что текущий участок содержит структурный элемент искомого типа.

В случае, когда функция расстояния не пересекает линию T_1 , но преодолевает пороги T_2 и T_3 :

$$D(P_9, P_c) < T_2 \text{ и } D(P_9, P_{c+L}) > T_3,$$

также считается, что интервал S_k^i содержит структурный элемент k -го типа (рис. 3). В правой части рис. 3 иллюстрируется применение второй части решающего правила отнесения структурного элемента к определенному классу.

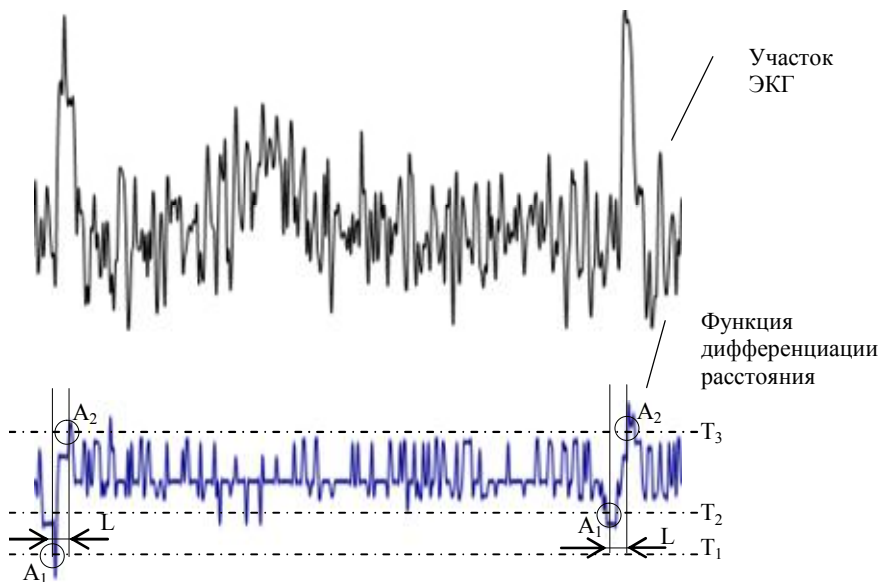


Рис. 3. Участок ЭКГ и функции дифференциации расстояния

Структурные элементы, расстояние от эталона до которых лежит в интервале между T_2 и T_3 не принадлежат к искомому (k -му) типу.

Процентный показатель количества распознанных комплексов QRS при идентификации ЭКГ методом, основанном на преобразовании Хока, равняется 93% [10]. Была протестирована процедура оптимизации метода на реальных ЭКГ, после чего процентный показатель идентифицированных комплексов QRS составил 98%.

Выводы. Предложена процедура оптимизации метода, основанного на преобразовании Хока, для улучшения качества идентификации ФКС путем введения расширенной шкалы пороговых значений функции дифференциации расстояния. Было проведено тестирование процедуры на реальных ЭКГ.

Результаты экспериментов показывают улучшение качества обработки сигналов на 5% (с 93% до 98% правильных распознаваний).

Список литературы: 1. *Hough P.* Method and means for recognizing complex patterns // US Patent № 3069654, Dec. 18, 1962. 2. *Duda R., Hart P.* Use of the Hough Transformation to detect lines and curves in pictures // *Communs. ACM*-1972. – Vol. 15. – № 1. – P. 11–15. 3. *Вайнштейн Г.Г., Москвина Е.А., Белов Д.А.* Идентификация графических объектов на основе преобразования к пространству параметров // *Машинная диагностика и информационный поиск в медицине*. – М.: Наука, 1986. – С. 98–108. 4. *Поворознюк А.И., Филатова А.Е.* Преобразование пространства признаков при идентификации структурных элементов квазипериодических сигналов // *Компьютерное моделирование: Сборник научных трудов*. – Белгород: БелГТАМС, 1998. – С. 33–39. 5. *Поворознюк А.И., Филатова А.Е.* Оптимизация пространства признаков при структурной идентификации квазипериодических сигналов // *Информационные системы: Сборник научных трудов*. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1998. – Вып. 1 (9). – С. 112–115. 6. *Поворознюк А.И., Филатова А.Е.* Выбор метрики пространства признаков в задаче структурной идентификации квазипериодических сигналов // *Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харківського державного політехнічного університету: Збірка наукових праць*. – Випуск 99. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 138–141. 7. *Поворознюк А.И., Филатова А.Е.* Оценка качества распознавания структурных элементов квазипериодических сигналов // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – Х.: 2000. – № 6 (27). – С. 53–55. 8. *Поворознюк А.И.* Применение преобразования Хока для структурной идентификации физиологических сигналов // *Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці*. – К.: ІПМЕ, 2003. – Вип. – 22 – С. 143–149. 9. *Поворознюк А.И., Дашкина А.В.* Исследование влияния шага квантования пространства признаков на качество структурной идентификации квазипериодических сигналов // *Вестник НТУ "ХПИ"* – Х.: НТУ "ХПИ". – 2006. – Вып. 23. – С. 170–173. 10. *Миргород Ю.В., Поворознюк А.И.* Исследование параметров преобразования Хока при структурной идентификации квазипериодических биосигналов // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2007. – Том 6. – № 1. – С. 62–66.

УДК 621.318

Оптимізація методу ідентифікації біосигналів на основі перетворення Хоку / Поворознюк А.І., Миргород Ю.В. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 128 – 132.

У статті розглянута ідентифікація фізіологічних квазіперіодичних сигналів на основі перетворення Хоку. Розглянуто процедуру оптимізації методу шляхом уведення розширеної шкали порогових значень функції диференціації відстані з метою підвищення якості ідентифікації. Л.: 3. Бібл. 10 назв.

Ключові слова: фізіологічні квазіперіодичні сигнали, перетворення Хоку, розширена шкала порогових значень, функція диференціації відстані.

UDC 621.318

Biosignals identification method based on Hough transformation optimization / Povoroznyuk A.I., Myrgorod Y.V. // *Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling*. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 128 – 132.

Physiological quasi-periodic signals identification based on Hough transformation is given. A method optimization procedure is described. The procedure deploys the expanded scale of the distance differentiating function in order to increase improve the identification quality. The procedure testing was held. Figs: 3. Refs: 10 titles.

Key words: physiological quasi-periodic signals, Hough transformation, expanded scale of the distance differentiating function, distance differentiating function.

Поступила в редакцію 05.04.2009

О.А. РЕМАЕВА, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков),
Т.Е. РЕМАЕВА, аспирант ХНУРЭ (г. Харьков),
Е.В. ВЫСОЦКАЯ, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ (г. Харьков),
В.Н. ЛАЩЕНОВА, стажер-исследователь ХНУРЭ (г. Харьков)

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА В ПРОИЗВОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

В статье рассмотрены математические модели лесных пожаров и проанализированы факторы, влияющие на скорость их распространения. Приведены расчеты основных геометрических характеристик при распространении пожара в произвольном направлении. Прогнозирование лесных пожаров позволит принимать превентивные организационные и технические меры для уменьшения риска пожара, материальных и людских потерь.

Ключевые слова: лесной пожар, математическая модель, геометрические характеристики распространения пожара.

Постановка проблемы. Исследования загрязнений окружающей среды и контроль антропогенных и природных объектов и явлений, представляющих непосредственную или потенциальную опасность для биологических систем и среды обитания, в настоящее время приобрели важное социальное и государственное значение. Наиболее опасными для человечества являются космические и техногенные катастрофы, в результате которых возникают массовые крупномасштабные пожары. Пожары наносят существенный вред окружающей среде: прерывается естественный процесс лесо- и почвообразования; гибнут целые массивы древесных пород, что может привести к существенным климатическим изменениям; продукты горения загрязняют речные воды; происходит радиоактивное загрязнение территорий в результате переноса радионуклидов продуктами горения. Наибольшее по масштабам негативное влияние на окружающую среду имеют лесные и степные пожары. Факторы влияния таких пожаров на окружающую среду весьма разнообразны и носят различный физический характер. В связи с вышеперечисленным, изучение лесных пожаров является важной и актуальной задачей. Экспериментальное изучение лесного пожара является дорогостоящим, при этом не представляется возможным проводить полное физическое моделирование, поэтому большой интерес представляют теоретические методы исследования.

Анализ литературы. На сегодняшний день существует большое количество работ по моделированию лесных пожаров. Одни из них основаны на физике горения, другие – на статистических данных о реальных пожарах. Все математические модели лесных пожаров согласно Веберу условно можно разделить на: эмпирические (или статистические), полумпирические и

физические. Успешность применения статистических моделей ограничена условиями, подобными тем, при которых происходили реальные пожары. Следует отметить канадскую, австралийскую методики оценки пожарной безопасности. Их достоинствами является простота и достаточно хорошее качество прогноза, но в пределах территории, по которой проводился статистический анализ лесных пожаров. Отсутствие физической основы подчеркивает изначальную неадекватность эмпирических моделей: они не могут быть экстраполированы за пределы тех условий, для которых были сформулированы [1].

Модель Байрама, экспериментально-теоритическая по своему подходу, также основана на измерениях, сделанных при экспериментальных пожарах в реальных лесных условиях. Она определяет соотношение между длиной пламени, долей расходуемого горючего и теплотой сгорания. Недостатком модели, является то, что в состав входных переменных включены составляющие, которые могут быть измерены только в процессе горения, например, длина пламени.

Модель Ван Вагнера основана на концепции, что радиация пламени – важнейший из факторов в механизме распространения огня. Ее основными входными параметрами являются длина пламени, запас горючего на единице площади, интенсивность радиации, испускаемой пламенем, доля радиации, поглощаемая горючим, влажность горючего и угол наклона пламени к слою горючего. В этой модели, как и в предыдущей, часть входных переменных не может быть измерена. Математические модели скорости распространения огня Э.В. Конева и А.И. Сухина отображают механизм теплообмена при горении некоторых растительных материалов [2 – 5].

Анализ существующих физических моделей пожара [6] показал, что в настоящее время много сделано в направлении изучения физических основ горения при лесных пожарах. Физические модели универсальны, так как учитывают любые природные условия, влияние антропогенной нагрузки, позволяют описать процессы тепло- и массообмена, фазовые и химические превращения при горении, а также движение газовых потоков, вызванных этими процессами. Однако на практике они используются редко, поскольку требуют большого количества разнородных исходных данных и сложны для расчетов.

Полуэмпирические модели комбинируют методики статистики и физического моделирования. Эти модели характеризуются тем, что они постулируют тепловой поток и тепло, необходимое для зажигания, без строгого рассмотрения, как режима передачи тепла, так и механизма поглощения тепла (теплопередача, конвекция или излучение). Различные константы, отвечающие за изменение теплового потока и поглощение, обычно определяются экспериментально.

Наиболее важная полуэмпирическая модель была создана Ротермелом, и положена в основу многих систем прогноза в США и в других странах. Модель была разработана для предсказания скорости распространения огня во фронте пожара в зависимости от лесного горючего материала, погоды и особенностей рельефа. Несмотря на отдельные критические замечания, модель Ротермела

следует признать одной из наиболее удачных экспериментально-аналитических моделей, предназначенных для расчета скорости распространения огня по лесным горючим материалам. Модель Ротермела имеет определенные преимущества по сравнению с иными моделями: небольшое количество входных данных, реальная возможность измерения входных параметров, сравнительная простота расчетов, универсальность использования модели, наглядность полученных результатов [7]. Кроме того, модель Р. Ротермела была включена в Национальную систему определения пожарной безопасности США, где прошла проверку в течение многих лет. А высокая точность и универсальность модели делает ее важным инструментом при решении многих прикладных задач.

Исходным предположением этой модели является допущение о том, что скорость распространения пламени пропорциональна отношению энергии, выделяемой при сгорании, к энергии, требуемой для нагрева новых порций горючего материала до температуры воспламенения. Однако модель Ротермела позволяет рассчитывать величину скорости распространения пламени только в направлении ветра.

Целью работы является оценка основных геометрических характеристик распространения пожара в произвольном направлении.

Оценка основных геометрических характеристик пожара. Для моделирования распространения пламени в произвольном направлении будем использовать индикатрису ветра

$$\chi(\alpha, \omega) = \frac{\exp[a(\omega) \cdot (\cos \alpha - 1)]}{\sqrt{1 + a^2(\omega) \cdot \sin^2 \alpha \cdot (\cos \alpha - 1)^2}}, \quad (1)$$

где α – угол между направлениями ветра и нормалью контура пожара;

ω – скорость ветра;

$$a(\omega) = 0.785 \cdot \omega - 0.106 \cdot \omega^2.$$

Индикатрисса ветра $\chi(\alpha, \omega)$ обладает следующими свойствами [8]:

- 1) $\chi(\alpha, \omega) = 1$ при $\alpha = 0$;
- 2) $\chi(\alpha, \omega) < 1$ при $\omega > 0, \alpha \neq 0$;
- 3) $\chi(\alpha, \omega) = \chi(-\alpha, \omega)$ при $0 \leq \alpha \leq \pi$;
- 4) $\chi(\alpha, \omega) = 1$ при $-\pi \leq \alpha \leq \pi$.

При аналитическом подходе к моделированию контура пожара кромка пожара рассматривается как изотерма, соответствующая характерной температуре горения. Уравнения контура пожара для различных моментов времени t в декартовых координатах можно представить в виде

$$\begin{aligned}
x(\alpha, t) &= R_0 \cos \alpha + vt[\chi_n(\alpha, \omega) \cos \alpha - \frac{\partial \chi(\alpha, \omega)}{\partial \alpha} \sin \alpha]; \\
y(\alpha, t) &= R_0 \sin \alpha + vt[\chi_n(\alpha, \omega) \sin \alpha + \frac{\partial \chi(\alpha, \omega)}{\partial \alpha} \cos \alpha],
\end{aligned} \tag{2}$$

где R_0 – начальный радиус очага возгорания;

v – скорость распространения пожара.

Длина контура пожара $L(t)$, развивающегося из кругового очага радиуса R_0

$$L(t) = 2 \int_0^t \int_0^\pi \sqrt{(R_0 + v \cdot \chi(\alpha, \omega) \cdot t)^2 + (v \cdot t \cdot \frac{\partial \chi(\alpha, \omega)}{\partial \alpha})^2} d\alpha dt, \tag{3}$$

откуда для точечного начального очага ($R_0 = 0$), получим

$$L(t) = 2v \cdot t \int_0^\pi \sqrt{\chi_n^2(\alpha, \omega) + \left(\frac{\partial \chi_n(\alpha, \omega)}{\partial \alpha}\right)^2} d\alpha. \tag{4}$$

Соответственно площадь $S(t)$, пройденная пожаром на момент времени t определяется как

$$S(t) = vt \int_0^\pi \chi_n^2(\alpha, \omega) \cdot \sqrt{[R_0 + v \cdot \chi_n(\alpha, \omega) \cdot t]^2 + [v \cdot t \cdot \frac{\partial \chi_n(\alpha, \omega)}{\partial \alpha}]^2} d\alpha, \tag{5}$$

а при $R_0 = 0$

$$S(t) = v^2 t^2 \int_0^\pi \frac{\chi_n^2(\alpha, \omega)}{1 + a^2(\omega) \cdot \sin^2 \alpha (\cos^2 \alpha - 1)} d\alpha. \tag{6}$$

Площадь, занимаемая непосредственно кромкой горениям $S_l(t)$, вычисляется путем интегрирования по контуру пожара

$$S_l(t) = \int_{L(t)} x(l) dl, \tag{7}$$

где $x(l)$ – ширина кромки горения на локальном участке.

Таким образом, на основе зависимостей (3) – (7) можно оценить основные геометрические характеристики пожаров в зависимости от времени его существования.

Выводы. Моделирование лесных пожаров позволяет определить предельные условия их распространения, при реализации которых горение прекращается. Знание этих условий позволяет разрабатывать новые

технологии борьбы с лесными пожарами, то есть предопределяет технический прогресс в области охраны и защиты леса от пожаров.

Прогноз изменения во времени геометрии лесного пожара необходим для разработки и реализации плана борьбы с лесными пожарами. При этом основными потребителями результатов расчетов являются руководители предприятий лесного хозяйства и баз авиационной охраны лесов.

Прогнозирование лесных пожаров позволит принимать превентивные организационные и технические меры для уменьшения риска пожара, материальных и людских потерь, а также избежать катастрофических последствий для большинства охраняемых объектов.

Список литературы: 1. Гвоздь В.М. Алгоритм прогнозирования опасных факторов пожара // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. трудов. – Харьков: ХГУВВ, 2001. – С. 10–14. 2. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров // Вестник ХГТУ. – 2003. – № 2 (18). – С. 160–164. 3. Кулешов А.А., Тишкин В.Ф. Математическая модель лесных пожаров // Математическое моделирование и проблемы экологической безопасности. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 2000. – С. 137–142. 4. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1992. – 408 с. 5. Самарский А.А., Михайло А.П. Математическое моделирование. – М.: Физматлит, 2001. – 346 с. 6. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1981. – 277 с. 7. Харченко І. Розвиток методології досліджень і випробувань у сфері пожежної безпеки // Пожежна безпека. – 2003. – № 1. – С. 9–11. 8. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 161 с.

УДК 681.3:007.52

Оцінка основних геометричних характеристик розповсюдження пожежі у довільному напрямку / Ремасва О.О., Ремасва Т.Є., Висоцька О.В., Лашонова В.Н. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 133 – 137.

У статті розглянуті математичні моделі лісних пожеж та проаналізовані фактори, які впливають на швидкість розповсюдження лісних пожеж. Приведені розрахунки основних геометричних характеристик при поширенні пожежі в довільному напрямі. Прогнозування лісних пожеж дозволить вживати превентивні організаційні та технічні заходи для зменшення ризику пожеж, матеріальних та людських втрат. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: лісна пожежа, математична модель, геометричні характеристики при поширенні пожежі.

UDC 681.3:007.52

Estimation of basic geometrical descriptions of fire distribution / O.A. Remaeva, T.E. Remaeva, E.V. Visotskay, V.N. Lachenova. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 133 – 137.

In the article are considered mathematical models of forest fires and analysed factors which influence on speed of distribution of forest fires. The resulted calculations of basic geometrical descriptions are at distribution of fire in arbitrary direction. Prognostication of forest fires will allow taking preventive organizational and technical measures for diminishing of fires material risk and human losses. Refs: 8 titles

Keywords: forest fire, mathematical model, geometrical descriptions of fire distribution.

Поступила в редакцию 29.04.2009

В.В. РОМАНИЮК, канд. техн. наук, доц. ХНУ (г. Хмельницкий)

РАЗРЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЬ – ДОБЫЧА ДЛЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ДОБЫЧИ ПРЕСЛЕДОВАТЕЛЕМ

Для определённого на полуоткрытом интервале параметра решена система преследователь – добыча, представленная в форме антагонистической игры, которая определяется на единичном квадрате. Для больших значений этого параметра должен быть применён разработанный программный модуль, который возвращает приближённое решение с большой точностью.

Ключевые слова: антагонистическая игра, единичный квадрат, программный модуль, приближённое решение.

Постановка проблемы и анализ источников. Имеется первая сторона, стреляющая по цели, которая маневрирует с некоторой перегрузкой y . Для стрельбы по цели используется устройство со своей перегрузкой x , которая основывается на гипотезе о передвижении цели. Пусть, нормируя эти перегрузки, они будут $x \in [0; 1]$ и $y \in [0; 1]$. Задача первой стороны, в дальнейшем называемой преследователь, состоит в поражении оппонента, в дальнейшем называемого добычей. А задача добычи – оставаться непоражённой. Это – известная антагонистическая игра [1, с. 62 – 66], в которой ядром является вероятность

$$P(x, y) = \exp[-\alpha(x - y)^2] \quad (1)$$

поражения добычи, определённая на единичном квадрате $D_p = [0; 1] \times [0; 1]$ при некотором параметре $\alpha > 0$ [2, 3]. Хотя и существует несколько определённых решений [4, 5] для этой игры, дающихся для фиксированных значений параметра α [1, с. 64 — 66], суть задачи состоит в том, чтобы разрешить эту конфликтную систему для любого $\alpha > 0$. Предстоящее решение должно содержать конкретные реальные чистые стратегии и вероятности их выбора, если только игра не решается в чистых стратегиях [6, 7].

Целью статьи является получение решения антагонистической игры с ядром (1) аналитическим путём для как можно большего диапазона параметра α , а остальная часть диапазона должна быть решена численно. Решение антагонистической игры должно быть оформлено в программном модуле для быстрого визуализированного представления оптимального поведения преследователя и добычи.

Основная часть. Целесообразно проверить, является ли изложенная игра с ядром (1) выпуклой или вогнутой. Это поможет решить её с помощью

известного алгоритма для выпукло-вогнутых игр [8]. Первой производной функции (1) по переменной x является

$$\frac{\partial P(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \right) = -2\alpha (x - y) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \quad (2)$$

и её второй производной является

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P(x, y)}{\partial x^2} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(-2\alpha (x - y) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \right) = \\ &= -2\alpha \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] + 4\alpha^2 (x - y)^2 \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] = \\ &= 2\alpha \left(2\alpha (x - y)^2 - 1 \right) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Условие вогнутости $\frac{\partial^2 P(x, y)}{\partial x^2} \leq 0$ должно быть соблюдено $\forall x \in [0; 1]$ и $\forall y \in [0; 1]$. Поскольку имеется тройное неравенство

$$0 < \exp(-\alpha) \leq \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \leq 1, \quad (4)$$

то неравенство

$$2\alpha \left(2\alpha (x - y)^2 - 1 \right) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \leq 0 \quad (5)$$

идентично неравенству

$$2\alpha (x - y)^2 - 1 \leq 0, \quad (6)$$

откуда, помня про очевидный множитель $(x - y)^2 \in [0; 1]$, параметр $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2} \right]$

определяет вогнутость антагонистической игры с ядром (1).

Продолжая, теперь выясним, является ли эта игра выпуклой или нет. Первой производной функции (1) по переменной y является

$$\frac{\partial P(x, y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \right) = 2\alpha (x - y) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \quad (7)$$

и её вторая производная

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 P(x, y)}{\partial y^2} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(2\alpha (x - y) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \right) = \\ &= -2\alpha \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] + 4\alpha^2 (x - y)^2 \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] = \\ &= 2\alpha \left(2\alpha (x - y)^2 - 1 \right) \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

оказывается тождественной второй производной (3) функции (1) по переменной x . Тогда условие выпуклости

$$2\alpha (x - y)^2 - 1 \geq 0 \quad (9)$$

является невыполнимым для любого $\alpha > 0$, поскольку оно нарушается уже при $x = y$.

Принимая параметр $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ после соотношений (2) – (9), минимумом поверхности (1) как функции переменной y на сегменте $[0; 1]$ является

$$\begin{aligned} \min_{y \in [0; 1]} P(x, y) &= \min_{y \in [0; 1]} \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] = \\ &= P(x, 1) = \exp \left[-\alpha (x - 1)^2 \right] \quad \forall x \in \left[0; \frac{1}{2}\right] \end{aligned} \quad (10)$$

и

$$\begin{aligned} \min_{y \in [0; 1]} P(x, y) &= \min_{y \in [0; 1]} \exp \left[-\alpha (x - y)^2 \right] = \\ &= P(x, 0) = \exp \left(-\alpha x^2 \right) \quad \forall x \in \left[\frac{1}{2}; 1\right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Оптимальное значение игры

$$\begin{aligned} v_{\text{opt}} &= \max_{x \in [0; 1]} \min_{y \in [0; 1]} P(x, y) = \max \left\{ \max_{x \in [0; \frac{1}{2}]} P(x, 1), \max_{x \in [\frac{1}{2}; 1]} P(x, 0) \right\} = \\ &= \max \left\{ \max_{x \in [0; \frac{1}{2}]} \left(\exp \left[-\alpha (x - 1)^2 \right] \right), \max_{x \in [\frac{1}{2}; 1]} \left(\exp \left(-\alpha x^2 \right) \right) \right\} = \\ &= \exp \left(-\alpha \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right) = \exp \left(-\frac{\alpha}{4} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

достигается на оптимальной чистой стратегии $x_{\text{opt}} = \frac{1}{2}$ первого игрока.

Существенные чистые стратегии второго игрока являются корнями стандартного уравнения

$$\begin{aligned} v_{\text{opt}} &= \exp \left(-\frac{\alpha}{4} \right) = P(x_{\text{opt}}, y) = \exp \left[-\alpha (x_{\text{opt}} - y)^2 \right] = \\ &= P \left(\frac{1}{2}, y \right) = \exp \left[-\alpha \left(\frac{1}{2} - y \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Далее, так как $-\frac{\alpha}{4} = -\frac{\alpha}{4} + \alpha y - \alpha y^2$ и $y(1 - y) = 0$, то корнями уравнения (13) являются $y = y_1 = 0$ и $y = y_2 = 1$.

Далее, пусть $\varphi(y)$ будет оптимальной вероятностью выбора чистой

стратегии y вторым игроком. Тогда оптимальная вероятность выбора чистой стратегии $y_1 = 0$ определяется из нестрогого неравенства

$$\begin{aligned}
 & P(x, y_1)\varphi(y_1) + P(x, y_2)\varphi(y_2) = \\
 & = P(x, y_1)\varphi(y_1) + P(x, y_2)[1 - \varphi(y_1)] = \\
 & = P(x, 0)\varphi(0) + P(x, 1)[1 - \varphi(0)] = \\
 & = \varphi(0)\exp(-\alpha x^2) + [1 - \varphi(0)]\exp[-\alpha(x-1)^2] \leq \quad (14) \\
 & \leq P(x_{\text{opt}}, y_1)\varphi(y_1) + P(x_{\text{opt}}, y_2)\varphi(y_2) = \\
 & = P(x_{\text{opt}}, y_1)\varphi(y_1) + P(x_{\text{opt}}, y_2)[1 - \varphi(y_1)] = \\
 & = \varphi(0)\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) + [1 - \varphi(0)]\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) = \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) = v_{\text{opt}}
 \end{aligned}$$

при $x \neq x_{\text{opt}} = \frac{1}{2}$, где использовано концепцию седловой точки с условием $\varphi(y_1) + \varphi(y_2) = 1$ [9]. Согласно (14) справедливо следующее неравенство

$$\varphi(0)\left(\exp(-\alpha x^2) - \exp[-\alpha(x-1)^2]\right) \leq \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp[-\alpha(x-1)^2], \quad (15)$$

чьи компоненты должны быть оценены для $x \in \left[0; \frac{1}{2}\right)$ и $x \in \left(\frac{1}{2}; 1\right]$ при выполнении соотношений (10), (11).

Легко видеть (рис. 1), что имеет место соотношение

$$\exp(-\alpha x^2) > \exp[-\alpha(x-1)^2] \quad (16)$$

$\forall x \in \left[0; \frac{1}{2}\right)$ и это даёт

$$\varphi(0) \leq \frac{\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp[-\alpha(x-1)^2]}{\exp(-\alpha x^2) - \exp[-\alpha(x-1)^2]}. \quad (17)$$

Отношение в правой части неравенства (17) является монотонно убывающей кривой при любых фиксированных $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ и $\forall x \in \left[0; \frac{1}{2}\right)$.

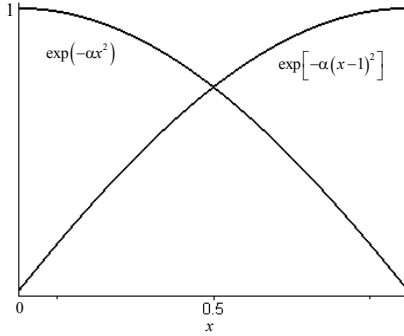


Рис. 1. Соотношение между двумя экспонентами в левой части неравенства (15)

Однако предел

$$\begin{aligned}
 & \lim_{\substack{x \rightarrow \frac{1}{2} - \varepsilon \\ \varepsilon > 0}} \left(\frac{\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp\left[-\alpha(x-1)^2\right]}{\exp(-\alpha x^2) - \exp\left[-\alpha(x-1)^2\right]} \right) = \\
 & = \lim_{\substack{x \rightarrow \frac{1}{2} - \varepsilon \\ \varepsilon > 0}} \left(\frac{\frac{\partial}{\partial x} \left(\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp\left[-\alpha(x-1)^2\right] \right)}{\frac{\partial}{\partial x} \left(\exp(-\alpha x^2) - \exp\left[-\alpha(x-1)^2\right] \right)} \right) = \\
 & = \lim_{\substack{x \rightarrow \frac{1}{2} - \varepsilon \\ \varepsilon > 0}} \left(\frac{2\alpha(x-1)\exp\left[-\alpha(x-1)^2\right]}{-2\alpha x \exp(-\alpha x^2) + 2\alpha(x-1)\exp\left[-\alpha(x-1)^2\right]} \right) = \\
 & = \lim_{\substack{x \rightarrow \frac{1}{2} - \varepsilon \\ \varepsilon > 0}} \left(\frac{-\alpha \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right)}{-\alpha \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \alpha \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right)} \right) = \frac{1}{2}
 \end{aligned} \tag{18}$$

показывает, что $\forall x \in \left[0; \frac{1}{2}\right)$ оптимальная вероятность выбора чистой стратегии $y_1 = 0$ удовлетворяет условию

$$\varphi(0) \in \left[0; \frac{1}{2}\right] = \Phi_1. \tag{19}$$

Принимая $x \in \left(\frac{1}{2}; 1\right]$, из соотношения (15) с помощью

$$\exp(-\alpha x^2) < \exp[-\alpha(x-1)^2] \quad (20)$$

приходим к неравенству

$$\varphi(0) \geq \frac{\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp[-\alpha(x-1)^2]}{\exp(-\alpha x^2) - \exp[-\alpha(x-1)^2]}. \quad (21)$$

Отношение в правой части неравенства (21) является монотонно убывающей кривой при любых фиксированных $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ и $\forall x \in \left(\frac{1}{2}; 1\right]$. Однако предел

$$\lim_{\substack{x \rightarrow \frac{1}{2} + \varepsilon \\ \varepsilon > 0}} \left(\frac{\exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right) - \exp[-\alpha(x-1)^2]}{\exp(-\alpha x^2) - \exp[-\alpha(x-1)^2]} \right) = \frac{1}{2} \quad (22)$$

показывает, что $\forall x \in \left(\frac{1}{2}; 1\right]$ оптимальная вероятность выбора чистой стратегии $y_1 = 0$ удовлетворяет условию

$$\varphi(0) \in \left[\frac{1}{2}; 1\right] = \Phi_2. \quad (23)$$

Следовательно, оптимальной вероятностью выбора чистой стратегии $y_1 = 0$ является

$$\varphi(0) \in \Phi_1 \cap \Phi_2 = \left[0; \frac{1}{2}\right] \cap \left[\frac{1}{2}; 1\right] = \left\{\frac{1}{2}\right\}. \quad (24)$$

Значит, оптимальной вероятностью выбора чистой стратегии $y_2 = 1$ является

$\varphi(1) = \frac{1}{2}$. Тогда игра с определённым на единичном квадрате $D_p = [0; 1] \times [0; 1]$

ядром (1) и параметром $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ решается с помощью единственной

оптимальной чистой стратегии первого игрока $x_{\text{опт}} = \frac{1}{2}$ и единственной оптимальной смешанной стратегии второго игрока, которая состоит в равновероятном выборе двух чистых стратегий $y_1 = 0$ и $y_2 = 1$. Такая

ситуация равновесия даёт оптимальное значение игры $v_{\text{opt}} = \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right)$. И при этой конфигурации системы преследователь – добыча вероятность поражения добычи достаточно велика, поскольку даже в наихудшем случае, то есть при $\alpha = \frac{1}{2}$, вероятность поражения равна $v_{\text{opt}} = \exp\left(-\frac{1}{8}\right) \approx 0.8825$.

Однако этот параметр $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ является характеристикой высокотехнологичного оснащения преследователя. Таким образом, случай $\alpha > \frac{1}{2}$ должен быть тщательно исследован, как и предыдущий. Точных аналитических методов для решения систем преследователь – добыча такой конфигурации не известно. Поэтому для получения решения может быть применено программное обеспечение MATLAB для численных вычислений. Изображённый на рис. 2 программный модуль "ppsr" (Persecutor – Prey System Resolution) берёт единственную входную переменную α и возвращает результат как решение игры с определённым на единичном квадрате $D_p = [0; 1] \times [0; 1]$ ядром (1).

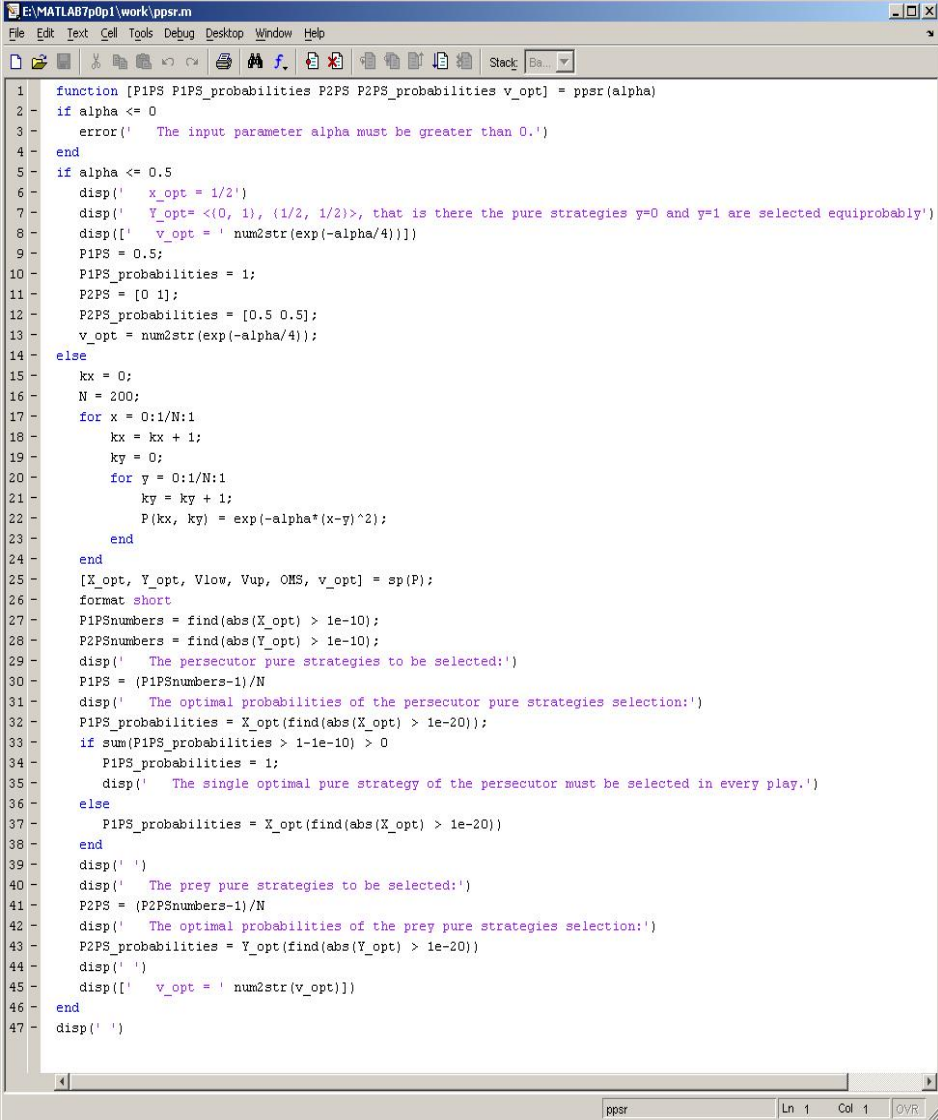
Если $\alpha = \frac{3}{4}$, то решение почти такое же, как и для случаев с $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ (рис. 3).

В принципе, проведённые исследования говорят о том, что для $\alpha \in (0; 2]$ решение остаётся примерно стабильным. Некоторое незначительное отклонение от равновероятного выбора чистых стратегий $y_1 = 0$ и $y_2 = 1$ наблюдается вследствие конечной точности вычислений, которые главным образом проходят в программном submodule "sp", принимающем ядро в матричной форме и возвращающем полное решение игры (рис. 4).

Тем не менее, единственная оптимальная чистая стратегия преследователя $x_{\text{opt}} = \frac{1}{2}$ определённо остаётся для $\alpha \in (0; 2]$. И лишь при $\alpha > 2$ количество чистых стратегий игроков, выбираемых с ненулевыми оптимальными вероятностями, начинает возрастать (табл.).

Изложенные выше результаты показывают, что при $\alpha = 3$ у преследователя появляются две чистые стратегии $x_1 = 0.03$ и $x_2 = 0.97$ с равновероятным выбором. При $\alpha = 4$ уже оба игрока обладают тремя чистыми стратегиями для их вероятностного выбора (рис. 5). Симметризация трёх чистых стратегий и вероятностей их выбора при $\alpha = 8$ позволяет реализовывать их сравнительно легко, подобно случаям с $\alpha = 3$ или $\alpha = 4$. Однако появление пяти чистых стратегий для их вероятностного выбора при

$\alpha=11$, и, сверх того, симметризация шести чистых стратегий для их вероятностного выбора при $\alpha = 20$, а также появление семи чистых стратегий для их вероятностного выбора при $\alpha = 28$, ставят более сложную задачу их практической реализации.



```

1 function [P1PS P1PS_probabilities P2PS P2PS_probabilities v_opt] = ppsr(alpha)
2
3 if alpha <= 0
4     error(' The input parameter alpha must be greater than 0.')
5 end
6
7 if alpha <= 0.5
8     disp(' x_opt = 1/2')
9     disp(' Y_opt = <0, 1>, (1/2, 1/2)>, that is there the pure strategies y=0 and y=1 are selected equiprobably')
10    disp([' v_opt = ' num2str(exp(-alpha/4))])
11    P1PS = 0.5;
12    P1PS_probabilities = 1;
13    P2PS = [0 1];
14    P2PS_probabilities = [0.5 0.5];
15    v_opt = num2str(exp(-alpha/4));
16 else
17     kx = 0;
18     N = 200;
19     for x = 0:1/N:1
20         kx = kx + 1;
21         ky = 0;
22         for y = 0:1/N:1
23             ky = ky + 1;
24             P(kx, ky) = exp(-alpha*(x-y)^2);
25         end
26     end
27
28 [X_opt, Y_opt, Vlow, Vup, OMS, v_opt] = sp(P);
29 format short
30 P1PSnumbers = find(abs(X_opt) > 1e-10);
31 P2PSnumbers = find(abs(Y_opt) > 1e-10);
32 disp(' The persecutor pure strategies to be selected:')
33 P1PS = (P1PSnumbers-1)/N
34 disp(' The optimal probabilities of the persecutor pure strategies selection:')
35 P1PS_probabilities = X_opt(find(abs(X_opt) > 1e-20));
36 if sum(P1PS_probabilities > 1-1e-10) > 0
37     P1PS_probabilities = 1;
38     disp(' The single optimal pure strategy of the persecutor must be selected in every play.')
39 else
40     P1PS_probabilities = X_opt(find(abs(X_opt) > 1e-20))
41 end
42 disp(' ')
43 disp(' The prey pure strategies to be selected:')
44 P2PS = (P2PSnumbers-1)/N
45 disp(' The optimal probabilities of the prey pure strategies selection:')
46 P2PS_probabilities = Y_opt(find(abs(Y_opt) > 1e-20))
47 disp(' ')
48 disp([' v_opt = ' num2str(v_opt)])
49 end
50 disp(' ')

```

Рис. 2. Код программного модуля "ppsr" в MATLAB M-file Editor

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: E:\MATLAB7p0p1\work

>> [P1PS P1PS_probabilities P2PS P2PS_probabilities v_opt] = ppsr(3/4);
The persecutor pure strategies to be selected:

P1PS =
    0.5000

The optimal probabilities of the persecutor pure strategies selection:
The single optimal pure strategy of the persecutor must be selected in every play.

The prey pure strategies to be selected:

P2PS =
     0     1

The optimal probabilities of the prey pure strategies selection:
P2PS_probabilities =
    0.5016    0.4984

v_opt = 0.82903

```

Рис. 3. Решение системы преследователь – добыча для $\alpha = 0.75$

```

E:\MATLAB7p0p1\work\sp.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack

1 function [Sopt, Hopt, Vlow1, Vup1, CMS, Vopt] = sp(P)
2 % This function finds the low and up values of the game, and, if saddle points exist, determines the optimal
3 % strategies for players. The input for this function is a payoff matrix.
4 format rat, disp(' '), disp(' Payoff matrix='), disp(' '), disp(num2str(P, 2))
5 disp(' '), [lines columns]=size(P); [VlowColumns VlowColumnsIndices]=min(P,[],2);
6 [Vlow1 VlowIndices]=max(VlowColumns); [VupLines VupLinesIndices]=max(P,[],1);
7 [Vup1 VupIndices]=min(VupLines); k=0; l=0;
8 for line=1:lines
9     if Vlow1==VlowColumns(line)
10        k=k+1;
11        VlowIndices(k,:)=[line VlowColumnsIndices(line)];
12        for column=VlowColumnsIndices(line)+1:columns
13            if Vlow1==P(line,column)
14                k=k+1;
15                VlowIndices(k,:)=[line column];
16            end
17        end
18    end
19 end
20 for column=1:columns
21     if Vup1==VupLines(column)
22        l=l+1;
23        VupIndices(l,:)=[VupLinesIndices(column) column];
24        for line=VupLinesIndices(column)+1:lines
25            if Vup1==P(line,column)
26                l=l+1;
27                VupIndices(l,:)=[line column];
28            end
29        end
30    end
31 end
32 if ~isempty(intersect(VlowIndices,VupIndices,'rows'))
33     %

```

Рис. 4. Код программного субмодуля “sp” в MATLAB M-file Editor

Таблица

Некоторые из возвращённых результатов модуля "ppsr" как решение рассматриваемой игры при фиксированном параметре α

Параметр α	Выбираемые преследователем чистые стратегии	Оптимальные вероятности выбора чистых стратегий преследователя	Выбираемые добычей чистые стратегии	Оптимальные вероятности выбора чистых стратегий добычи	Оптимальное значение игры
$\alpha = 3$	0.0700 0.9300	0.5000 0.5000	0 1.0000	0.5000 0.5000	0.53004
$\alpha = 4$	0.0850 0.9100 0.9150	0.4997 0.1266 0.3737	0 0.5000 1.0000	0.4444 0.1111 0.4444	0.50319
$\alpha = 8$	0.1350 0.5000 0.8650	0.4534 0.0933 0.4534	0 0.5000 1.0000	0.3437 0.3126 0.3437	0.40561
$\alpha = 11$	0.0550 0.0600 0.5000 0.9400 0.9450	0.2509 0.1080 0.2822 0.1080 0.2509	0 0.4300 0.4350 0.5650 1.0000	0.3312 0.0204 0.1477 0.1696 0.3312	0.36454
$\alpha = 20$	0.0500 0.0550 0.3650 0.6350 0.9450 0.9500	0.2877 0.0066 0.2057 0.2057 0.0066 0.2877	0 0.3400 0.3450 0.6550 0.6600 1.0000	0.2631 0.2118 0.0251 0.0251 0.2118 0.2631	0.29424
$\alpha = 28$	0.0550 0.0600 0.3450 0.5000 0.6550 0.9400 0.9450	0.1637 0.1130 0.1933 0.0600 0.1933 0.1130 0.1637	0 0.2650 0.2700 0.5000 0.7300 0.7350 1.0000	0.2243 0.0794 0.1083 0.1761 0.1083 0.0794 0.2243	0.25955

Нужно подчеркнуть, что системы преследователь – добыча с оптимальной вероятностью $v_{\text{opt}} < \frac{1}{2}$ поражения добычи выходят за пределы практических интересов. Поэтому случай на рис. 5 считается примерно наихудшим, где оба конкурента должны выбирать по три чистых стратегии с соответствующими оптимальными вероятностями.

```

>> [P1PS P1PS_probabilities P2PS P2PS_probabilities v_opt] = ppsr(4);
The persecutor pure strategies to be selected:
P1PS =
    0.0850    0.9100    0.9150
The optimal probabilities of the persecutor pure strategies selection:
P1PS_probabilities =
    0.4997    0.1266    0.3737

The prey pure strategies to be selected:
P2PS =
     0     0.5000     1.0000
The optimal probabilities of the prey pure strategies selection:
P2PS_probabilities =
    0.4444    0.1111    0.4444

v_opt = 0.50319

```

Рис. 5. При $\alpha = 4$ оба игрока имеют по три чистые стратегии для их вероятностного выбора

Выводы. Метод решения системы преследователь – добыча для экспоненциальной вероятности (1) поражения добычи преследователем зависит от положительного параметра α . Для $\alpha \in \left(0; \frac{1}{2}\right]$ решением является единственная оптимальная стратегия первого игрока $x_{\text{opt}} = \frac{1}{2}$ и единственная оптимальная смешанная стратегия второго игрока, которая состоит в равновероятном выборе двух чистых стратегий $y_1 = 0$ и $y_2 = 1$. Это решение даёт оптимальную вероятность $v_{\text{opt}} = \exp\left(-\frac{\alpha}{4}\right)$ поражения добычи. Для $\alpha > \frac{1}{2}$ может быть применён разработанный в MATLAB программный модуль "ppsr", возвращающий приближительное решение [10, 11] с большой точностью.

Список литературы: 1. *Вентцель Е. С.* Элементы теории игр. Вып. 32. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1961. – 67 с. – (Серия: Популярные лекции по математике). 2. *Воронин А.А., Губко М.В., Мишин С.П., Новиков Д.А.* Математические модели организаций. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с. 3. *Охорзин В.А.* Оптимизация экономических систем. Примеры и алгоритмы в среде Mathcad: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 144 с. 4. *Дьяконов В.П.* Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 720 с. – (Серия "Библиотека профессионала"). 5. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с. 6. Теория игр: Учеб. пособие для ун-тов / *Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.А. Семина*. – М.: Высшая школа, Книжный дом "Университет", 1998. – 304 с. 7. *Дьяконов В., Круглов В.* Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный

справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с. **8. Romanuke V.V.** The nine solution forms of a continuous strictly convex-concave antagonistic game // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2008. – № 5. – Т. 3. – С. 30 – 37. **9. Романюк В. В.** Чотири опорних співвідношення для чотирьох видів розв'язку однієї строго випуклої неперервної антагоністичної гри // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 169 – 174. **10. Романюк В.В.** Моделювання реалізації оптимальних змішаних стратегій в антагоністичній гри з двома чистими стратегіями в кожного з гравців // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2007. – № 3. – С. 74 – 77. **11. Романюк В.В.** Тактика перебору чистих стратегій як теоретичне підґрунтя для дослідження ефективності різних способів реалізації оптимальних змішаних стратегій // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2008. – № 3. – С. 61 – 68.

УДК 519.832.4

Розрішення системи переслідувач – здобич для експоненціальної імовірності ураження здобичі переслідувачем / Романюк В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 138 – 149.

Для визначеного на напіввідкритому інтервалі параметру розв'язано систему переслідувач – здобич, представлену у формі антагоністичної гри, яка визначається на одиничному квадраті. Для більших значень цього параметру має бути застосовано розроблений програмний модуль, який повертає наближений розв'язок з великою точністю. Іл.: 5. Табл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: антагоністична гра, одиничний квадрат, програмний модуль, наближений розв'язок.

UDC 519.832.4

Persecutor – prey system resolution for the persecutor exponential probability of striking the prey / Romanuke V.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 138 – 149.

For the determined half-open interval parameter there has been solved the persecutor – prey system, stated as the antagonistic game, being defined on the unit square. For the greater values of this parameter there should be applied the elaborated program module, returning the approximate solution with the high accuracy. Figs.: 5. Tabl. 1. Refs.: 11 titles.

Key words: antagonistic game, unit square, program module, approximate solution.

Поступила в редакцію 18.03.2009

СЕЙЕД МОДЖТАБА ДЖАФАРИ ХЕНДЖАНИ, аспирант НТУ "ХПИ",
В.П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

АЛГОРИТМЫ ПОШАГОВОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ КВАДРАТИЧНЫМ ОЦЕНКАМ

В статье рассматриваются алгоритмы пошагового многокритериального синтеза систем автоматического управления по улучшенным интегральным квадратичным оценкам с использованием компьютерной системы MATLAB на основании математических моделей и методов векторной оптимизации. Приведены примеры решения задач синтеза для моделей систем управления без применения и с применением пошагового подхода.

Ключевые слова: алгоритмы, многокритериальный синтез, системы автоматического управления, интегральные квадратичные оценки, компьютерная система MATLAB.

Постановка проблемы и анализ литературы. Одной из основных проблем разработки систем автоматического управления (САУ) является проблема многокритериального параметрического синтеза, для решения которой рекомендуется применять улучшенные интегральные квадратичные оценки (ИКО). Такие оценки определены только в области устойчивости САУ, что приводит к сложности использования численных методов оптимизации для синтеза систем. Улучшенные ИКО косвенно характеризуют качество протекания переходных процессов в САУ [1 – 5]. Однако вычисление и минимизация улучшенных ИКО для САУ выше второго порядка вызывают трудности, что ограничивает их применение [1]. Эффективные методы вычисления ИКО предложили А.М. Кац [6] и К.Ю. Острем [7]. Сравнение этих методов показало, что метод К.Ю. Острема эффективнее метода А.М. Каца по точности и скорости вычислений [8 – 11]. Для минимизации улучшенных ИКО предложен пошаговый подход удовлетворения ограничений области устойчивости [8 – 11]. Проведены исследования различных методов оптимизации при минимизации ИКО для САУ различных порядков, которые позволяют заключить, что наиболее эффективными методами являются: метод адаптации шага для одномерного поиска и метод Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно (БФГШ) для многомерной оптимизации [12, 13]. Разработку и тестирование методов и их алгоритмов целесообразно проводить в компьютерной математической системе MATLAB [14].

Цель статьи состоит в разработке и исследовании алгоритмов многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления на основе минимизации улучшенных интегральных квадратичных оценок качества численными методами оптимизации с использованием пошагового подхода для учета ограничений области устойчивости систем.

Улучшенные интегральные квадратичные оценки. Для устойчивости линейной системы автоматического управления, зависящей от вектора переменных параметров $x \in R^p$ и имеющей передаточную функцию (ПФ)

$$W(x, s) = \beta(x, s) / \alpha(x, s), \quad \alpha(x, s) = \sum_{i=0}^n \alpha_i(x) s^{n-i}, \quad \beta(x, s) = \sum_{i=0}^m \beta_i(x) s^{m-i},$$

по критерию Рауса необходимо и достаточно выполнение условий [3]:

$$\alpha_i(x) > 0, \quad i = \overline{0, n}; \quad \rho_k(x) > 0, \quad k = \overline{2, n-1}, \quad (1)$$

где $\rho_k(x)$ – элементы первого столбца таблицы Рауса.

Решение задачи многокритериального синтеза САУ может быть достигнуто минимизацией улучшенных ИКО [1 – 4]:

$$J(x) = \int_0^\infty \sum_{k=0}^l w_k \left[z_t^{(k)}(x, t) \right]^2 dt; \quad (2)$$

$$I(x) = \int_0^\infty \left[\sum_{k=0}^l \tau_k z_t^{(k)}(x, t) \right]^2 dt, \quad (3)$$

где $z(x, t)$ – отклонение выходной величины $y(x, t)$ от установившегося значения $y_\infty = 1$; l – порядок оценки, $l < n - m$; w_k и τ_k – весовые коэффициенты. Оценки (2) и (3) определены только в области устойчивости САУ, заданной системой неравенств (1). Оценка (3) имеет преимущество перед оценкой (2), так как она проще формируется и вычисляется [8].

Для системы второго порядка с одним переменным параметром x и ПФ

$$W(x, s) = 1 / (s^2 + xs + 1) \quad (4)$$

улучшенные ИКО (2) и (3) определены в области устойчивости $x > 0$ [1, 2]:

$$J(x) = 0,5 [x + (1 + w)/x]; \quad (5)$$

$$I(x) = 0,5 [1 + (x - \tau)^2] / x, \quad (6)$$

причем $\tau = \sqrt{w}$, $J(x) = I(x) + \tau$. Оценка (6) имеет единственный минимум при $x^* = \sqrt{1 + \tau^2}$, $I^* = \sqrt{1 + \tau^2} - \tau$. Для значений весовых коэффициентов $w = 1$ и $\tau = 1$ оценки (5) и (6) принимают минимальные значения при $x^* = \sqrt{2}$.

Для САУ третьего порядка с вектором переменных $x = (x_1, x_2)$ и ПФ

$$W(x, s) = 1 / (s^3 + x_1 s^2 + x_2 s + 1) \quad (7)$$

ИКО (2) и (3) определены в области устойчивости $x_1, x_2 > 0$, $x_1 x_2 > 1$ [1, 2]:

$$J(x) = \frac{1}{2} \left(x_2 + \frac{x_1^2 + w_1 x_1 + w_2}{x_1 x_2 - 1} \right); \quad (8)$$

$$I(x) = \frac{1}{2} \left(x_2 + \frac{x_1^2 + (\tau_1^2 - 2\tau_2)x_1 + \tau_2^2}{x_1 x_2 - 1} \right) - \tau_1, \quad (9)$$

причем $\tau_2 = \sqrt{w_2}$, $\tau_1 = \sqrt{w_1 + 2\tau_2}$, $J(x) = I(x) + \tau_1$.

Алгоритмы численных методов оптимизации. Уже для САУ третьего порядка с ПФ (7) для минимизации оценок (8) и (9) необходимо применять численные методы. Опыт минимизации ИКО показал, что наиболее эффективным методом для одномерного поиска является метод адаптации шага, а для многомерного – метод БФГШ [13]. Приведем алгоритмы этих методов для минимизации целевой функции $f(x) = I(x)$.

Алгоритм метода адаптации шага. Входные параметры: x – начальное значение переменной; h – начальный шаг поиска; ε – допустимая погрешность. Выходные параметры: x и f_x – конечные значения переменной и функции.

1. Положить $r = 0$.
2. Положить $x = x + h$, $f_y = f(x)$.
3. Если $f_y < f_x$, положить $f_x = f_y$, иначе перейти к п. 6.
4. Если $r \geq 0,5$, положить $r = 2$, иначе положить $r = 0,5$.
5. Перейти к п. 8.
6. Положить $x = x - h$.
7. Если $r = 2$, положить $r = 0,25$, иначе положить $r = -0,5$.
8. Положить $h = hr$.
9. Если $|h| > \varepsilon$, перейти к п. 2.
10. Остановиться.

Алгоритм метода БФГШ. Входные параметры: x – начальная точка; h – начальный шаг поиска; ε – допустимая погрешность. Выходные параметры: x и f_x – конечные значения вектора переменных и функции.

1. Положить $f_x = f(x)$, $g_x = \text{agrad}(x, f_x, h)$, $n = \dim x$, $G = E$, $r = 1$, $d = g_x$.
2. Вычислить $(y, f_y, r) = S(x, f_x, d, r)$, $s = y - x$, $h = \|s\|$.

3. Вычислить $g_y = \text{agrad}(y, f_y, h)$, $p = g_x - g_y$.
4. Вычислить $u = Gp$, $v = 1/(p^T s)$, $G = G - v(us^T + su^T) + v(1 + u^T pv)ss^T$.
5. Вычислить $d = Gg_y$.
6. Положить $x = y$, $f_x = f_y$, $g_x = g_y$.
7. Если $h > \varepsilon$, перейти к п. 2.
8. Остановиться.

В этом алгоритме для одномерного поиска используется алгоритм многомерного метода адаптации шага в виде функции $(y, f_y, r) = S(x, f_x, d, r)$, а для вычисления антиградиента – функция $g = \text{agrad}(x, f_x, h)$.

Алгоритм вычисления антиградиента. Входные параметры: x и f_x – базовые значения переменной и функции; h – шаг поиска. Выходной параметр: g – антиградиент.

1. Положить $\delta = \max\{|h|10^{-4}; \|x\|_{\infty}\varepsilon_m 10^2; \varepsilon_m 10^2\}$, $k = 1/\delta$, $y = x$, $g = x$, $n = \dim x$, $i = 1$.
2. Вычислить $y_i = x_i + \delta$, $f_y = f(y)$, $g_i = k(f_x - f_y)$.
3. Положить $y_i = x_i$, $i = i + 1$.
4. Если $i < n$, перейти к п. 2.
5. Выйти из алгоритма.

На шаге 1 алгоритма параметр приращения независимых переменных δ вычисляется с использованием "машинного эпсилон" ε_m – встроенной константы системы MATLAB [14].

Процесс минимизации функции улучшенной ИКО (6) для системы второго порядка с ПФ (4) методом адаптации шага представлен на рис. 1, 2. Начальная точка отмечена кругом, конечная – ромбом. Показаны 7 точек поиска. На рис. 2 по сравнению с рис. 1 добавлена еще одна горизонтальная координата i , обозначающая номер точки поиска. Из начальной точки $x_0 = 1$ большой начальный шаг $h = 2,5$ вывел процесс оптимизации из области устойчивости. Третья точка поиска оказалась вне области устойчивости с отрицательным значением целевой функции (6). На границе области устойчивости $x = 0$ эта функция терпит разрыв – бесконечный скачок. Поэтому при дальнейшем поиске целевая функция стремится к $-\infty$, и точка минимума ИКО, отмеченная звездочкой, оказывается недостижимой.

Процесс минимизации функции улучшенной ИКО (9) для системы третьего порядка с ПФ (7) и значениями весовых коэффициентов $\tau_1 = \sqrt{3}$ и $\tau_2 = 1$, полученный методом БФГШ, представлен на рис. 3, 4. Тонкой линией

соединены все 8 точек поиска, а перекрывающей ее жирной линией соединены лучшие точки поиска.

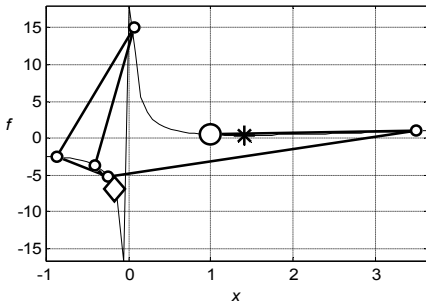


Рис. 1. График минимизации функции ИКО для САУ 2-го порядка

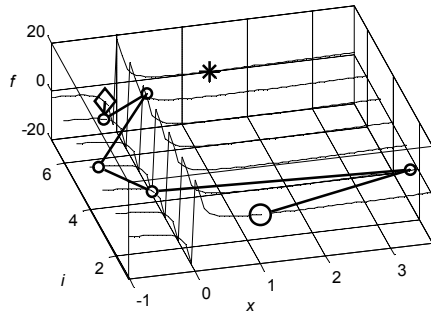


Рис. 2. Трехмерный график минимизации функции ИКО для САУ 2-го порядка

На рис. 3 показаны линии уровня целевой функции. Рис. 4 представляет процесс минимизации функции ИКО на трехмерном графике целевой функции. Из начальной точки $x^{(0)} = (1; 2)$ большой начальный шаг $h = 3$ вывел процесс оптимизации из области устойчивости.

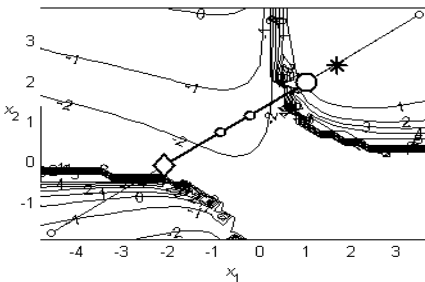


Рис. 3. График минимизации функции ИКО для САУ 3-го порядка

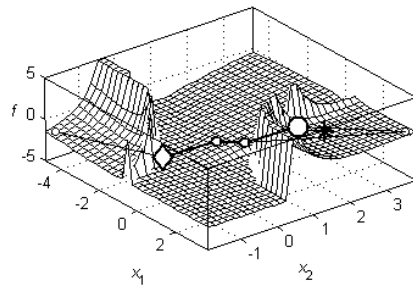


Рис. 4. Трехмерный график минимизации функции ИКО для САУ 3-го порядка

Пошаговый подход к минимизации оценок. Для исключения случая выхода из области устойчивости разработан пошаговый подход выполнения условий устойчивости с помощью векторной целевой функции [8 – 11]:

$$F(x) = \begin{cases} (0; P(x)), & x \in H_0; \\ (k; -\rho_{k+1}(x)), & x \in H_k, \quad k = \overline{1, n-2}; \\ (n-1; I(x)), & x \in H_{n-1}. \end{cases} \quad (10)$$

Здесь используется штрафная функция нарушения неравенств (1):

$$P(x) = \sum_{i=0}^n \max \{ -\alpha_i(x), 0 \}.$$

Функция (10) формируется на основании областей уровней H_k , которые определяются последовательным выполнением неравенств (1). В отличие от функции ИКО $I(x)$ векторная целевая функция (10) определена во всем пространстве переменных параметров, ее первая проекция $F_1(x)$ – функция уровня представляет число выполненных ограничений, а ее вторая проекция $F_2(x)$ – функция штрафа в области устойчивости совпадает с ИКО.

Разработан алгоритм вычисления функции (10) по методу К. Ю. Острема.

Алгоритм вычисления векторной целевой функции с ИКО. Входные параметры: α и β – массивы коэффициентов знаменателя и числителя ПФ; τ – массив весовых коэффициентов улучшенной ИКО. Выходные параметры: F – значение векторной целевой функции; B – признак устойчивости системы.

1. Положить $n = \dim \alpha$, $B = 1$, $P = 0$, $h = 0$, $i = 0$.
2. Если $\alpha_i \leq 0$, положить $P = P - \alpha_i$, $B = 0$.
3. Если $i < n$, положить $i = i + 1$ и перейти к п. 2.
4. Если $\neg B$, положить $F = (h; P)$ и перейти к п. 16.
5. Положить $c = \beta \otimes \tau$, $\gamma = \alpha - (0(\dim \alpha - \dim c), c)$, $\gamma_n = \emptyset$.
6. Положить $m = n - 1$, $I = 0$, $k = 2$.
7. Положить $h = h + 1$, $\mu = \alpha_{k-2}/\alpha_{k-1}$, $\lambda = \gamma_{k-2}/\alpha_{k-1}$, $I = I + \lambda^2/\mu$, $i = k$.
8. Положить $\alpha_i = \alpha_i - \mu \alpha_{i+1}$, $\gamma_i = \gamma_i - \lambda \alpha_{i+1}$.
9. Если $i < m$, положить $i = i + 2$ и перейти к п. 8.
10. Если $\alpha_k \leq 0$, положить $F = (h; -\alpha_k)$, $B = 0$ и перейти к п. 16.
11. Если $k < m$, положить $k = k + 1$ и перейти к п. 7.
12. Положить $k = m$.
13. Положить $\mu = \alpha_{k-1}/\alpha_k$, $\lambda = \gamma_{k-1}/\alpha_k$, $I = I + \lambda^2/\mu$.
14. Если $k < n$, положить $k = k + 1$ и перейти к п. 13.
15. Положить $F = (h + 1; 0,5I)$.
16. Остановиться.

На шаге 5 с помощью операции $\otimes$ выполняется свертка двух векторов, аналогичная перемножению многочленов. Перед вычитанием векторов производится выравнивание их размерностей путем добавления нулей в начало вычитаемого вектора c . Последний элемент вектора γ исключается.

Процесс минимизации ИКО с возвращением в область устойчивости можно выполнить рассмотренными алгоритмами методов оптимизации, если

заменить в них скалярную функцию $f(x)$ векторной функцией $F(x)$ и переопределить для нее операции сравнения и вычитания:

$$F^{(k)} < F^{(j)} = \begin{cases} 1, & F_1^{(k)} > F_1^{(j)} \vee F_1^{(k)} = F_1^{(j)} \wedge F_2^{(k)} < F_2^{(j)}, \\ 0, & F_1^{(k)} < F_1^{(j)} \vee F_1^{(k)} = F_1^{(j)} \wedge F_2^{(k)} \geq F_2^{(j)}, \end{cases}$$

$$F^{(k)} - F^{(j)} = \begin{cases} F_1^{(j)} - F_1^{(k)}, & F_1^{(k)} \neq F_1^{(j)}, \\ F_2^{(k)} - F_2^{(j)}, & F_1^{(k)} = F_1^{(j)}. \end{cases}$$

Такое переопределение обеспечивает минимизацию функции штрафа $F_2(x)$ с приоритетной максимизацией функции уровня $F_1(x)$, что и предотвращает выход из области устойчивости.

Применение пошагового подхода. Процесс минимизации улучшенной интегральной квадратичной оценки (3) для САУ второго порядка методом адаптации шага с использованием функции (10) представлен на рис. 5, 6. Из начальной точки $x_0 = 1$ минимум ИКО получен с начальным шагом 2,5 и допустимой погрешностью шага 10^{-3} за 15 вычислений векторной функции: $x^* = 1,4138$, $I^* = 0,4142$.

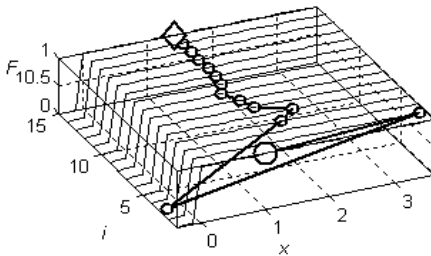


Рис. 5. Оптимизация САУ 2-го порядка на графике функции уровня

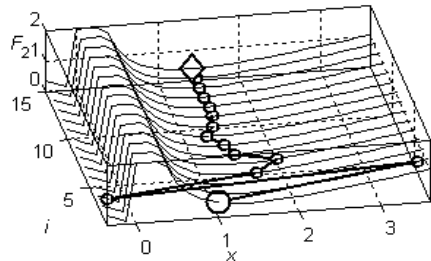


Рис. 6. Оптимизация САУ 2-го порядка на графике функции штрафа

Процесс минимизации улучшенной интегральной квадратичной оценки (3) для значений $\tau_1 = \sqrt{3}$, $\tau_2 = 1$ и системы третьего порядка, полученный методом БФГШ с адаптацией шага, представлен на рис. 7, 8. Тонкой линией соединены все точки поиска, а жирной линией – лучшие точки итераций. Из начальной точки $x^{(0)} = (1; 2)$ минимум ИКО получен с начальным шагом 3 и допустимой погрешностью 10^{-3} по шагу за 77 вычислений функции: $x^* = (1,6760; 2,4057)$, $I^* = 0,3753$.

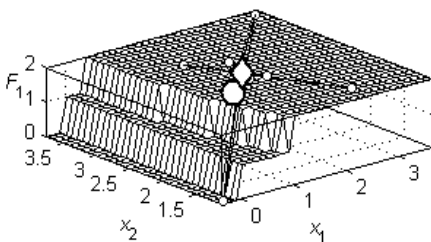


Рис. 7. Оптимизация САУ 3-го порядка на графике функции уровня

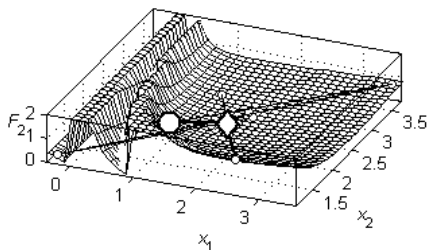


Рис. 8. Оптимизация САУ 3-го порядка на графике функции штрафа

Выводы. Прделанная работа позволяет сделать следующие выводы.

1. Рассмотрены улучшенные интегральные квадратичные оценки качества, применяемые для синтеза систем автоматического управления.
2. Разработаны алгоритмы численных методов оптимизации, которые при минимизации оценок приводят к выходу из области устойчивости.
3. Рассмотрен пошаговый подход к минимизации оценок качества с помощью векторной целевой функции и разработан алгоритм ее вычисления.
4. Применение пошагового подхода позволило минимизировать оценки качества методами оптимизации с учетом ограничений устойчивости системы.

Список литературы: 1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2004. – 752 с. 2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с. 3. Теория автоматического управления. Ч.1 / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с. 4. Теория автоматического регулирования. Книга 1 / Под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1967. – 767 с. 5. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с. 6. Кац А.М. К вопросу о вычислении квадратичного качества регулирования // Прикладная математика и механика. – 1952. – Т. XVI. – Вып. 3. – С. 362–364. 7. Острем К.Ю. Введение в стохастическую теорию управления. – М.: Мир, 1973. – 322 с. 8. Северин В.П. Минимизация интегральных квадратичных оценок систем автоматического управления. Часть 1. Вычисление оценок // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 4. – С. 5–16. 9. Северин В.П. Минимизация интегральных квадратичных оценок систем автоматического управления. Часть 2. Пошаговый подход // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 5. – С. 5–15. 10. Северин В.П. Векторная оптимизация интегральных квадратичных оценок систем автоматического управления // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – № 2. – С. 52–61. 11. Северин В.П. Моделі і методи оптимізації показників якості систем автоматичного управління енергоблоку атомної електростанції: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.13.07 / НТУ "ХПИ". Харків, 2007. – 36 с. 12. Fletcher R. Practical Methods of Optimization. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 436 p. 13. Нікуліна О.М. Багатокритеріальний параметричний синтез систем автоматичного керування реакторної установкою АЕС: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / НТУ "ХПИ". Харків, 2008. – 21 с. 14. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.

УДК 62-5

Алгоритми покорокового багатокритеріального синтезу систем автоматичного керування за інтегральними квадратичними оцінками / Джафарі Хенджані Сейед Моджтаба, Северин В.П. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 150 – 158.

У статті розглядаються алгоритми покрокового багатокритеріального синтезу систем автоматичного керування за покращеними інтегральними квадратичними оцінками з використанням комп'ютерної системи MATLAB на основі математичних моделей та методів векторної оптимізації. Наведені приклади розв'язання задач синтезу для моделей систем керування без використання та з використанням покрокового підходу. Іл.: 8. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: алгоритм, багатокритеріальний синтез, система автоматичного керування, інтегральна квадратична оцінка, комп'ютерна система MATLAB.

UDC 62-5

Algorithms of step-by-step multicriterion synthesis of automatic control systems using integral quadratic estimates / Jafari Henjani Seyed Mojtaba, Severin V.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 150 – 158.

In paper the algorithms of step-by-step multicriterion synthesis of automatic control systems using improved integral quadratic estimates are considered in MATLAB computer system on the basis of mathematical models and methods of vector optimization. The examples of synthesis tasks solution for control systems models with and without step-by-step approach are produced. Figs.: 8. Refs.: 14 titles.

Key words: algorithm, multicriterion synthesis, automatic control system, integral quadratic estimates, MATLAB computer system.

Поступила в редакцію 10.04.2009

Ю.К. СОСНИНА, ГУ"ИППС им. проф. М.И.Ситенко АМНУ",
(г. Харьков),
Л.А. АВЕРЬЯНОВА, канд. техн. наук, ХНУРЭ (г. Харьков)

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ СУСТАВНОГО ХРЯЩА

Рассмотрена возможность получения ультразвукового изображения суставных поверхностей с целью получения диагностической информации. Предложена методика обработки сонографического изображения тазобедренного сустава для выявления ранних признаков асептического некроза.

Ключевые слова: ультразвуковое изображение, суставная поверхность, обработка сонографического изображения, тазобедренный сустав, асептический некроз.

Постановка проблемы. Нарушение двигательной функции человека зачастую возникает вследствие дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов. В последние годы постоянно возрастает число больных с данной патологией из-за ухудшающихся экологических и сложных социально-бытовых условий. Более тяжелыми становятся деформации крупных суставов из-за утяжеления травм, а также отсутствия адекватной системы их лечения. Неудовлетворительные исходы лечения деформаций и заболеваний крупных суставов часто обусловлены поздней диагностикой, что значительно повышает процент инвалидности.

Одной из наиболее угрожающих патологий суставного аппарата является асептический некроз головки бедренной кости (АНГБК) [1]. Частота АНГБК среди заболеваний опорно-двигательного аппарата составляет от 1,2 до 4,7%, однако значимость этой патологии определяется категорией заболевших – это лица трудоспособного возраста, при этом двухстороннее поражение встречается, по данным различных авторов, в 50% случаев. Лечение АНГБК наиболее эффективно на ранних стадиях заболевания. Несмотря на многочисленные исследования, проводимые в мире, проблемы диагностики и лечения патологии крупных суставов продолжают оставаться актуальными.

Анализ литературы. АНГБК является следствием нарушения кровотока и некроза элементов костного мозга головки бедренной кости. Первичные изменения наблюдаются в гиалиновом хряще и субхондральной кости. Поврежденный участок кости прогрессивно теряет жидкие элементы (кровь, вода, тканевые жидкости, лимфа), в связи с чем на единицу объема омертвевшей кости приходится больше неорганических веществ, чем в живой кости. В омертвевшем участке наблюдается разрежение кости (рис.1, 2).

На сегодняшний день существует ряд методов диагностической оценки патологических изменений внутрисуставных структур при АНГБК.



Рис. 1. Схема поражения головки бедренной кости при АНГБК

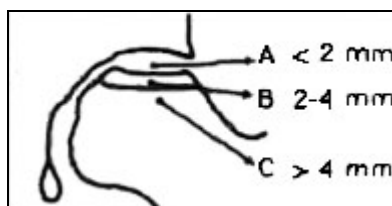


Рис. 2. Размер пораженной области головки бедренной кости: минимальный А (< 15%); средний В (15÷30%); обширный С (> 30%)

Проведен сравнительный анализ методов и технических средств диагностики структурно-функциональных нарушений при АНГБК.

К неинвазивным (малоинвазивным) методам можно отнести методы лучевой диагностики. В структуру комплекса лучевой диагностики входят следующие основные методы, базирующиеся на применении свойств различных излучений и ультразвука [2]:

1. Рентгеновский (рентгенодиагностика), в том числе компьютерная томография (РКТ), которая часто выделяется в отдельный метод.
2. Ультразвуковой (ультразвуковая диагностика).
3. Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ).
4. Радионуклидный (радионуклидная диагностика).
5. Термодиагностика.

Все методы лучевой диагностики можно разделить на две группы:

1. Не связанные с воздействием ионизирующего излучения – ультразвуковая диагностика, МРТ, термодиагностика.
2. Связанные с воздействием ионизирующего излучения – рентгено- и радионуклидная диагностика.

За исключением МРТ методы первой группы не имеют противопоказаний и могут применяться при массовом обследовании всех групп пациентов. Применение методов второй группы проводится только по показаниям.

На сегодняшний день самым распространенным методом, который используется в клиническом обследовании больных с АНГБК, остается рентгеновский [3]. Рентгенологическими признаками АНГБК является: повышение интенсивности тени омертвевшего участка, наличие зоны просветления вокруг него.

Первая стадия: рентгенологически: контуры головки бедра сохранены, суставная щель обычной высоты. Имеются очаги остеопороза и остеосклероза, на профильных рентгенограммах возможно выявление тонкой субхондральной линии просветления (симптом "яичной скорлупы").

Вторая стадия: рентгенологически: нарушение контура головки бедра в виде уплощения или ступенеобразной деформации в ее наиболее нагружаемой верхненаружной части за счет импрессии некротического очага, вокруг которого расположена зона остеолита и реактивного склероза. Суставная щель неравномерно расширена, вертлужная впадина остается интактной.

Третья стадия: рентгенологически: костные разрастания по краям вертлужной впадины, неравномерное сужение суставной щели. Контуры головки резко изменены, имеются костные разрастания. Очаг некроза, захватывающий до 1/2 и более головки, определяется отчетливо, по окружности его наблюдается широкая зона остеолита и склероза.

Четвертая стадия: определяется значительная деформация вертлужной впадины с грубыми краевыми разрастаниями. Суставная щель резко сужена, головка бедра седловидно деформирована, имеет краевые разрастания, часто находится в положении подвывиха. Очаг некроза дифференцируется хуже, фрагментирован, склерозирован, ширина окружающих его зон остеолита и склероза уменьшена, эти зоны пятнисты и неравномерны.

При 3 и 4 стадиях АНГБК данные обзорной рентгенограммы настолько очевидны и характерны, что для постановки окончательного диагноза не требуется никаких дополнительных исследований. Однако при 1 и 2 стадиях рентгенограммы недостаточно для постановки диагноза и определения стадии заболевания. Следовательно, можно говорить о небольшой диагностической ценности рентгенограмм для определения некротических поражений 1-2 стадий по сравнению с другими средствами визуализации.

Если рассматривать рентгеновскую компьютерную томографию (РКТ), то ее главным преимуществом по сравнению с другими способами визуализации является точное определение субхондральной трещины или ранней стадии разрушения (коллапса) бедра [4, 5]. Недостатком РКТ является то, что небольшие поражения могут остаться незамеченными по причине погрешности реконструкции срезов или из-за слишком большого расстояния между срезами. Поэтому РКТ требуется применять, когда подозревается

наличие субхондральной трещины или ранней стадии разрушения (коллапса) бедра, или когда после применения МРТ диагноз остается неясным.

Существуют данные, что МРТ является наиболее точным из всех способов визуализации способом диагностирования АНГБК, особенно на ранних его стадиях, когда происходят только изменения костного мозга. Однако стандартные МРТ исследования могут оказаться ошибочными в оценке самых ранних поражений, когда еще не нарушается клеточная целостность жировых клеток, а разрешение МРТ не позволяет увидеть очень небольшие очаговые поражения. Считается, что точность МРТ исследований больше 90%. Существенным ограничением для распространенного клинического применения этого метода является высокая цена исследования и малая доступность для большинства населения. Кроме того, известный способ оценки невозможен для использования при обследовании пациентов, которым противопоказано облучение, при наличии у них металлических изделий, беременности, психических заболеваний.

Вместе с традиционным рентгенологическим исследованием в большинстве медицинских учреждений все шире стал применяться такой метод диагностики, как ультразвуковое исследование (УЗИ).

Широкому применению ультразвуковой диагностики способствуют следующие основные ее преимущества перед другими методами лучевой диагностики: относительно невысокая себестоимость и небольшая продолжительность исследования; удобство эксплуатации ультразвуковой диагностической аппаратуры; практически полное отсутствие противопоказаний из-за безвредности метода; возможность одновременного измерения морфологических и функциональных характеристик исследуемого органа [8].

Основными проблемами применения метода УЗИ в ортопедии являются: низкое качество получаемых изображений; высокие требования по точности измерений; низкая повторяемость результатов, вследствие неточной установки датчика в стандартную ультразвуковую позицию. Это связано с тем, что для ультразвуковых изображений характерны весьма специфические искажения, помехи и артефакты, связанные с особенностями распространения ультразвуковых волн в биотканях, характеристиками ультразвуковых датчиков, сложностью получения стандартных изображений (позиций) и психофизическими особенностями зрения человека. Эти проблемы возможно решить путем углубленного анализа условий получения ультразвукового изображения сустава и использования современных ПК, позволяющих реализовать методы цифровой обработки и количественного анализа полученных изображений.

Цель статьи – поиск путей создания ультразвуковой диагностической системы и методики неинвазивного обнаружения структурных признаков АНГБК на ранней стадии.

Материалы и методы. Ультразвуковое исследование структур тазобедренного сустава и контуров бедренной кости производили на аппарате "Sonoline G-50" линейным датчиком с частотой 7 МГц и конвексным датчиком с частотой 3,5 – 5 МГц, в зависимости от конституции пациента и изображения, которое необходимо получить.

Поперечная проекция: исследование проводят в положении пациента "лежа на спине" с выпрямленными и немного разведенными ногами. Датчик (7 МГц) устанавливают поперечно в верхней трети бедра в зоне паховой складки. В норме контур головки бедренной кости представлен гиперэхогенной ровной структурой в форме полукруга. Такое исследование дает возможность выявить эхографические признаки деформации и уплощения головки бедренной кости, субхондральные повреждения (рис. 3).

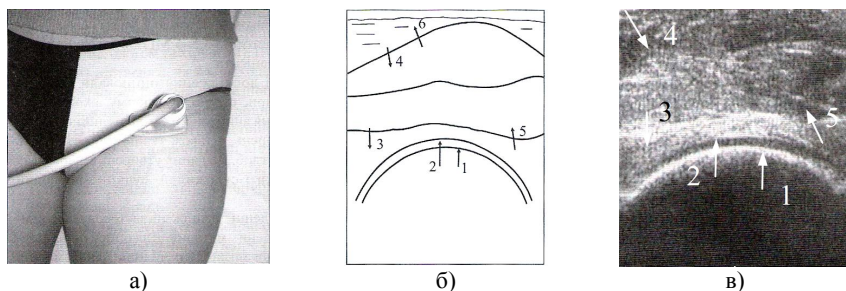


Рис. 3. Исследование тазобедренного сустава в поперечной проекции:
а – укладка пациента; б – схема получаемого изображения; в – сонограмма;
1 – контур головки; 2 – суставная щель; 3 – капсула сустава; 4 – подвздошно-поясничная мышца; 5 – длинная прямая мышца бедра; 6 – подкожно-жировая ткань

Продольная проекция: исследование проводят в положении пациента "лежа на спине" с выпрямленными и немного разведенными ногами. Датчик (3,5 МГц) устанавливают вдоль линии бедра под небольшим углом на середину паховой складки. Данная проекция позволяет визуализировать переднюю стенку вертлужной впадины, головку и шейку бедренной кости, капсулу тазобедренного сустава, при наклоне датчика – малый вертел. Контур головки и шейки бедренной кости характеризуются высоким уровнем эхогенности, однородностью и непрерывностью структуры (рис. 4).

Для диагностики ранней стадии АНГБК разработан способ оценки структуры суставного хряща. Согласно [9]:

1) с помощью ультразвукового сканирования получают изображение контура головки бедренной кости (рис. 3);

2) на изображении отмечается несколько точек вдоль поверхности головки, которые интерполируются гладкой кривой (задается траектория сканирования окрестности поверхности головки и суставной щели);

3) сканирование изображения производится вдоль полученной кривой путем построения распределения яркости пикселей вдоль прямой, нормальной к поверхности головки в данной точке (рис. 5 а, б).

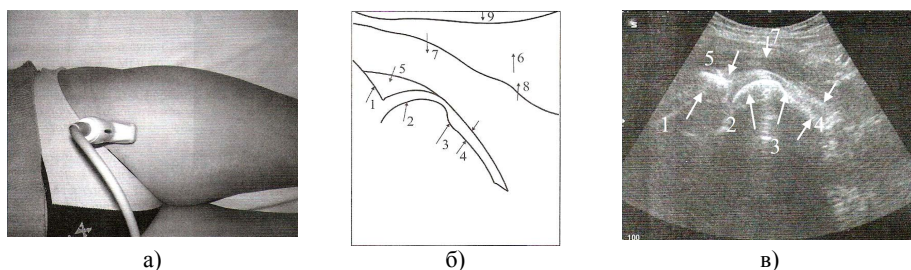


Рис. 4. Исследование тазобедренного сустава в продольной проекции:

а – укладка пациента; б – схема получаемого изображения; в – сонограмма;

1 – подвздошная кость; 2 – контур головки бедренной кости; 3 – шейка бедренной кости;

4 – капсула сустава; 5 – подвздошно-бедренная связка; 6 – длинная прямая мышца бедра;

7 – промежуточная широкая мышца бедра; 8 – мышца-натяжитель широкой фасции

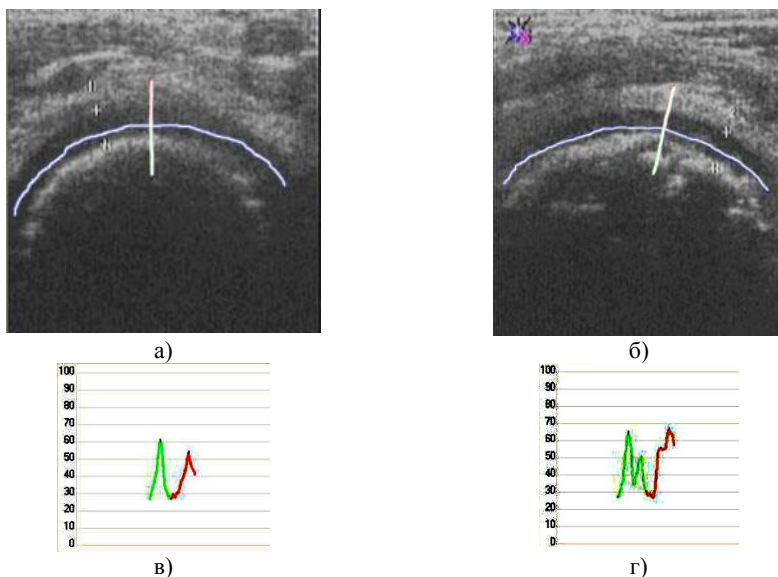


Рис. 5. Сканирование сонограммы головки бедренной кости:

а – при отсутствии патологических изменений; б – при наличии изменений; в, г – полученные диаграммы распределения яркости в норме и при патологии,

В результате получаем усредненную диаграмму яркости пикселей, которая отражает эхоплотность структур в каждом выбранном сечении

суставной щели (рис. 5 в, г). Диаграмма распределения яркости в норме имеет два максимума, первый – кальцифицированный слой хряща, второй – поверхностная зона хряща. Если диаграмма имеет два выраженных максимума, находится по оси ординат в пределах от 30% до 60 %, а также имеет ровные контуры и расстояние между максимумами 1,6 – 2,5 мм (ширина суставной щели), то считается, что поражение сустава отсутствует. Если на диаграмме появляются всплески, можно говорить об изменениях в суставе. Количество всплесков отображает степень поражения сустава.

Выводы: Разработанная методика ультразвуковой визуализации суставного хряща и субхондрального слоя позволяет производить оценку широкого спектра патологических изменений: выявить гиперэхогенные включения в гиалиновом хряще, изменение толщины суставной щели, а также малейшие деформации контуров. Высокие показатели информативности позволяют использовать сонографическое изображение, обработанное методом пространственной денситометрии в качестве метода диагностики большинства заболеваний суставов.

Список литературы: 1. Корж Н.А., Котульский И.В., Филиппенко В.А. Проблемы патогенеза асептического некроза головки бедренной кости // Журнал АМН Украины. – 1999. – Т. 5. – № 4. – С. 700-713. 2. Сиднев Д.А. Физико-технические основы лучевой диагностики и радиационная защита. – М.: Медицина, 1995. – 252 с. 3. Динулеску И., Джуриура М., Бадила А. Современные проблемы диагностики и лечения аваскулярного некроза головки бедра // Травматология и ортопедия России. – 2002. – № 1. – С.31-36. 4. Дедушкин В.С., Бажанов Е.А., Тихилов Р.М. Количественная и качественная оценка компьютерно-томографических признаков асептического некроза головки бедренной кости // Ортопедия, травматология, протезирование. – 1991. – № 3. – С. 22-26. 5. Миллер Б.С., Думановская Л.Э., Журавлев А.В. О компьютерной томографии в диагностике ранних стадий асептического некроза головки бедренной кости // Ортопедия, травматология, протезирование. – 1993. – № 3. – С. 42-45. 6. Свеишников А.А., Самчуков М.С., и др. Ранняя диагностика дегенеративно-дистрофических изменений в тазобедренном суставе радионуклидными методами // Ортопедия, травматология. – 1988. – № 3. – С. 32-36. 7. Приходько А.Г., Филиппенко В.А. и др. Радионуклидная диагностика некоторых заболеваний тазобедренного сустава // Ортопедия, травматология. – 1984. – № 7. – С. 47-50. 8. Корж М.О., Вишняков А.С., Яковенко С.М., Танькут О.В. Ультрасонографічні ознаки м'якотканинних структур в ділянці кульшового суглоба у дорослих та методика їх дослідження // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2008. – № 2. – С. 105-110. 9. Патент UA № 20380, A61B 8/08. Способ оценки структуры суставного хряща / Вишняков А.Е., Гавеман Ю.К., Яковенко С.М.; № U200608729. Заявл. 04.08.2006. Опубл. 15.01.2007. – Бюл. № 1.

УДК 681.3

Особливості ультразвукової діагностики структурних порушень суглобового хряща / Сосніна Ю.К., Авер'янова Л.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 159 – 166.

Розглянуто можливість отримання ультразвукового зображення суглобових поверхонь з метою отримання діагностичної інформації. Запропоновано методику обробки сонографічного зображення кульшового суглобу для виявлення ранніх ознак асептичного некрозу. Іл.: 5. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: ультразвукове зображення, суглобова поверхня, обробка сонографічного зображення, кульшовий суглоб, асептичний некроз.

UDC 681.3

The features of ultrasound diagnostics of articular cartilage imperfection / Sosnina J.K., Averyanova L.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 159 – 166.

In this work the possibility of ultrasound imaging of joint surface for diagnostic estimation is considered. The method of hip joint sonographic image processing for early criterion' identification of aseptic necrosis is proposed. Figs.: 5. Refs.: 9 titles.

Key words: ultrasonic image, joint surface, sonographic image processing, hip joint, aseptic necrosis.

Поступила в редакцию 16.04.2009

В.Л. ТИМЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. НУК (г. Николаев)

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТРУКТУРНО-ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрено решение задачи оптимального синтеза управляющих функций в линейных системах с непрерывным временем путем построения специальной структурной конфигурации переключаемых обратных связей, обеспечивающей необходимый порядок производных фазовых переменных с соответствующими позитивными или негативными постоянными значениями. Приведен порядок синтеза для линейного объекта при произвольных фазовых траекториях.

Ключевые слова: оптимальный синтез, управляющие функции, линейные системы, структурно-переключаемые обратные связи.

Постановка проблемы и анализ литературы. Решение задачи синтеза оптимальных управляющих воздействий, которые обеспечивают переходный процесс управления объектом с заданными показателями качества, является актуальным при разработке эффективных прикладных инженерных методов синтеза. Классические методы оптимального управления приводят к ряду вычислительных сложностей, например, необходимости решения краевых задач [1, 2, 3]. Аналитическое решение краевых задач, с учетом многомерности управляемого объекта, затруднительно и громоздко, а численные решения в ряде случаев не дают достаточно быстрой сходимости [4, 5]. Различные подходы оптимизации динамики объектов управления с помощью цепей обратных связей получили развитие в работах [6, 7], однако они не дают решения для задачи построения оптимальной траектории движения объекта.

Цель статьи – развитие подхода к синтезу оптимального управления, который не требует непосредственного решения дифференциальных уравнений динамики объекта для нахождения оптимальных управляющих функций и в тоже время обеспечивает управление с помощью специальных структур цепей обратных связей [8, 9].

Планирование оптимальной фазовой траектории. Произвольную фазовую траекторию объекта управления можно описать как совокупность отрезков траекторий с постоянной производной определенного порядка.

Фазовую траекторию динамического объекта, например, для вектора $\mathbf{X}(t)$ представим для i -го отрезка траектории с помощью разложения в ряд Тейлора

$$\mathbf{X}(t_{i+1}) = \mathbf{X}(t_i) + \left. \frac{d\mathbf{X}(t)}{dt} \right|_{t_i} \frac{\Delta t^1}{1!} + \left. \frac{d^2\mathbf{X}(t)}{dt^2} \right|_{t_i} \frac{(\Delta t^1)^2}{2!} + \dots + \left. \frac{d^k\mathbf{X}(t)}{dt^k} \right|_{t_i} \frac{(\Delta t^1)^k}{k!} + \dots + \mathbf{R}_p,$$

где $\mathbf{X}(t) = \{x_x(t); x_y(t); x_z(t)\}$ – вектор фазовых координат объекта по координатным осям $l = \{x, y, z\}$; $\mathbf{R}_p$ – вектор, определяющий остаточные члены ряда Тейлора; $\Delta t^l = t_{i+1}^l - t_i^l$, t_i^l , t_{i+1}^l – начальный и конечный моменты времени движения объекта по каждой из координатных осей на i -м отрезке.

Планирование фазовой траектории объекта управления для начальных условий

$$\{x_{ox}, x_{oy}, x_{oz}; \dot{x}_{ox}, \dot{x}_{oy}, \dot{x}_{oz}; \dots; x_{ox}^{(k)}, x_{oy}^{(k)}, x_{oz}^{(k)}\}$$

и конечных условий

$$\{x_{fx}, x_{fy}, x_{fz}; \dot{x}_{fx}, \dot{x}_{fy}, \dot{x}_{fz}; \dots; x_{fx}^{(m)}, x_{fy}^{(m)}, x_{fz}^{(m)}\}$$

будет заключаться в определении необходимого количества отрезков фазовой траектории с постоянными значениями соответствующих производных вектора $\mathbf{X}(t)$, а также моментов времени t_i^l переключения управляющих функций в обратных связях для обеспечения перехода объекта с данного отрезка траектории на следующий отрезок по каждой из координатных осей $l = \{x, y, z\}$.

Исследование фазовых траекторий и формирование принципов оптимальности движения динамического объекта. Рассмотрим синтез оптимальных управляющих функций для многомерного объекта при использовании критерия оптимальности по минимуму потраченной на движение энергии. Исследуем движение объекта на плоскости на прямолинейном отрезке траектории для координаты $x(t)$ при одинаковых граничных условиях по двум возможным фазовым траекториям, которые описываются следующими уравнениями

$$x(T_1) = x(0) + \dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2}{2!} + \dots + x^{(m)}(0)\frac{T_1^m}{m!}; \quad (1)$$

$$x(T_2) = x(0) + \dot{x}(0)T_2 + \ddot{x}(0)\frac{T_2^2}{2!} + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_2^r}{r!}, \quad (2)$$

где $x(0)$, $x(T_1) = x(T_2)$ – начальные и конечные координаты движения; T_1 , T_2 – время движения по каждой из траекторий; m , r – порядок высших производных фазовых координат; $m > r$.

Изменение кинетической энергии объекта массой M для первой траектории движения будет иметь вид

$$\Delta E_1 = \frac{Mv_x^2(T_1)}{2} - \frac{M[\dot{x}(0)]^2}{2},$$

где $v_x(T_1) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T_1 + \dots + x^{(m)}(0) \frac{T_1^{m-1}}{(m-1)!}$;

для второй –

$$\Delta E_2 = \frac{Mv_x^2(T_2)}{2} - \frac{M[\dot{x}(0)]^2}{2},$$

где $v_x(T_2) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T_2 + \dots + x^{(r)}(0) \frac{T_2^{r-1}}{(r-1)!}$.

Сравнительная оценка энергии, необходимой для перехода объекта управления из начального состояния в конечное состояние по фазовым траекториям, показывает, что при движении по траектории (2) расходы энергии меньше. Следовательно, можно сделать вывод, что траектория (2), лучше, чем (1) по расходам энергии. При этом в случае $(m - r) = 1$ разница кинетических энергий $\Delta E = \min$, а с ростом $(m - r)$ величина ΔE будет также расти. Анализ показывает, что оптимальной по минимуму расходов энергии есть траектория с наименьшим количеством производных фазовых переменных, необходимых для выполнения всех граничных условий. При этом время переходного процесса $T_2 > T_1$. Для произвольных значений m и r можно сделать обобщенный вывод о требованиях к оптимальности движения динамического объекта: при положительных значениях производных траектория будет оптимальной по быстродействию при движении с учетом максимально возможного количества производных вектора координат, при этом это будет траектория с наибольшим расходом энергии.

Решения задач поиска оптимальных фазовых траекторий описывают формирование непрерывных процессов "разгона" или "торможения". Широкий класс задач оптимального управления включает задачи с ограниченной функцией управления и предельными условиями, которые нуждаются в переключении управляющей функции.

Определение моментов переключения управляющих функций в обратных связях объекта управления. Переключение управляющих функций обеспечивает необходимый порядок производной фазовой координаты с соответствующими позитивными или негативными постоянными значениями. Моменты переключения управляющих функций в обратной связи будут определяться на основе энергетического анализа (гамильтониана системы), вида фазовых траекторий с учетом ограничений на управляющее воздействие, критерия оптимальности и заданных граничных условий.

В общем виде процесс управления можно разбить на этапы "разгона" и "торможения" по заданным показателям, например, при постоянном ускорении движения. Будем считать, что объект управления первого порядка

$$\dot{x}(t) = ax(t) + bu(t) \quad (3)$$

начинает движение с начальными условиями

$$x(0); \dot{x}(0); \ddot{x}(0); \dots; x^{(k)}(0).$$

Необходимые начальные значения управляющих функций для движения объекта с заданными начальными условиями определяются из следующих соотношений

$$u(0) = \frac{\dot{x}(0) - ax(0)}{b};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$u^{(k-1)}(0) = \frac{x^{(k)}(0) - a x^{(k-1)}(0)}{b}.$$

В случае заданных ограничений на управляющее воздействие максимальными значениями управляющих функций, в начальный момент времени ($t = 0$) будут выполняться соотношения:

$$\dot{x}(0) = ax(0) + bu_{\max}(0);$$

$$\ddot{x}(0) = a^2x(0) + abu_{\max}(0) + b\dot{u}_{\max}(0);$$

$$\dots\dots\dots$$

$$x^{(k)}(0) = a^kx(0) + a^{k-1}bu_{\max}(0) + \dots + b u_{\max}^{(k-1)}(0).$$

Фазовые уравнения траекторий "разгона" до заданной скорости $\dot{x}(t_{i+1})$ и последующего движения объекта управления с ее постоянным значением $\dot{x}(t_{i+1}) = \text{const}$ до момента времени t_{i+2} запишем в виде

$$x(t_1) = x(0) + \dot{x}(0)t_1 + \ddot{x}(0)\frac{t_1^2}{2} + \dots + x^{(k)}(0)\frac{t_1^k}{k!};$$

$$x(t_2) = x(t_1) + \dot{x}(t_1)(t_2 - t_1) + \ddot{x}(t_1)\frac{(t_2 - t_1)^2}{2} + \dots + x^{(k-1)}(t_1)\frac{(t_2 - t_1)^{k-1}}{(k-1)!}; \quad (4)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$x(t_{i+2}) = x(t_{i+1}) + \dot{x}(t_{i+1})(t_{i+2} - t_{i+1}).$$

Этап "торможения" от постоянной скорости $\dot{x}(t_{i+1}) = \text{const}$ до заданного значения скорости $\dot{x}(t_m) = \text{const}$ описывается уравнениями

$$\begin{aligned}
x(t_{i+3}) &= x(t_{i+2}) + \dot{x}(t_{i+2})(t_{i+3} - t_{i+2}) - \dots - x^{(k)}(t_{i+2}) \frac{(t_{i+3} - t_{i+2})^k}{k!}; \\
&\dots\dots\dots \\
x(t_m) &= x(t_{m-1}) + \dot{x}(t_{m-1})(t_m - t_{m-1}) - \ddot{x}(t_{m-1}) \frac{(t_m - t_{m-1})^2}{2}; \\
x(t_{m+1}) &= x(t_m) + \dot{x}(t_m)(t_{m+1} - t_m),
\end{aligned} \tag{5}$$

где t_i ($i = 1, \dots, m$) – моменты переключения управляющих функций.

Синтез управляющих функций для линейного объекта первого порядка. Одномерный стационарный линейный объект управления описывается скалярным уравнением (3) и после дифференцирования $(n-1)$ раз дает совокупность уравнений

$$\begin{aligned}
&\ddot{x}(t) = a\dot{x}(t) + b\dot{u}(t); \\
&\ddot{x}(t) = a\ddot{x}(t) + b\ddot{u}(t); \\
&\dots\dots\dots \\
&x^{(n)}(t) = a^{(n-1)}x^{(n-1)}(t) + b^{(n-1)}u^{(n-1)}(t).
\end{aligned}$$

Для реализации траекторий вида (4), (5) необходимо управляющее воздействие, при котором соответствующая производная координаты $x(t)$ равняется нулю. Таким образом, можно записать

$$\begin{aligned}
u(t) &= b^{-1}ax(t); \quad \dot{x}(t) = 0; \\
\dot{u}(t) + au(t) &= -b^{-1}a^2x(t); \quad \ddot{x}(t) = 0; \\
&\dots\dots\dots \\
u^{(n-1)}(t) + a^{(n-2)}u^{(n-2)}(t) + \dots + a^{n-2}\dot{u}(t) + a^{n-1}u(t) &= -b^{-1}a^nx(t); \quad x^{(n)}(t) = 0.
\end{aligned}$$

После применения преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях для управляющих воздействий будем иметь

$$\begin{aligned}
u(p) &= -b^{-1}ax(p); \\
u(p) &= -\frac{b^{-1}}{p+a}a^2x(p); \\
&\dots\dots\dots \\
u(p) &= -\frac{b^{-1}}{p^{n-1} + ap^{n-2} + \dots + a^{n-2}p + a^{n-1}}a^nx(p).
\end{aligned}$$

Полученные уравнения позволяют в цепях обратных связей формировать

управляющие функции, которые обеспечивают движение объекта по фазовым траекториям вида (4), (5).

Для синтеза управляющих воздействий с учетом начальных значений $u_0, \dot{u}_0, \dots, u_0^{(k)}$ будем иметь выражения

$$u(p) = -b^{-1}ax(p);$$

$$u(p) = \frac{-b^{-1}a^2x(p) + u_0}{p + a};$$

.....

$$u(p) = \frac{-b^{-1}a^kx(p) + u_0(p^{k-2} + \dots + a^{k-2}) + \dot{u}_0(p^{k-3} + \dots + a^{k-3}) + \dots + u_0^{(k-2)}}{p^{k-1} + ap^{k-2} + \dots + a^{k-2}p + a^{k-1}}.$$

Пример 1. Рассмотрим движение линейного объекта (3) с начальными условиями $\dot{x}_0 = 1; x_0 = 0$. Тогда для начального значения управления получим $u_0 = (\dot{x}_0 - ax_0)b^{-1} = b^{-1}$. Для функции управления после применения преобразования Лапласа при нулевой второй производной имеем $u(p) = \frac{-a^2x(p) + 1}{b(p+a)}$. При начальных условиях $\dot{x}_0 = 1; x_0 = 1$ получим $u_0 = b^{-1}(1-a)$ и запишем для управляющей функции при нулевой второй производной $u(p) = \frac{-a^2x(p) + 1 - a}{b(p+a)}$ (структурная схема представлена на рис. 1).

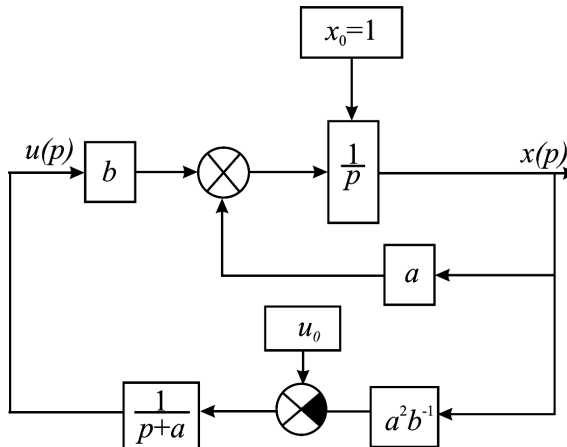


Рис. 1.

Пример 2. При движении объекта (3) по фазовой траектории из двух отрезков

$$x(t_1) = x(0) + \dot{x}(0)t_1 + |\ddot{x}(0)|\frac{t_1^2}{2};$$

$$x(T) = x(t_1) + \dot{x}(t_1)(T - t_1) - |\ddot{x}(0)|\frac{(T - t_1)^2}{2},$$

где T , t_1 – время перехода и момент переключения управляющей функции, соответственно. Структурная схема со структурно-переключаемыми обратными связями для этого случая приведена на рис. 2.

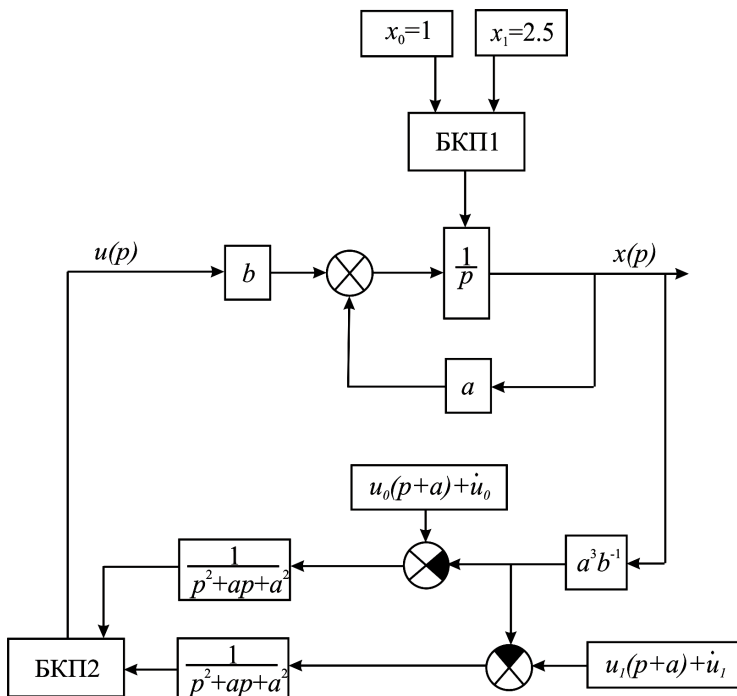


Рис. 2.

При нулевой третьей производной для начальных условий $\ddot{x}_0 = 1$; $\dot{x}_0 = 1$; $x_0 = 1$; $u_0 = \dot{u}_0 = b^{-1}(1-a)$ имеем для первого отрезка траектории функцию управления $u(p) = \frac{-a^3x(p) + (1-a)(p+a+1)}{b(p^2+ap+a^2)}$.

Для второго отрезка при значении $t_1 = 1$ с учетом полученных конечных условий для первого отрезка (начальных для второго) $\ddot{x}_1 = -1$; $\dot{x}_1 = 2$; $x_1 = 2.5$; $u_1 = b^{-1}(2 - 2.5a)$; $\dot{u}_1 = -b^{-1}(1 + 2a)$ (структурная схема – рис. 2; БКП1, БКП2 – блоки ключей переключения) получаем

$$u(p) = \frac{-a^3 x(p) + (2 - 2.5a)p - 2.5a^2 - 1}{b(p^2 + ap + a^2)}.$$

Выводы. Предложенный метод структурно-переключаемых обратных связей для синтеза управляющих функций позволяет для широкого класса динамических объектов решать практические задачи построения оптимальных фазовых траекторий движения для различных критериев оптимальности и вида граничных условий. Следует отметить, что построение оптимальной траектории и определение моментов времени переключения управляющих функций осуществляется путем решения системы алгебраических уравнений; полученные выражения для управляющих функций физически реализуемы, а применение управляющих функций в цепях обратной связи не требует непосредственного измерения производных фазовых переменных на выходе объекта управления.

Список литературы: 1. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов – М.: Наука, 1974. – 392 с. 2. Чаки Ф. Современная теория управления. – М.: Мир, 1975. – 424 с. 3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А.А. – М.: Наука, 1987. – 711 с. 4. Беллман Р., Калаба Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи. – М.: Мир, 1968. – 184 с. 5. Ларин В.Б. О симметризации двухточечной краевой задачи // Проблемы управления и информатики. – К. – 2002. – № 3. – С. 30 – 38. 6. Габасов Р., Кириллова Ф.М., Ружижская Е.А. Реализация ограниченной обратной связи в нелинейной задаче регулирования // Кибернетика и системный анализ. – К., 2009. – № 1. – С. 108 – 117. 7. Ларин В.Б. Стабилизация системы обратной связью по выходной переменной // Проблемы управления и информатики. – К., 2004. – № 2. – С. 5 – 18. 8. Kondratenko Y.P., Timchenko V.L. Optimal feedback switching method for linear control systems // Systems and Networks: Mathematical Theory and Applications (Mathematical Research). – Berlin: Academia Verlag, 1994. – Vol. 79. – P. 291 – 292. 9. Тимченко В.Л. Синтез управляющих функций на основе структурно-переключаемых обратных связей при управлении многомерным объектом // Труды Одесского политехнического университета. – Вып. 2 (24), 2005. – С. 155 – 160.

УДК 62-502

Оптимальне управління лінійним об'єктом на основі методу структурно-перемиканих зворотних зв'язків / Тимченко В.Л. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 167 – 175.

Розглянуто рішення задачі оптимального синтезу керуючих функцій в лінійних системах з безперервним часом шляхом побудови спеціальної структурної конфігурації зворотних перемиканих зв'язків, що забезпечує необхідний порядок похідних фазових змінних з відповідними позитивними або негативними постійними значеннями. Приведено порядок синтезу для лінійного об'єкта при довільних фазових траєкторіях. Лл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: оптимальний синтез, керуючі функції, лінійні системи, структурно-перемикані зворотні зв'язки.

UDC 62-502

Optimal control of linear object on basis of method of the structurally-commuted feed-backs
/ Tymchenko V.L. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 167 – 175.

The decision of task of optimal synthesis of control influences is considered in the linear systems with continuous time by the construction of the special structural configuration of feed-backs, providing the necessary order of derivative phase variables with the proper positive or negative constant values. The order of synthesis is resulted for a linear object at the arbitrary phase trajectories. Figs: 2. Refs: 9 titles.

Keywords: optimal synthesis, control functions, linear systems, structurally-commuted feed-backs.

Поступила в редакцию 22.04.2009

О.О. ТЮРІН, НТУ "ХПІ" (м. Харків)

АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Показано, що при об'єднанні координатної інформації первинних систем спостереження та системи ідентифікації у єдиній інформаційній мережі систем спостереження можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність ідентифікаційної системи (зробити її керованою) без істотного зменшення імовірності правильної ідентифікації повітряного об'єкту.

Ключові слова: координатна інформація, система спостереження, система ідентифікації, роздільна здатність.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Рішення задач, поставлених перед користувачами системи контролю використання повітряного простору, в значному ступені визначається інформаційним забезпеченням, яке базується на системах спостереження (СС) [1 – 4]. СС, що запитують, призначені для ідентифікації об'єктів (визначення їх державної належності) та отримання координатної та іншої польотної інформації від своїх об'єктів. СС, що запитує, вирішує задачу ідентифікації виявлених повітряних об'єктів (ПО) як в інтересах визначення ступеня їх небезпечності, так і при безпосередньому застосуванні зброї. Система ідентифікації (СІ) потребує цілевказування (ЦВ) від первинної СС і її інформація видається у систему обробки первинної СС. На етапі первинної обробки інформація від первинних СС та СІ об'єднується автоматично на координатному рівні [2], що потребує аналізу питань автоматичної обробки інформації ідентифікаційної СС [5, 6]. Однак принцип побудови СІ та система сигналів, які використовуються в них, призводять до суттєвих матеріальних затрат. Дійсно, роздільні здатності СІ значно перевищують роздільні здатності деяких первинних СС, що не завжди потрібно, оскільки при обмеженій кількості ПО імовірність знаходження "свого" та "чужого" літака на такій малій відстані незначна.

Метою роботи є дослідження якості об'єднання координатної інформації первинних СС та СІ.

Основна частина. Процес об'єднання інформації від первинних СС і СІ аналогічний процесу ЦВ. При цьому ЦВ можна розглядати, власне кажучи, як заявку на обслуговування визначеного об'єкта СІ. Задачею СІ є визначення координат ПО, які відповідають на сигнали запиту. У подальшому координати ПО, визначені первинною СС та СІ, порівнюються. Якщо вони співпадають, ПО привласнюється ознака "своя"; якщо ж СІ не визначила координати ПО,

об'єкту привласнюється ознака "чужа".

Одним із основних показників системи об'єднання інформації є імовірність правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих $P_{чч}$ об'єктів. Розглянемо показники якості СІ для двох випадків:

- 1) об'єм невизначеності (ОН) системи первинної СС та СІ однакові;
- 2) ОН СІ значно перевищує ОН системи первинної СС і в ОН СІ знаходяться декілька ПО.

Розглянемо перший випадок, коли в ОН СІ знаходиться один ПО (при наявності декількох ПО вони все одно не розпізнаються). Згідно з алгоритмом обробки, координатна інформація первинної СС і СІ об'єднуються, якщо різниця між оцінками азимуту та дальності ПО в двох системах не перевищує роздільних здатностей первинної СС за відповідними координатами.

В припущенні, що похибки вимірювання координат в первинній СС і СІ незалежні і розподілені за нормальним законом з нульовим середнім, імовірність об'єднання оцінок визначається формулою

$$P_{об} = \frac{1}{4} \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta\theta}{\sqrt{2\sqrt{\sigma_{\theta 1}^2 + \sigma_{\theta 2}^2}}} \right) \right] \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta r}{\sqrt{2\sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}}} \right) \right],$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл імовірностей; $\delta\theta$ и δr – роздільні здатності за азимутом та дальністю; $\sigma_{\theta 1}$ та $\sigma_{\theta 2}$ ($\sigma_{r 1}$ та $\sigma_{r 2}$) – похибки вимірювання азимуту (дальності) первинної СС та СІ відповідно.

Розрахунки за наведеним виразом представлені на рис. 1, де крива I відповідає $\sigma_{\theta 1} = 0.1\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.1\delta r$; крива II – $\sigma_{\theta 1} = 0.2\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.2\delta r$; крива III – $\sigma_{\theta 1} = 0.3\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.3\delta r$, а $k = \sigma_{\theta 2} / 0.1\delta\theta = \sigma_{r 2} / 0.1\delta r$.

Наведені розрахунки показують, що для забезпечення прийнятної якості об'єднання інформації первинної СС і СІ необхідно, щоб точність вимірювання координат ПО первинною СС в чотири рази перевищувала точність визначення координат СІ.

Розглянемо методику оцінювання якості ідентифікації для другого випадку.

Будемо вважати, що первинні СС проводять огляд заданої області простору з деяким періодом оновлення інформації про цільову обстановку. Якщо в ОН СІ

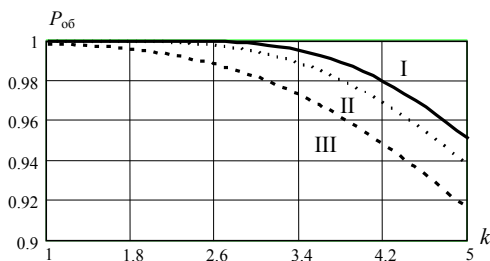


Рис. 1. Імовірність об'єднання інформації первинної СС та СІ

з'являється відразу декілька об'єктів, через недостатньо високу роздільну

здатність СІ неможливо однозначно прив'язати їх до ЦВ від інформаційного засобу. Для аналізу ефективності ідентифікації ПО розглянемо таку логіку ідентифікації виявлених ПО:

- первинна СС формує цільову обстановку в цілому в усій зоні відповідальності за поточний період огляду;
- зона відповідальності розбивається на декілька підзон, які не перекриваються. Кожна з них збігається з ОН СІ з таким розрахунком, щоб охопити всі виявлені об'єкти;
- проводиться ідентифікації всіх ПО, які знаходяться в кожній підзоні. Для цього на кожен групу ПО видається одне ЦВ, яке і визначає конкретне розташування ОН dV в межах зони.

Таким чином, задача зводиться до прийняття рішення СІ (при необхідності – разом з первинними СС) у поточному циклі ідентифікації по всім N ПО, які потрапили у визначений ОН dV . При цьому загальна кількість ПО в ОН в даному циклі огляду складається з N_c своїх та N_q чужих повітряних об'єктів.

З загального визначення імовірності правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих P_{cq} ПО як умовних ймовірностей прийняття "свого за свого" і "чужого за чужого" витікає:

$$P_{cc} = \frac{\bar{N}_{опс}}{\bar{N}_c}, \quad P_{cq} = \frac{\bar{N}_{опч}}{\bar{N}_q}, \quad (1)$$

де $\bar{N}_{опс}$, $\bar{N}_{опч}$ – математичне очікування кількості правильно ідентифікованих і прив'язаних до ЦВ своїх і чужих ПО в ОН, $\bar{N}_c$, $\bar{N}_q$ – математичне очікування кількості своїх та чужих ПО в ОН.

З врахуванням (1), імовірність правильної ідентифікації своїх ПО можна представити у виді

$$P_{cc} = \frac{\bar{N}_{опс}}{\bar{N}_c} = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} i P_{cc}(i, j) P(i, j)}{\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} i P(i, j)}, \quad (2)$$

де $P_{cc}(i, j)$ – імовірність ідентифікації "свій приймається за свого" і правильної прив'язки мітки "свій" до ЦВ при рівно i своїх та j чужих ПО, пред'явлених до ідентифікації (поданих на вхід СІ; $P(i, j)$ – імовірність пред'явлення рівно i своїх та j чужих ПО; i, j – кількість своїх та чужих ПО, пропонувані до ідентифікації. Величину $P_{cc}(i, j)$ можна представити у виді

$$P_{cc}(i, j) = \frac{\bar{N}_{опс}(i, j)}{i} = \sum_{k=1}^i P_{опс}(k, j),$$

де $\overline{N_{\text{опс}}(i, j)}$ – математичне очікування кількості правильно ідентифікованих та прив'язаних до ЦВ своїх ПО при пред'явленні рівно i своїх та j чужих ПО; $k = 1, 2, \dots, i$ – поточна вихідна кількість ідентифікованих і прив'язаних до ЦВ своїх ПО; $P_{\text{опс}}(k, j)$ – імовірність ідентифікації і прив'язки до ЦВ рівно k своїх ПО при подачі на вхід СІ рівно i своїх та j чужих ПО, яка чисельно дорівнює імовірності появи на виході СІ рівно k ідентифікованих і прив'язаних своїх ПО при подачі на вхід СІ рівно i своїх та j чужих ПО (диференційна імовірність ідентифікації рівно k з i своїх ПО).

Отже, можна відзначити, що процес ідентифікації містить, як мінімум, три фази:

1. Виявлення і вимірювання координат ПО СІ.

2. Селекція ПО.

3. Прив'язка ПО до ЦВ, яка включає порівняння координат ПО, визначених системами первинної СС та СІ, з наступною ідентифікацією виявленого повітряного об'єкту.

У загальному випадку кожна з фаз носить випадковий характер і може бути описана числовим параметром:

- перша фаза – імовірністю вимірювання $P_{\text{вим}}$ ознаки цілі, за якою буде проводитися її селекція;

- друга фаза – імовірністю селекції $P_{\text{сел}}$, яка характеризує здатність СІ класифікувати ПО на свої і чужі за виміряною в першій фазі ознакою;

- третя фаза – імовірністю правильної прив'язки $P_{\text{пр.прив}}$ ознаки "свій-чужий" до ЦВ (залежить від роздільної здатності СІ).

Розглянемо особливості розрахунку відповідних ймовірностей.

В якості ознаки селекції або прив'язки ПО використовують, як правило, просторові координати. Для розрахунку $P_{\text{вим}}$ доцільно застосовувати математичну модель реального фізичного каналу з врахуванням зовнішніх і внутрішніх умов функціонування літакових відповідачів [7]. Таким же способом розраховується $P_{\text{сел}}$, причому при моделюванні СІ необхідно враховувати як власні фізичні параметри селектора, так і алгоритми прийняття рішення "свій-чужий" СІ в цілому.

Цільову обстановку в зоні огляду первинної СС рекомендується моделювати в дискретно-точковому імовірнісному уявленні з застосуванням пуассонівських законів розподілу. Для випадку незалежних випадкових пуассонівських просторових полів точок (де точками позначаються ПЦ, які необхідно опізнати), імовірність появи рівно i своїх та j чужих ПО в ОН визначається співвідношеннями:

$$P(i, j) = P(i)P(j),$$

$$P(i) = \frac{n_c^i e^{-n_c}}{i!}, \quad P(j) = \frac{n_q^j e^{-n_q}}{j!},$$

де $n_c = \bar{N}_c$, $n_q = \bar{N}_q$ – середні кількості своїх та чужих ПО, які знаходяться в розглянутому ОН, причому $n_c = a_c dV$, $n_q = a_q dV$; a_c , a_q – об'ємні щільності своїх та чужих ПО, обумовлені поточною тактичною ситуацією в зоні відповідальності.

За аналогією з (2), імовірність правильної ідентифікації чужих ПО можна представити у вигляді:

$$P_{\text{чч}} = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} j P_{\text{чч}}(i, j) P(i, j)}{\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} j P(i, j)},$$

або, враховуючи незалежність випадкових полів своїх і чужих ПО:

$$P_{\text{чч}} = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{j=1}^{\infty} j P_{\text{чч}}(i, j) P(i, j)}{\sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{j=1}^{\infty} j P(i, j)},$$

де i, j – індекси, що відносяться до своїх і чужих ПО; $P_{\text{чч}}(i, j)$ – імовірність правильної ідентифікації чужих ПО і прив'язки ознаки "чужий" до ЦВ при подачі на вхід СІ рівно j чужих та i своїх ПО; $P(i)$, $P(j)$ – імовірності появи рівно i своїх та j чужих ПО на вході СІ.

Відзначимо також, що імовірність $P_{\text{чч}}$ і імовірність прийняти чужу ціль за свою $P_{\text{чс}}$ утворюють повну групу випадкових подій, звідки $P_{\text{чс}} = 1 - P_{\text{чч}}$.

Проведемо короткий аналіз ефективності каналу СІ, ОН якого значно перевищує ОН первинної СС. В цьому випадку основним засобом ідентифікації є запитувач СІ, суміщений з первинною СС. ПО присвоюється ознака "своя", якщо ПО відповіла на сигнал запиту і за просторовими координатами, визначеними СІ, ціль ототожнилась з відміткою – ЦВ від первинної СС. При відсутності ознаки "своя" на виході СІ ПО буде сприйнятий як "чужа". Таким чином, в СІ вимірювач видає інформацію про просторові координати ПО, який відповідає. На основі цих вимірювань ПО селектуються за просторовими координатами. Здатність з просторової селекції ПО характеризується об'ємом невизначеності dV СІ. Таким чином, ОН СІ можна назвати областю простору, в кожній точці якого дальність та кутові координати повітряного об'єкту, виміряні СІ, остаються незмінними.

Координати ПО вимірювач СІ видає тільки в тому випадку, якщо СІ виявила ПО. Отже, імовірність визначення ознаки "свій", тобто видачі

просторових координат цілі на виході запитувача при ідентифікації свого літака $P_{\text{вим.с}}$, залежить від технічних рішень, прийнятих у СІ, кількості запитувачів і відповідачів, які працюють у єдиному просторі і створюють внутрішньосистемні завади досліджуваній СІ, та наявності й інтенсивності навмисних корельованих і некорельованих завад [7].

Істотним параметром інформаційного каналу відповіді СІ вважається його пропускна здатність – кількість відповідей $i_{\text{кр}}$, що можуть одночасно опрацьовуватися в одному ОН. Звичайно пропускна здатність становить лише одну відповідь, причому одночасний прихід двох і більше відповідей може призвести до їх взаємного спотворення і придушення сигналів відповіді, що виключає вимірювання координат ПО СІ.

Розглянемо останню фазу процесу ідентифікації – прив'язку ознаки "свій-чужий" до цілевказування при перебуванні в ОН декількох ПО. В основному будемо орієнтуватися на алгоритм прив'язки, який використовує випадковий вибір (призначення) свого об'єкта із сукупності пред'явлених ПО.

При зазначених умовах часткові імовірності правильного ідентифікації своїх літаків становлять:

$$P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, 0_{\text{ч}}) = P_{\text{вим.с}}, P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, 0_{\text{ч}}) = P_{\text{изм.с}} P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{вим.с}} [1/(j+1)];$$

$$P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{изм.с}} [1/(j+1)]; P_{\text{сс}}(0_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{сс}}(i_{\text{с}} > 1, j_{\text{ч}}) = 0,$$

а інтегральна імовірність ідентифікації своїх літаків для пуассонівського поля ПО визначається

$$P_{\text{сс}} = P_{\text{изм.с}} \frac{n_{\text{с}} e^{-n_{\text{с}}}}{1 - e^{-n_{\text{с}}}} e^{-n_{\text{ч}}} \sum_{j=0}^{N_{\text{ч}}} \frac{n_{\text{ч}}^j}{(j+1)!}, \quad (3)$$

де $n_{\text{с}}$, $n_{\text{ч}}$ – середня кількість своїх і чужих ПО, що знаходяться в ОН; $N_{\text{ч}}$ – кількість чужих ПО.

Результати розрахунку $P_{\text{сс}}(n_{\text{с}}, n_{\text{ч}})$ при різних співвідношеннях $n_{\text{с}}$ та $n_{\text{ч}}$ наведені на рис. 2.

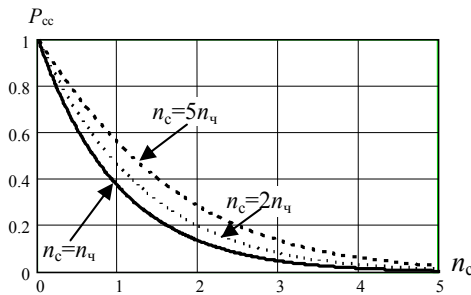


Рис. 2. Імовірність ідентифікації "своїх" ПО

З рис. 2 видно, що якість ідентифікації своїх ПО суттєво залежить від наявності "своїх" та "чужих" ПЦ в ОН.

Для підвищення якості ідентифікації своїх ПО можливо запропонувати адаптивне управління ОН відповідача при використанні методів ідентифікації, заснованих на принципах обслуговування запитувачів чи мережі загалом.

Висновки. Вищерозглянуте дозволяє стверджувати, що при об'єднанні інформації первинних СС та СІ можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність СІ (зробити її керованою) без істотного зменшення імовірності правильної ідентифікації ПО [8].

Список літератури: 1. *Lok J.J.* C² for the air warrior // *Jane's International Defense Review*. – October 1999. – № 2. – P. 53-59. 2. *Farina A., Studer F.A.* Radar Data Processing Introduction and Tracking. Vol. 1. Research Studies Press. Letch worth England. 1985. – P. 121-123. 3. *AAP-28(B)* NATO Glossary of Identification. – NATO Standardization Agency, 2002. – С. 350. 4. *Маляренко А.С.* Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник. – Харьков: ХУПС, 2007. – 78 с. 5. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко*. – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 6. Теоретичні основи побудови заводо захищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко*. – К.: МОУ, 2004. – 271 с. 7. *Обод І.І., Тюрин А.А., Яровая А.В.* Сравнительный анализ существующих систем идентификации воздушных объектов // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць. – Вип. 2 (6). – К.: ЦНДІ НІУ, 2008. – С. 21-25. 8. *Обод І.І., Тюрин О.О.* Спосіб ідентифікації об'єктів. Патент на корисну модель № 32641 від 26.05.2008.

Статтю представлено д.т.н. проф. НТУ "ХПІ" Ободом І.І.

УДК 004.045:621.396.967.2

Анализ качества объединения информации идентификационных систем единой информационной сети систем наблюдения/ Тюрин А.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 176 – 182.

Показано, что при объединении координатной информации первичных систем наблюдения и системы идентификации в единой информационной сети систем наблюдения возможно существенным образом снизить раздельную способность идентификационной системы (сделать ее управляемой) без существенного уменьшения вероятности правильной идентификации воздушного объекта. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: координатная информация, система наблюдения, система идентификации, раздельная способность.

UDC 004.045:621.396.967.2

Analysis of uniting information quality of the identification systems of a uniform informational network of supervisory control system / Tyurin A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 176 – 182.

It is shown that at uniting coordinate information of the primary supervision systems and system of identification in the uniform informational network of the systems of supervision possibly to reduce separate ability of the identification system (to do its guided) substantial appearance without the substantial diminishing of correct authentication of air object probability. Figs: 2. Refs: 8 titles.

Keywords: coordinate information, supervision system, system of identification, separate ability.

Поступила до редакції 05. 04.2009

Н.А. ЧИКИНА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
И.В. АНТОНОВА, аспирант НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ У РАБОЧИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В статье представлены результаты исследования некоторых показателей состояния здоровья в группах риска с целью установления пороговых значений, соответствующих обратимым реакциям адаптации к вредным условиям труда или состоянию предболезни. Для количественной оценки состояния здоровья работающих использованы интегральный коэффициент ухудшения крови, энтропия лейкоцитарной формулы крови и адаптационный индекс.

Ключевые слова: оценка состояния здоровья, адаптация, гематологические показатели, группа риска.

Постановка проблемы. За последние 20 – 30 лет существенно изменились как социальная и производственная среда, в которой живет человек, так и уровень его здоровья [1]. Принципиальная ориентация здравоохранения на нозологический подход к оценке здоровья привели к тому, что и меры первичной профилактики заболеваний разрабатываются по отношению к определенным видам возможной патологии.

Трудовая деятельность человека должна не только не вызывать у него патологических реакций, но и обеспечивать полное восстановление ресурсов организма в период отдыха между нагрузками. Для этого реакция организма должна находиться в пределах физиологической адаптации и не превышать порогов компенсации. Для практической реализации этого положения должны быть выработаны определенные показатели, которые могут контролироваться в условиях реальной трудовой деятельности.

Анализ литературы. Ведущие ученые, занимающиеся гигиеной труда и смежными специальностями, активно ведут разработку методов и критериев оценки влияния факторов окружающей среды на здоровье населения [1 – 4].

Существует около 100 определений понятия "здоровье". В основном, под здоровьем понимают возможность организма активно адаптироваться к условиям окружающей среды. Состояние здоровья человека динамично в связи с изменением окружающей среды [5], поэтому здоровье можно определить не как состояние, а как процесс. В связи с этим организм человека, испытывающий в современных условиях непрерывные стрессорные воздействия (производственные, психоэмоциональные и др.), необходимо рассматривать как динамическую систему, которая непрерывно приспосабливается к условиям окружающей среды путем изменения уровня функционирования отдельных систем и соответствующего напряжения регуляторных механизмов.

В качестве критериев, количественно определяющих уровень индивидуального здоровья, могут использоваться только те критерии, которые связаны с его сущностными характеристиками. К ним относятся показатели, в той или иной степени отражающие деятельность самоорганизации живой системы – адаптации, гомеостаза, реактивности и т.д. Оценка адаптационных возможностей организма все в большей мере рассматривается как один из самых важных критериев здоровья.

Существует целый ряд интегральных гематологических показателей, позволяющих оценить состояние различных звеньев иммунной системы, не прибегая к специальным методам исследования. Некоторые из этих показателей изменяются даже на ранних этапах развития заболевания, что даёт возможность использовать их при оценке риска развития (прогноза) заболевания.

Для количественной оценки состояния здоровья были апробированы следующие интегральные показатели периферической крови: адаптационный индекс (АД) [1], интегральный коэффициент ухудшения крови (ИКУК) и энтропия лейкоцитарной формулы крови (ЭЛФК) [6].

АД, вычисляемый как отношение процентного содержания лимфоцитов к сегментоядерным нейтрофилам, отражает взаимоотношение гуморального и клеточного звеньев иммунной системы.

Биологический смысл показателя ИКУК состоит в том, что с увеличением отклонений в организме человека, вызванных различными факторами, значение показателя будет уменьшаться. Это соответствует снижению устойчивости системы показателей крови, для которой в оптимальном состоянии значение данного интегрального показателя стремится к 1.

С помощью показателя ЭЛФК [6] для лейкоцитарной формулы крови определяется значение содержащейся в ней информации, систематическое, направленное изменение которой выявляет тенденцию к заболеванию практически здорового человека. Этот показатель может определяться как индивидуально, так и для групп лиц.

Исследования, проводимые в рамках научно-исследовательских работ Харьковского НИИДиВ совместно с НТУ "ХПИ" на предприятиях химико-фармацевтической промышленности, позволили получить математическую модель развития адаптационных реакций на основе анализа динамики адаптационного индекса [7, 8], выявить значимые внешние и внутренние факторы риска развития аллергодерматозов [9, 10]. Однако проведенный анализ данных не даёт возможности идентифицировать состояние рабочих в стажных группах, проанализировать динамику состояния здоровья рабочих из различных групп риска.

Целью статьи является изучение возможностей применения интегральных показателей периферической крови для оценки состояния здоровья рабочих и служащих предприятий химико-фармацевтической отрасли.

Основная часть. Пусть для описания множества Ω , состоящего из m объектов $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m\}$, используется n признаков (предполагаемых факторов риска): $\{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n\}$. Каждому объекту A_i ($i = \overline{1, m}$) соответствует некоторое значение целевого признака X_0 . Признаки X_j ($j = \overline{0, n}$) измерены в порядковой или номинальной шкале. Целевой признак X_0 имеет k_0 градаций, т.е. принимает k_0 различных значений: $X_0^{(1)}, X_0^{(2)}, \dots, X_0^{(k_0)}$. Тогда для решения поставленной задачи множество объектов Ω необходимо разбить на k_0 подмножеств Ω_p ($p = \overline{1, k_0}$), таких, что $\Omega_p \cap \Omega_q = \emptyset$, $p \neq q$, $\bigcup_p \Omega_p = \Omega$.

В настоящем исследовании все обследованные были разделены на 5 ($k_0 = 5$) групп: Ω_1 – стаж работы на предприятии до 5 лет; Ω_2 – стаж работы на предприятии 6 – 10 лет; Ω_3 – стаж работы на предприятии 11 – 15 лет, Ω_4 – стаж работы на предприятии 16 – 20 лет; Ω_5 – стаж работы на предприятии более 20 лет.

Среди признаков, характеризующих состояние здоровья объекта A_i ($i = \overline{1, m}$), выделим количественные признаки $X_{\text{АД}}$, $X_{\text{ИКУК}}$, $X_{\text{ЭЛФК}}$

В свою очередь в каждом подмножестве Ω_p ($p = \overline{1, k_0}$) выделялись группы риска $\Omega_{p1} = \{\text{Б, ГР1}\}$, $\Omega_{p2} = \{\text{ГР2, 3}\}$, $\Omega_{p3} = \{\text{ПЗ}\}$. Число групп риска в подмножествах Ω_p ($p = \overline{1, k_0}$) одинаково, и определялось на начальных стадиях исследования.

Представленная на рисунках 1 – 3 информация получена на подмножестве исходного множества Ω , соответствующего показателю "Пол" со значением "Женский". Исследования по второму подмножеству Ω также были проведены, однако проследить динамику значений рассматриваемых коэффициентов не удалось ввиду малочисленности стажных подгрупп.

Анализ полученных результатов позволил выявить следующее:

1. Адаптация рабочих к вредным условиям труда на предприятиях химико-фармацевтической отрасли легче всего проходит (рис.1) в группе Ω_{p3} , достигая максимума, также как и в Ω_{p2} , в третьей стажной группе. Однако в четвёртой стажной группе для Ω_{p2} значение признака $X_{\text{АД}}$ резко уменьшается, что косвенно отражено в увеличении числа хронических заболеваний неаллергического генеза у рабочих этой группы. В группе Ω_{p1} ,

напротив, в третьей стажной группе значение $X_{\text{АД}}$ минимально, а в четвёртой соответствует наибольшему уровню адаптационных возможностей организма.

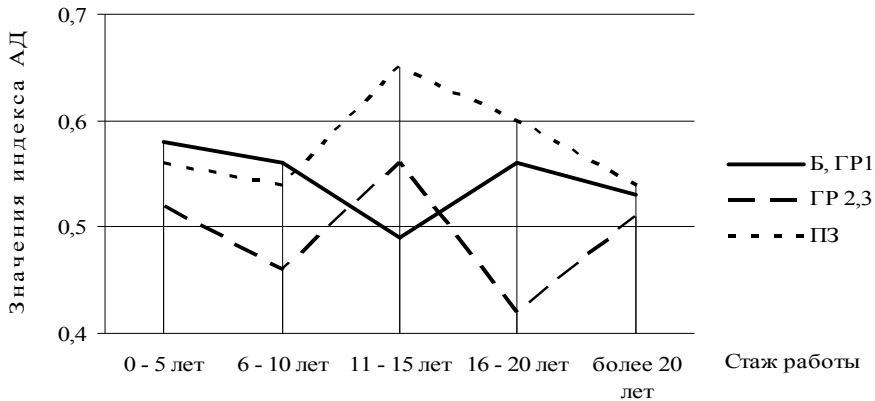


Рис. 1. Динамика значений индекса АД в группах риска

Удалось доказать существенное различие (при уровне значимости $\alpha = 0,05$) между средними значениями показателя $X_{\text{АД}}$ в Ω_{p1} и Ω_{p2} в третьей и четвёртой стажных группах.

2. Наибольшие отклонения в организме, характеризуемые показателем $X_{\text{ИКУК}}$, наблюдаются в четвёртой стажной группе у Ω_{p1} и Ω_{p3} (рис. 2).

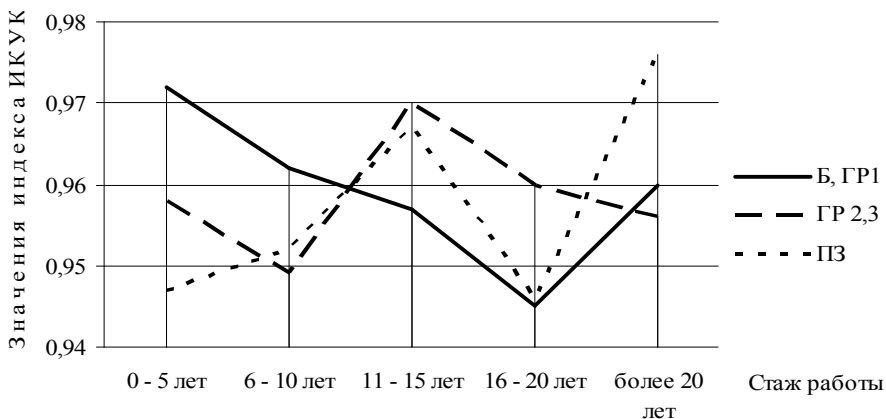


Рис. 2. Динамика значений показателя ИКУК в группах риска.

Наличие у Ω_{p2} в анамнезе различных хронических заболеваний неаллергического генеза является причиной наибольших отклонений от нормы в организме во второй стажной группе. В значениях $X_{ИКУК}$ для Ω_{p1} наблюдается тенденция к уменьшению значения этого показателя с увеличением стажа работы, которую можно доказать, например, с помощью метода Мостеллера. Кроме того, зафиксированы в первой стажной группе существенные различия между состояниями Ω_{p1} и Ω_{p3} , и в пятой стажной группе между Ω_{p2} и Ω_{p3} .

3. Показатель $X_{ЭЛФК}$ оказался эффективным лишь для идентификации Ω_{p3} , в частности, в первой, второй и четвёртой стажных группах (рис. 3).

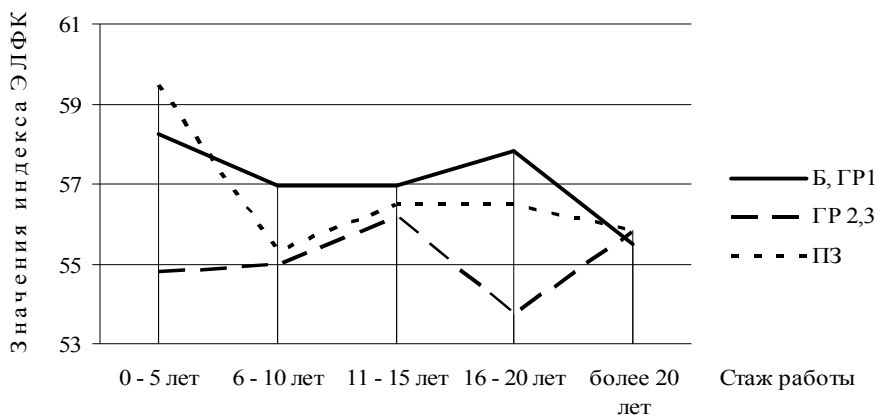


Рис. 3. Динамика значений показателя ЭЛФК в группах риска.

Зафиксированы также существенные различия (при уровне значимости $\alpha = 0,05$) в значениях показателя $X_{ЭЛФК}$ в первой и четвертой стажных группах для состояний Ω_{p1} и Ω_{p2} , а также Ω_{p2} и Ω_{p3} .

Выводы. Таким образом, каждый из рассмотренных показателей $X_{АД}$, $X_{ИКУК}$, $X_{ЭЛФК}$ оценки состояния здоровья рабочих позволяет в некоторых случаях выявить существенные различия между группами Ω_{pi} ($p = \overline{1, 5}$, $i = \overline{1, 3}$). Но ни одному из них авторы не отдают предпочтения, полагая, что эти показатели лишь дополняют друг друга. Тем не менее, наиболее чувствительным из этих показателей к условиям труда оказался показатель ЭЛФК, а дифференциацию стажных групп работающих лучше проводить по показателю ИКУК.

Список литературы: 1. Баевский Р.Н., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболевания. – М.: Медицина, 1977. – 209 с. 2. Апанасенко Г.Л. Методика оценки уровня физического здоровья по прямым показателям // Соц. Гигиена. – 1988. – Вып. 19. – С. 18–23. 3. Казначеев В.П. Проблемы экологии человека. – М.: Наука, 1986. – 260 с. 4. Минцер О.П., Ермакова И.И., Лябах Е.Г. Здоровье индивида и популяции: определение и подходы к оценке // Кибернетика и системный анализ. – 1992. – № 6. – С. 175–178. 5. Брехман И.И. Валеология – наука о здоровье. – М., 1990. – 287 с. 6. Тихончук В.С., Ушаков И.Б., Карпов В.Н., Зуев В.Г. Возможности использования новых интегральных показателей периферической крови человека // Военно-медицинский журнал. – 1992. – № 3. – С. 27–31. 7. Чикина Н.А., Антонова И.В. Идентификация состояния здоровья на основе анализа типов реакции адаптации у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков, НТУ "ХПИ". – 2008. – № 24. – С. 178–184. 8. Чикина Н.А., Антонова И.В. Математические модели адаптации к вредным условиям труда на основе метода корреляционной адаптометрии // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков, НТУ "ХПИ". – 2008. – № 49. – С. 184–189. 9. Солощенко Э.Н., Чикина Н.А., Антонова И.В. Многофакторный дисперсионный анализ в оценке факторов риска развития аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий // Дерматология, косметология, сексопатология. – К.: МЗ Украины, 2006. – № 3–4 (9). – С. 43–47. 10. Чикина Н.А., Антонова И.В. Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий // Тр. Международной науч.-техн. конф. "MicroCAD – 2007". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. Ч.8. – С. 195–200.

УДК 681.518

Оцінка стану здоров'я у робітників підприємств хіміко-фармацевтичної промисловості за використанням гематологічних показників / Чікіна Н.О., Антонова І.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 183 – 188.

У статті наведені результати дослідження деяких показників стану здоров'я в групах ризику з ціллю встановлення граничних значень, що відповідають оборотним реакціям адаптації до шкідливих умов праці або преморбідним станам. Для кількісної оцінки стану здоров'я працівників використані інтегральний коефіцієнт погіршення крові, ентропія лейкоцитарної формули крові та адаптаційний індекс. Іл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: оцінка стану здоров'я, адаптація, фактори ризику, гематологічні показники, група ризику.

UDC 681.518

Estimation of health state for workers of chemical and pharmaceutical industry enterprises by means of hematological indexes / Chikina N.O., Antonova I.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 183 – 188.

In the article the results of research of some indexes for estimation of health state in risk groups are presented to set the threshold values corresponding to reversible responses of adapting to harmful working conditions or a preillness state. For a quantitative estimation of a worker's health state are used integral index of blood deterioration, relative entropy of leukocyte formula and adaptation index. Figs.: 3. Refs.: 10 titles.

Key words: estimation of health state, adaptation, hematological indexes, group of risk.

Поступила в редакцію 25.04.2009

И.С. ЧИЧЕРИНДА, инженер-физик отделения лучевой терапии ГУ ИМР им. С.П. Григорьева АМН Украины (г. Харьков),
Л.А. АВЕРЬЯНОВА, канд. техн. наук, доц. БМЭ ХНУРЕ (г. Харьков)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОРФОДЕНСИТОМЕТРИИ В ПЛАНИРОВАНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ РАКА ЛЕГКОГО

В работе рассматриваются возможности программного анализа рентгенограммы грудной клетки при определении размеров опухоли легкого. Проведен эксперимент и сравнительный анализ результатов визуального и программного определения параметров мишени с помощью компьютерной морфоденситометрии. Результаты работы предлагается использовать для уточнения топометрических параметров мишени в системах планирования лучевой терапии.

Ключевые слова: рентгенограмма, опухоль легкого, параметры мишени, морфоденситометрия, лучевая терапия.

Постановка проблемы. Среди наиболее актуальных задач современной медицины выделяется задача повышения эффективности лечения онкологических больных, что, в свою очередь, обеспечивается постоянным совершенствованием методологического и физико-технического обеспечения лучевой терапии. Одним из наиболее опасных видов онкопатологии является рак легкого (РЛ). Заболеваемость РЛ неуклонно растет во всех развитых странах мира (рис.1) и обусловлена ухудшением экологической ситуации, курением и другими факторами риска. Повсеместно наблюдается и увеличение показателей смертности от РЛ. В большинстве промышленно развитых стран мира в последнее десятилетие РЛ занимает первое место в структуре онкологической заболеваемости [1].

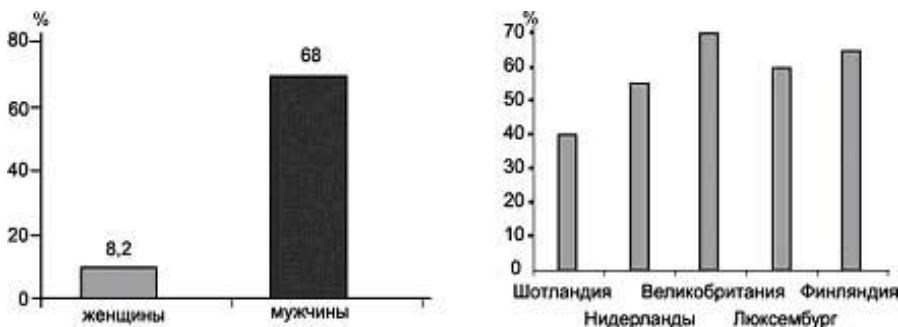


Рис. 1. Заболеваемость раком легкого в структуре онкозаболеваемости (данные по полу и по странам)

Выявление РЛ происходит, как правило, на поздней (III-IV) стадии процесса, и далеко не всем пациентам (менее, чем 20%) можно оказать хирургическую помощь. В этих случаях улучшение прогноза течения заболевания связано в основном с успешным проведением лучевой терапии.

Лучевая терапия является крайне науко- и техноемкой отраслью медицины. По данным Всемирной организации здравоохранения успех лучевой терапии на 50% зависит от радиочувствительности опухоли, на 25% – от аппаратного оснащения и на 25% – от выбора рационального плана лечения. Поэтому наиболее ответственным компонентом лучевой терапии является предлучевая подготовка, особенно ее физико-топометрический этап, предполагающий стадии определения объема мишени, расчета дозных полей, изготовления индивидуальных устройств формирования пучка, а также верификации плана облучения с учетом имеющейся клинической информации. Проведение каждой из этих стадий основывается на фундаментальных биофизических подходах, применяемых в ядерной медицине. Конкретная методологическая и техническая реализация процесса предлучевой подготовки зависит от обеспеченности клиники специализированным оборудованием, достоверными методиками получения и обработки информации. В этих направлениях ведется постоянный поиск путей совершенствования процесса лучевой терапии. При этом особое внимание уделяется вопросам максимальной защиты от облучения здоровых органов и уменьшения тяжести побочных эффектов лучевой терапии.

Анализ литературы. Проведение предлучевой подготовки основано на анализе диагностических изображений (рентгенограмм, рентгеновских компьютерных томограмм, ультразвуковых, магниторезонансных изображений) в зоне интереса с целью определения объема опухоли и топометрических параметров мишени [2].

При определении объема мишени должны быть соблюдены достаточно жесткие требования в соответствии с рекомендациями, сделанными в докладах № 50 и № 62 ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurement). Прежде всего, это понятие о GTV (gross tumor volume) – большом опухолевом объеме, т.е. фактически самой опухоли. CTV (clinical target volume) – клинический объем мишени, включающий в себя зону субклинических проявлений заболевания, которые не могут быть определены существующими диагностическими методами. PTV (planning target volume) – планируемый объем мишени – геометрическая концепция, принятая для того, чтобы обеспечить доставку требуемой дозы облучения к клиническому объему мишени [3]. Все вышеупомянутые объемы (рис. 2) и контуры кожи должны быть нанесены на все изображения, используемые для планирования облучения.

Основной задачей составления адекватного плана лечения является наиболее точное определение и оконтуривание объема мишени, что

обеспечивает достижение наилучшего клинического эффекта при уменьшении радиационного поражения окружающих здоровых тканей.

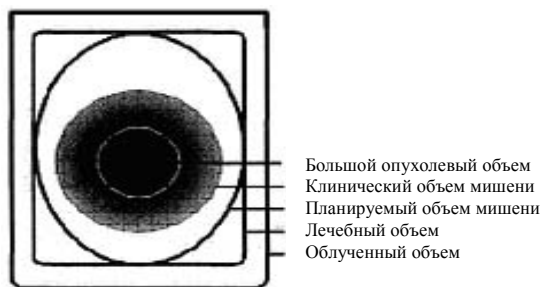


Рис. 2. Соотношения между разными видами объемов опухолевого процесса

Цель статьи – анализ возможностей совершенствования методики определения параметров мишени по рентгенограмме грудной клетки при планировании лучевой терапии РЛ.

Особенности анализа рентгенограммы больного РЛ при определении параметров мишени. При планировании лучевой терапии до сих пор наиболее часто применяются рентгеновские изображения, поскольку рентгенография является самым доступным методом визуализации структуры организма, в том числе и при наличии онкопатологии. Рентгенограмма грудной клетки человека является аддитивным теневым изображением, фиксирующим результат ослабления рентгеновского излучения структурами, различными по морфологическому строению и плотности (рис. 3а). На рентгенограмме отчетливо видны костные структуры (ребра, позвоночник) за счет максимальной минеральной плотности. Тень меньшей интенсивности образует область средостения. Легочная ткань обладает наименьшей способностью ослаблять рентгеновское излучение, поэтому здоровые легкие на изображении выглядят наиболее темными. Опухолевый очаг РЛ выделяется на изображении грудной клетки как область повышенной плотности, неоднородная по структуре и имеющая размытые очертания.

Для планирования лучевой терапии необходимо как можно точнее определить большой опухолевый объем (GTV), что с точки зрения анализа изображения сводится к задаче поиска границы раздела нормальной и пораженной легочной ткани. Граница раздела объектов на рентгенограмме в общем случае формируется за счет перепада яркости (плотности) и может включать в себя зону нерезкости: геометрической (за счет расхождения рентгеновского пучка), морфологической (плавное изменение плотности и толщины объекта), динамической (движение объекта), технологической

(разрешение детектора). Таким образом, точность определения контура на рентгенограмме зависит от ширины зоны нерезкости, изначально присутствующей на изображении. Вторым фактором, определяющим точность оконтуривания объекта на изображении, является ограниченная возможность пространственно-яркостного анализа изображения. В клинических условиях наиболее часто анализ рентгенограмм производится визуально. Известно, что зрительный анализатор человека обладает ограниченной разрешающей способностью: предел обнаружения деталей изображения – 0,15 мм, перепада яркости – $1,5 \div 2\%$ при контрасте 100% [4]. Применение цифровых технологий в рентгенографии позволило достичь субъективного улучшения условий визуального анализа изображения (регулировка яркости, контраста, масштаба). Однако результат такого анализа имеет в большей степени качественный, описательный характер. В то же время задача определения размеров мишени для облучения опухоли требует получения достоверного количественного результата.

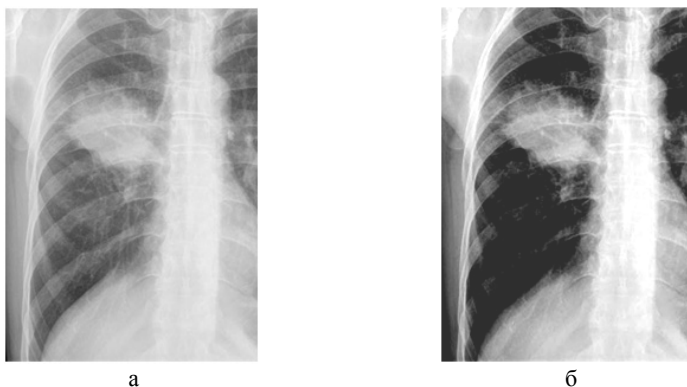


Рис. 3. Рентгенограмма грудной клетки при РЛ:
а – исходное изображение; б – графический препарат после пороговой обработки

Для решения поставленной задачи, то есть вычленения "полезного" объема опухоли используется сегментация изображения, простейшим методом реализации которой является пороговая обработка рентгеновского изображения [5]. В ряде случаев удается получить требуемый графический препарат путем разделения всех элементов изображения на два класса по признаку яркости: объект и фон. В данной работе анализируется цифровое изображение, представляющее собой полутоновую (серошкальную) цифровую рентгенограмму грудной клетки человека (пространственное разрешение – 300 dpi, дискретизация по яркости – 256 градаций серого). При этих параметрах потенциальный предел обнаружения деталей изображения составляет 0,085 мм, перепада яркости – 0,4%.

В данной задаче объектом анализа является изображение опухоли, а фоном по отношению к ней можно считать окружающую неповрежденную легочную ткань. Определение интервала градаций серого, которые будут отнесены к фону, производится путем яркостного анализа прилежащего фрагмента здорового легкого. Минимальное значение яркости в этом интервале определяет нижний порог яркости. После этого «пороговому» значению яркости присваивается нулевое значение, а остальные градации распределяются в заданном диапазоне яркостей (рис. 3б). Такое несложное преобразование дает возможность исключить из анализа непродуктивную часть изображения и сосредоточиться на зоне опухолевого процесса, отличающейся на рентгенограмме повышенным естественным контрастом.

Далее задача определения объема мишени сводится к нахождению контура опухоли. Для высококонтрастных компактных объектов наиболее простым способом нахождения их контура является определение разрывов яркости. Затем необходимо прорисовать контур опухоли по найденным точкам перепада яркости. Эту задачу можно решить, оценивая рентгенограмму визуально и нанося на нее контур вручную, применяя графические манипуляторы. Пока что в клинической практике это основной метод получения контуров мишени. Однако наличие компьютерных средств обработки изображений позволяет решить эту задачу более строго, применяя унифицированный, теоретически обоснованный алгоритм сегментации изображения опухоли легкого. При выполнении предлучевой подготовки такой подход поможет точнее определить большой объем мишени за счет включения в него малоконтрастных краевых структур опухоли, незаметных при визуальном анализе. Можно предположить, что компьютерный анализ рентгенограммы позволит изменить конфигурацию мишени в сторону увеличения большого объема. Предполагаемая зона субклинических изменений также будет скорректирована. Это позволит реализовать принцип конформности облучения и не допустить недооценки размеров мишени.

Методика морфоденситометрического определения размера мишени.

Проводится яркостный анализ изображения опухоли в плоскости XOY вдоль выбранного направления X с построением кривой распределения яркости (денситограммой объекта).

Компьютерная рентгенограмма рассматривается как двумерная матрица пикселей размером $u \times v$. Каждый пиксель характеризуется координатами $x_i \in [x_1; x_u]$, $y_i \in [y_1; y_v]$ и яркостью $P_{i,j}(x_i; y_j)$ (рис. 3). Для определения морфометрических размеров опухоли из рентгенограммы (рис. 3) в зоне интереса выделяется прямоугольный фрагмент изображения WH размером $(q - b + 1) \times (k - f + 1)$ пикселей. Анализ яркости пикселей во фрагменте WH проводится путем сканирования $(k - f + 1)$ строк длиной $(q - b + 1)$ пикселей.

В результате получаем $(k - f + 1)$ одномерных матриц значений яркости (денситограмм объекта в соответствующих сечениях), из которых формируется массив значений яркости во всём фрагменте WH :

$$WH = \begin{bmatrix} P(x_b, y_f), & P(x_{b+1}, y_f), & \dots, & P(x_q, y_f) \\ P(x_b, y_{f+1}), & P(x_{b+1}, y_{f+1}), & \dots, & P(x_q, y_{f+1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(x_b, y_k), & P(x_{b+1}, y_k), & \dots, & P(x_q, y_k) \end{bmatrix}$$

Каждая одномерная матрица-строка анализируется на максимальные и минимальные значения яркости, после чего определяется морфометрический размер объекта D . При возрастании аргумента x определяются последовательно значения яркости $P_{\min}(x_e)$, $P_{2\min}(x_n)$ в точках разрыва. Расстояние между абсциссами пикселей $(x_n - x_e)$ дает значение размера D . Далее последовательно соединяются точки разрыва яркости справа и слева и в плоскости XOZ с выбранным шагом по Z строится изображение мишени.

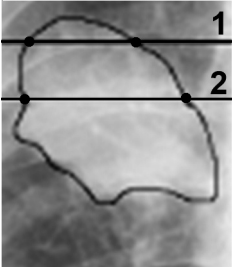
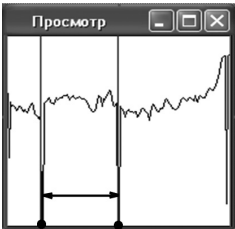
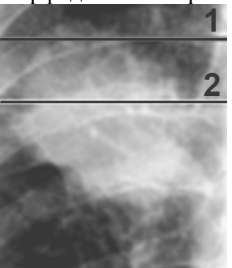
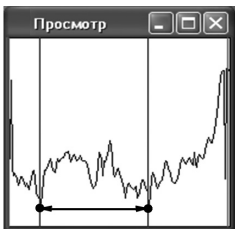
Приведённая методика апробирована с применением программного средства "X-Rays" [6], которое является инструментальным средством для компьютеризированной рентгенодиагностики. Предусматривается, что объектам с наибольшей физической плотностью (на мониторе компьютера имеют наибольшую яркость) соответствует наибольшее значение градации серого (255). Программа позволяет построить денситограмму фрагмента рентгеновского изображения вдоль оси X , определить абсциссы критических точек денситограммы и рассчитать расстояние между ними.

Был проведен эксперимент, целью которого было выявление расхождений в определении контура мишени при визуальном и программном морфоденситометрическом анализе рентгеновского изображения грудной клетки. Один и тот же снимок анализировался вдоль двух заданных направлений 1 и 2 врачом-экспертом и оператором ПК (табл.), в обоих случаях были построены денситограммы анализируемого фрагмента изображения. Врачу предварительно было предложено оконтурить опухоль черной линией, что давало возможность однозначно определить положение точек отмеченного контура на каждой из программно построенных денситограмм (строка 1 табл.). Оператор воспроизвел приведенную выше методику анализа изображения и получил свои денситограммы вдоль тех же линий, что и врач (строка 2 табл.). В таблице приведены поперечные размеры мишени, вычисленные как расстояния между минимумами каждой денситограммы.

Из табл. видно, что измеренные визуально рентгеноморфометрические размеры мишени оказываются достоверно меньше, чем эти же размеры, измеренные программно.

Таблица

Результаты морфоденситометрического определения размера мишени

Метод определения контура мишени на рентгенограмме	Расстояние между краями мишени, пикс	
	Денситограмма 1	Денситограмма 2
Визуальное определение контура мишени 	 54	 106
Компьютерная морфоденситометрия 	 77	 117
Относительная погрешность визуального определения контура, %	-29,9	-9,4

Очевидно, что врач заключил в контур не всю опухоль, упуская малоконтрастные элементы изображения. Причиной этого является переменчивость условий визуального анализа рентгенограммы (условий наблюдения, локального контраста изображения, состояния зрительного анализатора и т.п.), которая и порождает неоднозначность при нахождении точек отсчета в процессе визуального измерения рентгеноморфометрических размеров. В отличие от этого, при программном морфоденситометрическом анализе условия и алгоритм определения размеров объекта неизменны, поэтому результат такого программного измерения является стабильным.

Выводы. В результате проделанной работы была предложена методика программного анализа рентгенограммы и расчета размера опухоли. Проведен сравнительный анализ результатов эксперимента по визуальному и программному определению рентгеноморфометрических размеров опухоли

легкого. Результат эксперимента подтвердил правомерность и необходимость использования современных компьютерных средств анализа диагностических изображений в процессе предлучевой подготовки.

Методика компьютерной рентгеноморфометрии опухоли легкого человека может быть использована для морфометрии других опухолей человека. Ее применение позволит усовершенствовать процесс получения размера опухоли легкого, что, в свою очередь, сделает возможным проводить более точное лучевое лечение РЛ.

Список литературы: 1. Королева И.М. Комплексная лучевая диагностика рака легкого // Consilium Medicum. – 2007. – Т. 9. – № 3. – С. 35–38. 2. Ваганов Н.В., Важенкин А.В. Медико-физическое обеспечение лучевой терапии. – Челябинск: Иероглиф, 2004. – 200 с. 3. Пилипенко М.І. Радіаційна онкологія: актуальний стан і майбутнє // Український радіологічний журнал. – 2005. – № 3. – С. 235–237. 4. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. Под ред. Г.С. Самойловича. – М.: "Машиностроение", 1976. – 456 с. 5. Белова И.Б., Китаев В.М. Цифровые технологии получения рентгеновского изображения: принцип формирования и типы (обзор литературы) // Медицинская визуализация. – 2000. – № 1. – С. 33–39. 6. Программный модуль для автоматизированного определения морфометрических индексов остеопороза / С.А. Шармазанов, Е.П. Шармазанова, Л.А. Аверьянова, В.М. Головенко, О.И. Скляр // Медицина и ... – 2001. – № 1 (7). – С. 59–61. 7. Давыдов М.И., Полоцкий Б.Е. Современные принципы выбора лечебной тактики и возможности хирургического лечения немелкоклеточного рака легкого / Новое в терапии рака легкого. – М.: 2003. – С. 41–53. 8. Нормантович В.А. Рак легкого: тенденции в диагностике и лечении // Русский мед. журнал. – 1998. – Т. 6. – № 10. – С. 634–642.

УДК 614.876

Застосування комп'ютерної морфоденситометрії в плануванні променевої терапії раку легень / Чичерида І.С., Авер'янова Л.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 13. – С. 189 – 196.

В роботі розглядаються можливості програмного аналізу рентгенограми грудної клітини при визначенні розмірів легеневої пухлини. Проведено експеримент з порівняльного аналізу результатів візуального та програмного визначення параметрів мішені за допомогою комп'ютерної морфоденситометрії. Результати роботи пропонуються використовувати для уточнення топометричних параметрів мішені в системах планування променевої терапії. Іл.: 3. Табл. 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: рентгенограма, пухлина легень, параметри мішені, морфоденситометрія, променева терапія.

UDC 614.876

The application of computer morphodensitometry in planning of lung cancer radiotherapy / Chycherynda I.S., Averyanova L.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – № 13. – P. 189 – 196.

The capabilities of thorax X-ray program analyze for lung tumor size determination are considered. The experiment with comparative analysis of results of visual and program target size estimate is realized using computer morphodensitometry. The results of this analysis are proposed use for more accurate definition of target topometric parameters in radiotherapy planning systems. Figs.: 3. Tabl: 1. Refs: 8 titles.

Key words: X-ray image, lung tumor, topometric parameters, morphodensitometry, radiotherapy.

Поступила в редакцію 16.04.2009

Содержание

<i>Балюта С.Н.</i> Синтез системы регулирования толщины, натяжения и петли полосы широкополосного стана горячей прокатки	3
<i>Бойко Д.А., Васильева О.В., Галкин Д.А., Гречанина Ю.Б., Поворознюк А.И., Филатова А.Е.</i> Создание информационной структуры базы данных компьютерной системы поддержки принятия решений для диагностики митохондриальных заболеваний	14
<i>Волк М.А.</i> Процессное представление состояний распределенных имитационных моделей с учетом специфики их программной реализации	23
<i>Гоготов В.В.</i> Определение периодической структуры последовательности, порождаемой многочленом с минимальным элементом разложения	33
<i>Гришин И.Ю.</i> Модель для оценки временных характеристик измерительной информационной системы	39
<i>Денисенко Д.Н., Максюта Н.В.</i> Автоматизация планирования диетического питания	46
<i>Дмитриенко В.Д., Носков В.И., Мезенцев Н.В.</i> Синтез регуляторов методом АКОР А.А. Красовского при нелинейно входящих управлениях и случайных возмущающих воздействиях	53
<i>Дмитриенко В.Д., Поворознюк О.А.</i> Дискретная нейронная сеть адаптивной резонансной теории для решения задач подбора лекарственных препаратов	61
<i>Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.</i> Статистический анализ эффективности основных преобразований в системах сжатия	69
<i>Иванов В.Г., Мазниченко Н.І.</i> Ідентифікація користувача ЕОМ на основі інформаційного почерку	77
<i>Карасюк В.В.</i> Моделювання адаптивного підходу до надання інформаційних послуг у комп'ютерній мережі	84
<i>Корсунов Н.И., Михелева М.В.</i> Применение вейвлет-преобразований для выделения параметров контроля мельниц помола	89
<i>Никитина Т.Б.</i> Многокритериальный синтез анизотропийного регулятора стабилизатора в вертикальной плоскости	94
<i>Обод И.И., Заволодько А.Э.</i> Обнаружение траекторий воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения единой информационной сети	104

<i>Обод И.И., Литвиненко Л.С., Мироненко И.Г., Панарина И.В.</i> Координатно-временное обеспечение систем управления, мониторинга и сбора данных на базе беспроводных сенсорных сетей	109
<i>Олейник А.А., Субботин С.А.</i> Мультиагентный метод параметрического синтеза нейро-фаззи сетей с прямой связью между агентами	115
<i>Поворознюк А.И., Миргород Ю.В.</i> Оптимизация метода идентификации биосигналов на основе преобразования Хока	128
<i>Ремаева О.А., Ремаева Т.Е., Высоцкая Е.В., Лащенкова В.Н.</i> Оценка основных геометрических характеристик распространения пожара в произвольном направлении	133
<i>Романюк В.В.</i> Разрешение системы преследователь – добыча для экспоненциальной вероятности поражения добычи преследователем	138
<i>Сейед Моджаба Джафари Хенджани, Северин В.П.</i> Алгоритмы пошагового многокритериального синтеза систем автоматического управления по интегральным квадратичным оценкам	150
<i>Соснина Ю.К., Аверьянова Л.А.</i> Особенности ультразвуковой диагностики структурных нарушений суставного хряща	159
<i>Тимченко В.Л.</i> Оптимальное управление линейным объектом на основе метода структурно-переключаемых обратных связей	167
<i>Тюрін О.О.</i> Аналіз якості об'єднання інформації ідентифікаційних систем єдиної інформаційної мережі систем спостереження	176
<i>Чикина Н.А., Антонова И.В.</i> Оценка состояния здоровья у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности с помощью гематологических показателей	183
<i>Чичеринда И.С., Аверьянова Л.А.</i> Применение компьютерной морфоденситометрии в планировании лучевой терапии рака легкого	189

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Інформатика і моделювання
Випуск 13

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск Луньова В.М.

Обл.вид. № 96-09

Підп. до друку 03.07.2009 р. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Рарег.
Друк-ризוגрафія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8.
Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим.
Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Типографія "Современная печать"
61024 Україна, г. Харьков, ул. Лермонтовская, 27