

## **ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПОЗАШТАТНИХ ПОДІЙ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ З КАНАЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ**

к.т.н. А.Л. Єрохін

(Харківський національний університет радіоелектроніки)

*В статті запропоновано новий підхід до вирішення задачі візуалізації подій в складних системах з каналною структурою. Розглядаються класи взаємодій складної системи. Запропоновано методика побудови флуктуаційної капсули параметрів складної системи з каналною структурою.*

*візуалізація подій, складна система, канална структура, флуктуаційна капсула*

**Вступ та постановка задачі дослідження.** Розглядається клас складних людино-машинних систем з каналною структурою, як систем, які мають множину рівнів ієрархії та складну багаторівневу систему управління, та в якій можна виділити мережну архітектуру, гетерогенні вузли й канали для транспорту цільового продукту. Закон функціонування такої системи описується у вигляді кортежу  $\vec{B} = F_s(\vec{A}, \vec{V}, \vec{H}, t)$ , де  $\vec{B}$  – вихідний вектор системи,  $\vec{A}$  – вхідний вектор,  $\vec{V}$  – вектор екзогенних впливів,  $\vec{H}$  – вектор ендеогенних впливів.

Функціонування складної інформаційної системи або системи підтримки прийняття рішень у режимі реального часу детермінується оптимальними режимами роботи складових підсистем. Здатність системи компенсувати стохастичні впливи, не допустити переростання позаштатної ситуації (ПС) в аварію, є однією з найважливіших задач. При цьому кінцевою ланкою, яка приймає рішення, залишається людина-оператор.

Часто позаштатну ситуацію помилково ототожнюють з аварією. Сформулюємо означення позаштатної ситуації.

Означення. Позаштатна ситуація – це таке відхилення параметрів складної системи, яке призводить до переходу системи від поточного дискретного стану до іншого, що входить до множини усіх можливих станів системи. Будемо розрізняти поняття ПС в широкому та у вузькому сенсі. ПС в широкому (структурному) сенсі пов'язана з будь-яким структурним порушенням в роботі складної системи. Під ПС у вузькому (параметричному) сенсі розуміємо будь-яке порушення у поведінці системи, що реєструється як відхилення параметрів режимів роботи системи.

Відома на сьогодні теза „графіка відкриває дані” стає досить популярною серед розробників інтерфейсів інформаційних систем і означає, що якість прийняття рішення людиною-оператором в значній мірі залежить від способу подання їй інформації про об’єкт управління, тобто від людино-машинного інтерфейсу та людино-машинної взаємодії (human computer interaction). Тому актуальною задачею є розробка моделей та алгоритмів візуалізації параметрів складних інформаційних систем, особливо під час позаштатних ситуацій (ПС). До таких систем належать, наприклад, комп’ютерні мережі, системи управління енергопостачанням тощо.

Загалом можна виділити два способи візуалізації: 1) ілюстративна (елементарна), як правило, вона є допоміжною до знань, які вже формалізовані у вербальній або табличній формах; 2) когнітивна (та, що породжує знання).

На основі когнітивної візуалізації людино-оператор створює послідовно:

- 1) когнітивний портрет параметрів поданого (візуалізованого) об’єкту за допомогою параметричної ідентифікації;
- 2) із попереднього етапу створюється когнітивний портрет події, яка сталася з об’єктом.

На основі когнітивного портрету події оператор проводить компараторну ідентифікацію події. Розглянемо етапи проведення такої ідентифікації:

- 1) знайти в базі знань (або ж за допомогою експертно-порадної системи) відповідну модель події;
- 2) ідентифікувати вичерпний перелік рішень, які рекомендуються до прийняття;
- 3) визначити коефіцієнти переваг рішень;
- 4) обрати остаточне рішення.

Слід відмітити, що процедури 1 – 4 розроблені в теорії прийняття рішень досить добре, але загалом мають той недолік, що вони розраховані на „ідеального” оператора, тобто працюють в тому випадку, якщо людино-оператор має операторські функції, які не виходять за допустимі межі. Якщо когнітивні функції людини-оператора порушуються зовнішніми чинниками, наприклад впливами стресорів, то здатність до виконання етапів 1 – 4 порушується. Цей факт призводить до порушення функціонування усєї людино-машинної системи і як наслідок – до розширення обсягів ПС. Досить добре розроблена теорія та практика оцінки надійності оператора, але вона не вирішує дуже важливого питання: що робити, коли операторські функції виходять за встановлені допустимі границі і неможливо оперативно замінити людино-оператора? Існує загальновідоме рішення для виходу з такої ситуації: розробка таких системи „людина-машина”, в котрих за допомогою спеціальних технічних засобів постійно проводиться біометричний моніторинг стану оператора з метою контролю над якістю операторських функцій. Це рішення має наступні недоліки:

1) значні витрати на біометричний моніторинг, бо як правило, на сьогодні точний оперативний контроль психофізіологічного стану оператора можна проводити лише за сітківкою ока;

2) залишається невирішеним головне питання – що робити, коли неможливо оперативно замінити людину-оператора?

Пропонується новий підхід до вказаної проблеми, який полягає в обґрунтуванні нового наукового напрямку, пов'язаного зі створенням принципово нових систем візуалізації в людино-машинних системах на основі подолання недоліків існуючих систем за допомогою розробки та використання нових методів біометричного моніторингу та методів оперативної реабілітації системи психофізіологічних станів людини-оператора під час впливу дестабілізуючих факторів. Інженерна психологія та ергономіка [1] висувають основні вимоги до синтезу систем відображення інформації в системах управління, такі як:

- 1) врахування психологічних проблем діяльності людини-оператора;
- 2) врахування динамічних властивостей об'єкту управління (які не залежать від мнемосхеми) з точки зору впливу на людину-оператора;
- 3) врахування обсягу інформації, що подається людині-оператору;
- 4) врахування темпу подання інформації людині-оператора;
- 5) взаємозв'язок структури системи відображення та складності оперативних задач.

*Метою даного дослідження* є побудова моделі візуалізації нештатних подій в складних розподілених системах, яка враховувала б сучасні вимоги інтерфейсів та забезпечувала підвищення якості виконання операторських функцій людини-оператора під час розпізнавання нештатних ситуацій в системі.

**1. Формалізація діяльності людини-оператора під час позаштатної ситуації.** З точки зору когнітивної діяльності основною задачею людини-оператора під час ПС є виконання процедур розпізнавання нештатної ситуації, які засновані на наступних етапах обробки інформації:

1. Обробка даних з джерел знань про процеси в системі. Знання про процеси в системах різної природи закодовані за допомогою різних множин-алфавітів і на основі різних правил такого кодування. Складність алгоритмізації такого етапу полягає: у варіативності способів запису слів для даного типу кодування інформації про предметну область; необхідність ставити мітки щодо розташування границь слова або розташування контекстуально важливої інформації. Результатом цього етапу є формування коду знання (КЗ).

2. Одержання і передача КЗ. Простий технічний етап.

3. Морфологічний аналіз КЗ.

3.1. Первинна обробка КЗ (наприклад, цифрова фільтрація).

3.2. Покращена обробка КЗ (наприклад фільтр Калмана або фільтрація з ваговими коефіцієнтами).

3.3. Первинна класифікація (прийняття людиною-оператором попереднього рішення КЗ  $\Rightarrow$  тип НС).

4. Синтаксичний аналіз, семантичний аналіз, прагматичний аналіз. Містить впізнавання типу НС, прикласифікацію або перекласифікацію. В термінах об'єктно-орієнтованого підходу під прикласифікацією маємо створення екземпляру визначеного класу НС. Перекласифікація – це синтез нового класу подій шляхом пошуку батьківського класу та наслідування від нього.

5. Прийняття рішення про тип НС.

**2. Побудова моделі візуалізації позаштатної ситуації.** В [2 –5] була запропонована формалізована модель флуктуаційної капсули у вигляді багатомірної одиничної кулі, утвореної регулярною оболонкою, яка утворена вершинами векторів параметрів системи. Показано, що за допомогою цієї капсули можливо описати динамічні зміни ситуації в системі, що знаходиться в штатному режимі функціонування і в перехідному в ПС під час стохастичних впливів. Розглянемо етапи побудови моделі флуктуаційної капсули параметрів системи. Спочатку встановимо класи взаємодій складної інформаційної системи. Задамо вектори взаємодій системи:  $(\overline{\varphi_I})$  – вектори технологічних параметрів зі скалярними змінними  $\Delta\varphi_I$ ;  $(\overline{\zeta_J})$  – вектори коригувань параметрів управління зі скалярними змінними  $\Delta\zeta_J$ ;  $(\overline{\theta_L})$  – вектори параметрів планування зі скалярними змінними  $\Delta\theta_L$ ;  $(\overline{\mu_L})$  – вектори коригувань параметрів планування зі скалярними змінними  $\Delta\mu_L$ ;  $(\overline{P_{FS}})$  – вектори, що описують базові операторські функції людини-оператора (психофізіологічний стан – ПФС);  $(\overline{v_{FS}})$  – вектори коригувань ПФС.

Розіб'ємо їх на три класи за ступенем їхньої реакції на зовнішні впливи. З подальшого розгляду виключимо стохастичні впливи внутрішньої (ендогенної) природи, вважаючи, що система управління цілком справляється з ними. Одержуємо три класи взаємодій: клас сильних взаємодій SC, клас слабких взаємодій MC та клас опосередкованих взаємодій WC. В свою чергу, усі можливі стохастичні екзогенні параметри  $(St_Q)$  розділимо на три класи за ступенем їхнього впливу на вищевказані параметри системи:

1. Клас сильних впливів – SI.

2. Клас середніх впливів – MI.

3. Клас опосередкованих впливів – WI.

Така класифікація дозволяє встановити пріоритети при подальшій побудові алгоритму і аналізі формалізованої моделі. Найвищий пріоритет встановлюється для підкласу SC сильних взаємодій, найменший – для класу WC.

Оскільки вектори  $(\overline{\varphi}_I)$  і  $(\overline{\theta}_L)$  є колінеарними векторам  $(\overline{\zeta}_J)$  і  $(\overline{\mu}_L)$ , то їхній внесок визначає тільки зміну інтенсивності. Виходячи з цього, виключимо з розгляду параметри  $(\overline{\zeta}_J)$  управління та  $(\overline{\mu}_L)$  коригувань.

Існують спеціальні методи психологічної реабілітації людини-оператора, які дозволяють забезпечити базові операторські (когнітивні) функції на рівні психологічного оптимуму [6]. Завдяки цим методам можна віднести параметри  $(\overline{P}_{FS})$  до класу слабких MC взаємодій і тимчасово виключити їх з подальшого розгляду.

**3. Побудова флуктуаційної капсули.** Виберемо з множини параметрів складної інформаційної системи підмножини  $(\overline{\varphi}_I)^{SC}$ ,  $(\overline{\theta}_L)^{SC}$ ;  $I, L = 1, 2, \dots, m$  з їхніми параметрами коригувань, які належать до підкласу сильних взаємодій SC та впорядкуємо їх. Аналогічно виберемо підмножини для слабких та опосередкованих взаємодій із врахуванням параметрів психофізіологічного стану людини-оператора:

$$\begin{aligned} & (\overline{\varphi}_I)^{SC}, (\overline{\theta}_L)^{SC}; I, L = 1, 2, \dots, m; \\ & (\overline{\varphi}_I)^{MC}, (\overline{\theta}_L)^{MC}; I, L = 1, 2, \dots, m; \\ & (\overline{\varphi}_I)^{WC}, (\overline{\theta}_L)^{WC}; I, L = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (1)$$

Побудуємо одиничну сферу – флуктуаційну капсулу. Для зручності розгляду виділимо напівсферу з полярними координатами:

$$0 \leq \alpha \leq 2\pi; \quad -\pi \leq \beta \leq +\pi; \quad -\pi \leq \gamma \leq +\pi; \quad R = 1, 0. \quad (2)$$

Довільно виділимо на півсфері 12 зон, які рівномірно розподілені по меридіанам та паралелям півсфери. Зони 1-і та 2-і (де  $i, j$  – набувають значень від 1 до 6 та розташовані близько біля екваторіальної зони півсфери) призначимо для розміщення векторів параметрів із сильною взаємодією

$$(\overline{\varphi}_I)^{SC}, (\overline{\theta}_L)^{SC}; I, L = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Координатами проєкцій векторів параметрів візьмемо будь-яку точку на поверхні сфери (як всередині обраної зони, так і на їхніх границях). Аналогічно зони 3 та 4 оберемо для розміщення векторів із підкласів слабких та опосередкованих взаємодій MC, WC.

Кожний із параметрів підмножин 3 представимо полярним лінійним вектором:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\varphi_{1-n}} &= \omega_{XY} \overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}} + \omega_{XZ} \overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}} + \omega_{YZ} \overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}} = 0; \overrightarrow{\varphi_{1-n}} \leq 1.0; \\ &\dots \dots \\ \overrightarrow{\theta_{1-m}} &= \vartheta_{XY} \overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}} + \vartheta_{XZ} \overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}} + \vartheta_{YZ} \overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}} = 0; \overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}} \leq 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Застосувавши послідовну розбивку поверхні сфери з кроком, рівним, наприклад,  $\pi/6$ , одержимо дванадцять зон, у центрах яких зафіксуємо, принаймні, по одній вершині одиничних векторів 1-1 і 2-1, заданих лінійними залежностями (4). Для формування множини двовірних зон на сферичній поверхні використовується розбивка з меншим кроком (наприклад,  $\pi/10$ ). Вектори в зонах 1-6, 2-2 і 2-6 вважаються такими, що вийшли зі штатного режиму функціонування складної інформаційної системи.

Для зручності подальшого моніторингу моделі, параметрам  $\overrightarrow{\varphi_{1-n}}$ ,  $\overrightarrow{\theta_{1-m}}$ ,  $\overrightarrow{PS_{1-k}}$  можуть бути поставлені у відповідність кольори, наприклад, червоний, синій і зелений. У цьому випадку зміна параметрів ( $\overrightarrow{\zeta_J}$ ) управління і ( $\overrightarrow{\mu_L}$ ) коригувань будуть впливати на інтенсивність світіння, що є ергономічним прийомом під час моніторингу системи.

**4. Визначення підмножин характеристичних функцій приналежності.** Визначення можливих систем зв'язків параметрів складної інформаційної системи із стохастичними впливами і відповідними характеристичними функціями базується на двох основних припущеннях:

1) результуюча взаємодія технологічних параметрів, параметрів планування і психофізіологічного стану людини-оператора поза полем впливів стохастичних впливів, не впливають на положення їхніх векторів ( $\overrightarrow{\varphi_I}$ ), ( $\overrightarrow{\theta_L}$ ),  $\overrightarrow{PS_{1-k}}$ , тобто координати проєкцій вершин векторів на поверхні капсули не змінюються;

2) результуюча взаємодія технологічних параметрів, параметрів планування і психофізіологічного стану людини-оператора зі стохастичними збурювальними силами, приводить до зміни положення проєкцій вершин ( $\overrightarrow{\varphi_I}$ ), ( $\overrightarrow{\theta_L}$ ) векторів  $\overrightarrow{PS_{1-k}}$  на поверхні капсули.

Оскільки зв'язки між збурювальними силами ( $St_Q$ ), і параметрами системи є стохастичними і не є чітко визначеними, то необхідні попередні дослідження з метою визначення підмножин характеристичних функцій приналежності таких зв'язків тій чи іншій множині сильних, слабких і опосередкованих взаємодій. У першу чергу такі дослідження важливі для стохастичних, сильних впливів із класу SI. При цьому в процесі дослідження можливе встановлення підмножини зв'язків, що можуть

бути віднесені до підкласу детермінованих. Наприклад, на підставі аналізу статистичних даних, а також функціональних зв'язків, що носять імовірнісний характер, визначимо систему зв'язків

$$SI \rightarrow SC, MC, WC. \quad (5)$$

З підмножини параметрів класу SC  $(\overline{\varphi}_I)^{SC}$  і  $(\overline{\theta}_L)^{SC}$ ;  $I, L=1, 2, \dots, m$  виділимо підмножини  $(\Phi_{FS}), (\Xi_{FS})$ , у яких такі зв'язки найбільш ймовірні. Кожному з цих параметрів обумовлених як підмножини нечітких логічних перемінних може бути визначена своя характеристична функція універсальній множини приналежності. Після визначення можливих систем зв'язку параметрів СОС зі стохастичними впливами і відповідними характеристичними функціями, задамо кожному з векторів з підмножини SC такі кутові значення  $\varphi_{XY}, \theta_{XY}$ , щоб відповідні вектори

$$(\overline{\varphi}_I)^{SC} \in \Phi_{FS}, (\overline{\theta}_J)^{SC} \in \Xi_{FS} \quad (6)$$

виявилися рівномірно розміщеними в екваторіальних зонах одиничної сфери. Таким чином, підмножини  $(\Phi_{FS}), (\Xi_{FS})$  набувають упорядкованості своїх елементів.

На основі припущення про зміну положень векторів параметрів під час взаємодій із стохастичними впливами розробимо критерії розпізнавання НС. При цьому вважаємо, що при наявності взаємодій (5) вектори (6) зміщуються на поверхні сфери, заповнюючи своїми проекціями відкрити двомірну область, гомеоморфну колу, що надалі розглядаються як двомірні множини з потужністю континуума.

Уведемо для кожної відкритої двомірної області на поверхні сфери, гомеоморфній колу, відповідну метрику і за допомогою її визначимо усередині області, принаймні, три підмножини

$$(\Delta_1 \cup \Delta_2 \cup \Delta_3 / \Delta_0 \leq \varepsilon) \subset \Phi, \Xi; \Delta_1 = \sup(\Delta_{1I}), \Delta_2 = \sup(\Delta_{2J}), \Delta_3 = \sup(\Delta_{3K}), \quad (7)$$

де  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  – верхні значення розмірів двомірних областей, що відповідають положенням векторів параметрів системи, і які зміщуються під впливом стохастичних збурень, що визначають позаштатний режим функціонування параметра;  $\Delta_0$  – зона штатної ситуації параметру функціонуючої системи.

Таким чином, кожній із зон  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  відповідають класи: позаштатна, передаварійна та аварійна ситуації відповідно.

**Висновки.** Розроблено модель візуалізації параметрів роботи складних розподілених систем, яка відрізняється спеціальними відображеннями нештатних подій в системі у вигляді флуктуаційної капсули.

Для реалізації моделі використано класифікацію усіх базових параметрів системи з поділом на класи сильних, слабких та опосередкованих

взаємодій із сильними стохастичними впливами з присвоєнням кожному класу пріоритетного коефіцієнта. Це дозволяє більш повно реалізувати принцип „графіка відкриває дані”, підвищує швидкість реакції на нештатну подію в системі, призводить до активації когнітивних функцій людини-оператора під час прийняття рішення, що підвищує якість управлінських рішень та скорочує час переведення системи з нестабільного стану до метастабільного (штатного режиму роботи).

Дослідження способів графічного подання моделі візуалізації параметрів роботи складних розподілених призвели до представлення формальної моделі флуктуаційної капсули у вигляді одиничної сфери, яка будується множиною проекцій вершин векторів параметрів системи. Під час стохастичного впливу положення векторів параметрів системи змінюються, а області існування проекцій кожного з векторів визначаються у вигляді відкритих двомірних множин всередині вищевказаних замикань. При цьому області існування проекцій заповнюють фігуру, яка гомеоморфна колу, та мають потужність континуума.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Стрелков Ю.К. *Инженерная и профессиональная психология*. – М.: Академия, 2001. – 360 с.
2. Бондаренко М.В., Єрохін А.Л. *Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем // Проблеми біоніки*. – 2004. – Вип.60. – С. 7-16.
3. Бурцев В.Н., Єрохін А.Л. *Об оптимальной формализации сложноорганизованных систем // Труды III Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления»*, Москва, 28-30 января 2004 года, ИПУ РАН. – С. 440-444.
4. Єрохін А.Л., Бурцев В.Н. *Модели визуализации взаимодействий параметров сложно-организованных систем со стохастическими воздействиями // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематич. вып.: Информатика и моделирование*. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 46. – С.87-94.
5. Єрохін А.Л., Бурцев В.Н. *Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 1 // Бионика интеллекта: Научно-технический журнал*. – 2004. – №1 (61). – С.74-77.
6. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл.Н., Єрохін А.Л. *Обеспечение устойчивости системы психофизиологического состояния ЛПР в системах поддержки принятия решений // Проблемы бионики*. – 2002. – Вип. 57. – С.91-94.

Надійшла 9.06.2006

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко,  
Харківський національний університет радіоелектроніки.