

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ФЛУКТУАЦИОННОЙ КАПСУЛЫ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

А.Л. Ерохин

(Харьковский национальный университет радиоэлектроники)

Рассматривается алгоритм построения единичной флуктуационной капсулы параметров режимов работы сложно-организованной системы. Использование флуктуационной капсулы позволит улучшить качество распознавания аварийных ситуаций в системе.

единичная флуктуационная капсула, сложно-организованная система, распознавание аварийных ситуаций, алгоритм визуализации

Введение и постановка задачи. В работах [1 – 6] была предложена формализованная модель флуктуационной капсулы в виде многомерного единичного шара, образованного регулярной оболочкой, натянутой на вершины векторов параметров сложноорганизованной системы (СОС). Показано, что посредством этой капсулы возможно описать динамические изменения ситуации СОС, находящейся в штатном режиме функционирования и переходящей во внештатные, предаварийные и аварийные ситуации при воздействии стохастических возмущающих сил.

Цель исследования – продолжение начатых в [1 – 6] работ по разработке моделей взаимодействий сложно-организованной системы со стохастическими возмущениями и создание на их основе алгоритма визуализации параметров режимов работы сложно-организованных канализированных систем при нештатных ситуациях. Задачей исследования является разработка методики и алгоритма построения единичной флуктуационной капсулы.

1. Построение единичной флуктуационной капсулы.

1-й шаг. Для обработки многомерных и многозначных параметров СОС зададим входное множество векторов взаимодействий системы:

$$A = \{a_1, \dots, a_6\}, \quad (1)$$

где $a_1 = (\overline{\varphi_1})$ – векторы технологических параметров со скалярными переменными $\Delta\varphi_1$; $a_2 = (\overline{\zeta_J})$ – векторы корректировок параметров управления со скалярными переменными $\Delta\zeta_J$; $a_3 = (\overline{\theta_L})$ – векторы параметров плани-

рования со скалярными переменными $\Delta\theta_L$; $a_4 = (\overline{\mu}_L)$ – векторы корректировок параметров; $(\overline{\varphi}_I)$ – векторы технологических параметров со скалярными переменными $\Delta\varphi_I$; $a_5 = (\overline{P}_{FS})$ – векторы, описывающие базовые операторские функции лица, принимающего решения (психофизиологического состояния) ПФС ЛПР); $a_6 = (\overline{v}_{FS})$ – векторы корректировок ПФС ЛПР.

Разобьем указанные параметры на три класса по степени их реакции на внешние (экзогенные) возмущения [4, 5]. Из дальнейшего рассмотрения исключим воздействия стохастических возмущений внутренней (эндогенной) природы, считая, что система управления вполне справляется с ними. Получаем три класса взаимодействий: 1) класс сильных взаимодействий SC; 2) класс слабых взаимодействий MC; 3) класс опосредованных взаимодействий WC. В свою очередь, все возможные стохастические экзогенные параметры (St_Q) разделим на три класса по степени их воздействия на вышеприведенные параметры СОС и получим следующую классификацию: 1) класс сильных воздействий – SI; 2) класс средних воздействий – MI; 3) класс опосредованных воздействий – WI.

Такая классификация позволяет установить приоритеты при дальнейшем построении алгоритма и анализе формализованной модели. Самый высокий приоритет устанавливается для подкласса SC сильных взаимодействий, наименьший для класса WC.

Так как векторы $(\overline{\varphi}_I)$ и $(\overline{\theta}_L)$ коллинеарны векторам $(\overline{\zeta}_J)$ и $(\overline{\mu}_L)$, то их вклад определяет только изменение интенсивности. Исходя из этого, исключим из рассмотрения параметры $(\overline{\zeta}_J)$ управления и $(\overline{\mu}_L)$ корректировок.

Достижения инженерной психологии и искусственного интеллекта [7 – 15] показывают, что существует набор специальных методов психологической реабилитации ЛПР, позволяющих обеспечить его базовые операторские (когнитивные) функции на уровне психологического оптимума. Благодаря этим методам можно отнести параметры (\overline{P}_{FS}) к классу слабых MC взаимодействий и временно исключить из дальнейшего рассмотрения.

2-й шаг. Выберем из множества параметров СОС подмножества $(\overline{\varphi}_I)^{SC}$, $(\overline{\theta}_L)^{SC}$; $I, L = 1, 2, \dots, m$ с их параметрами корректировок, принадлежащие подклассу сильных взаимодействий SC и упорядочим их.

Аналогичным образом выберем подмножества для слабых и опосредованных взаимодействий с учетом параметров психофизиологического состояния ЛПР:

$$\begin{aligned}
 & (\overline{\varphi}_1)^{SC}, (\overline{\theta}_L)^{SC}; I, L = 1, 2, \dots, m; \\
 & (\overline{\varphi}_1)^{MC}, (\overline{\theta}_L)^{MC}; I, L = 1, 2, \dots, m; \\
 & (\overline{\varphi}_1)^{WC}, (\overline{\theta}_L)^{WC}; I, L = 1, 2, \dots, m.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

3-й шаг. Построим единичную сферу (флуктуационную капсулу). Для удобства рассмотрения выделим полусферу с полярными координатами:

$$0 \leq \alpha \leq 2\pi; \quad -\pi \leq \beta \leq +\pi; \quad -\pi \leq \gamma \leq +\pi; \quad R = 1.0. \tag{3}$$

Произвольным образом выделим на полусфере 12 зон, равномерно распределенных по меридианам и параллелям полусферы, как показано на рис. 1.

Зоны 1-*i* и 2-*j*, где *i, j* принимают значения от 1 до 6, расположенные вблизи экваториальной зоны полусферы, предназначим для “размещения” векторов параметров с сильным взаимодействием

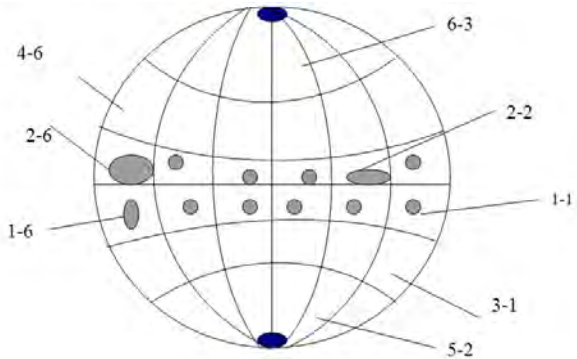


Рис. 1. Размещение векторов проекций вершин $\overline{\varphi}_{1-n}^{SC}, \overline{\theta}_{1-m}^{SC}$ подкласса сильных взаимодействий в экваториальных зонах единичной сферы

$$(\overline{\varphi}_1)^{SC}, (\overline{\theta}_L)^{SC}; I, L = 1, 2, \dots, m. \tag{4}$$

В качестве координат проекций векторов параметров выберем любую точку на поверхности сферы как внутри выбранной зоны, так и на их границах. Аналогично зоны 3-*k* и 4-*l* выберем для размещения векторов из подклассов слабых и опосредованных взаимодействий MC, WC.

Для удобства рассмотрения модели исключим из рассмотрения две полярные ε -окрестности, окрашенные на рис. 1 в черный цвет. Каждый из параметров подмножеств 3 представим полярным линейным вектором:

$$\begin{aligned}
 \overline{\varphi}_{1-n} &= \omega_{XY} \overline{\varphi}_{1-n}^{SC} + \omega_{XZ} \overline{\varphi}_{1-n}^{SC} + \omega_{YZ} \overline{\varphi}_{1-n}^{SC} = 0; \quad \overline{\varphi}_{1-n} \leq 1.0; \\
 & \dots
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\overline{\theta}_{1-m} = \vartheta_{XY} \overline{\theta}_{1-m}^{SC} + \vartheta_{XZ} \overline{\theta}_{1-m}^{SC} + \vartheta_{YZ} \overline{\theta}_{1-m}^{SC} = 0; \quad \overline{\theta}_{1-m}^{SC} \leq 1,$$

где $\overline{\varphi}_{1-n}, \overline{\theta}_{1-m}$ – вектора параметров СОС, ограниченные оболочкой единичной сферы, проекция вершин которых размещены в областях (1-*n*), (1-*m*)

и (1-k) сферы; ω_{XY} , ϑ_{XY} – угловые параметры соответствующих векторов $\overrightarrow{\varphi_{1-n}}$, $\overrightarrow{\theta_{1-m}}$; $\overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}}$, $\overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}}$ – мгновенные значения векторов, проекции которых не выходят за пределы соответствующих областей (1-n), (1-m) и (1-k) сферы.

На рис. 1 представлены соответствующие разбиения единичной сферы на двумерные области расположения проекций векторов $\overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}}$, $\overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}}$. Рассмотрим зоны (1-1) ... (1-6), предназначенные, например, для размещения векторов параметров управления $\overrightarrow{\varphi_{1-n}^{SC}}$ и зоны (2-1)...(2-6) – для размещения векторов параметров планирования $\overrightarrow{\theta_{1-m}^{SC}}$.

Для зоны (1-1) в проекциях (XZ), (YZ), (XY) угловые ограничения выбраны в таких интервалах:

$$0 \leq \omega_{XZ} \leq \pi/6; \quad 0 \leq \omega_{YZ} \leq \pi/6; \quad 0 \leq \omega_{XY} \leq \pi/6.$$

Для зоны (1-2) в тех же проекциях:

$$0 \leq \theta_{XZ} \leq \pi/6; \quad 0 \leq \theta_{YZ} \leq \pi/6; \quad 0 \leq \theta_{XY} \leq \pi/6.$$

Применив последовательное разбиение (сечение) поверхности сферы с шагом, равным, например, $\pi/6$, получим двенадцать зон, в центрах которых зафиксируем, по крайней мере, по одной вершине единичных векторов 1-1 и 2-1, заданных линейными зависимостями (4).

Для формирования множества двумерных зон на сферической поверхности используют разбиение с меньшим значением шага, например, $\pi/10$. На рис. 1 представлены проекции двенадцати проекций векторов, из которых, векторы в зонах 1-6, 2-2 и 2-6 считаются вышедшими из штатного режима функционирования СОС.

Для удобства дальнейшего мониторинга формализованной модели, параметрам $\overrightarrow{\varphi_{1-n}}$, $\overrightarrow{\theta_{1-m}}$, $\overrightarrow{PS_{1-k}}$ могут быть присвоены определенные цвета, например, красный, синий и зеленый. В этом случае изменение параметров $(\overline{\varsigma_j})$ управления и $(\overline{\mu_L})$ корректировок будут влиять на интенсивность свечения, что является эргономичным приемом при мониторинге.

4-й шаг. Алгоритмизация формальной модели на этом шаге базируется на двух основных допущениях [3, 4]:

1) результирующее взаимодействие технологических параметров, параметров планирования и психофизиологического состояния ЛПП в поле воздействий стохастических возмущений, не влияют на положение их векторов $(\overrightarrow{\varphi_1})$, $(\overrightarrow{\theta_L})$, $\overrightarrow{PS_{1-k}}$, т.е. координаты проекций вершин векторов на поверхности капсулы не изменяются;

2) результирующее взаимодействие технологических параметров, параметров планирования и психофизиологического состояния ЛПП со стоха-

стическими возмущающими силами приводит к изменению положения проекций вершин векторов $(\vec{\varphi}_1)$, $(\vec{\theta}_L)$, $\overline{PS_{1-k}}$ на поверхности капсулы.

Так как связи между возмущающими силами (St_Q) и параметрами СОС являются по существу стохастическими и не являются четко определенными, то для реализации этого шага необходимы предварительные исследования с целью определения подмножеств характеристических функций принадлежности таких связей тому или иному множеству сильных, слабых и опосредованных взаимодействий.

В первую очередь такие исследования важны для стохастических сильных воздействий из класса SI. При этом в процессе исследования возможно установление подмножества связей, которые могут быть отнесены к подклассу детерминированных. Например, на основании анализа статистических данных, а также функциональных связей, носящих вероятностный характер определим систему связей

$$SI \rightarrow SC, MC, WC. \quad (6)$$

Из подмножества параметров класса SC $(\vec{\varphi}_1)^{SC}$ и $(\vec{\theta}_L)^{SC}$; $L=1, 2, \dots, m$ выделим подмножества (Φ_{FS}) , (Ξ_{FS}) , у которых такие связи наиболее вероятны. Каждому из этих параметров, определяемых как подмножества нечетких логических переменных, может быть определена своя характеристическая функция универсальному множеству принадлежности.

После определения возможных систем связи параметров СОС со стохастическими воздействиями и соответствующих характеристических функций, зададим каждому из векторов из подмножества SC такие угловые значения ω_{XY} , ϑ_{XY} , чтобы соответствующие векторы

$$(\vec{\varphi}_1)^{SC} \in \Phi_{FS}, (\vec{\theta}_j)^{SC} \in \Xi_{FS} \quad (7)$$

оказались равномерным образом размещенными в “экваториальных зонах” единичной сферы.

Таким образом, подмножества (Φ_{FS}) , (Ξ_{FS}) приобретают упорядоченность своих элементов.

5-й шаг. Разработка основных критериев распознавания внештатных ситуаций в СОС на основании допущения об изменении положений векторов параметров при взаимодействиях со стохастическими возмущениями посредством аппарата нечеткой логики. При этом считаем, что при наличии взаимодействий (5) вектора (6) смещаются на поверхности сферы, заполняя своими проекциями открытую двумерную область го-

гомеоморфную окружность, которые в дальнейшем рассматриваются как двумерные множества с мощностью континуума.

Введем для каждой открытой двумерной области на поверхности сферы, гомеоморфной окружности, соответствующую метрику и посредством нее определим внутри области, по крайней мере, три подмножества

$$\begin{aligned} (\Delta_1 \cup \Delta_2 \cup \Delta_3 / \Delta_0 \leq \varepsilon) \subset \Phi, \Xi; \Delta_1 = \sup(\Delta_{1I}); \\ \Delta_2 = \sup(\Delta_{2J}), \Delta_3 = \sup(\Delta_{3K}), \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – верхние значения размеров двумерных областей (зон), соответствующих положений векторов параметров СОС, смещающихся под воздействием стохастических возмущений, которые определяют внештатный режим функционирования параметра; Δ_0 – зона штатной ситуации параметра функционирующей СОС.

Таким образом, присвоив каждой из рассматриваемых зон $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ соответствующие критерии: “внештатная”, “предаварийная”, “аварийная” ситуация, можно средствами нечеткой логики провести их классификацию.

Выводы. 1. Разработаны этапы алгоритмизации формальной модели флуктуационной капсулы, которая используется в системе мониторинга основных параметров сложно-организованной системы в процессе ее функционирования вне- и в поле воздействий стохастических возмущений экзогенной природы.

2. Предложена классификация всех базовых параметров СОС на классы сильных, слабых и опосредованных взаимодействий с классом сильных стохастических воздействий, при этом каждому классу присваивается соответствующий приоритет.

3. Формальная модель флуктуационной капсулы представлена в виде единичной сферы, образованной из множества проекций вершин векторов параметров СОС, каждый из которых располагается внутри открытой двумерной области, замыкания которой образованы равномерно распределенными сагиттальными и меридиональными сечениями сферической поверхности на основании соотношений (2) – (8).

4. В предположении того, что при воздействии стохастического возмущения, положения векторов параметров системы изменяются, области существования проекций каждого из векторов определены в виде открытых двумерных множеств внутри выше названных замыканий. Области существования проекций заполняют фигуру гомеоморфную окружности и имеют мощность континуума.

5. На основании метрики двумерных открытых континуальных пространств и использования аппарата нечетких множеств, предложены нечеткие критерии распознавания внештатных, предаварийных и аварийных ситуаций функционирующей СОС.

б. Направлением дальнейших исследований является разработка аппаратно-программной модели флуктуационной капсулы с целью ее применения в системах распознавания нештатных ситуаций в реальных сложно-организованных системах с различной природой целевого продукта, таких как сети электроснабжения или компьютерные сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко М.Ф., Ерохин А.Л. Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем // Проблеми біоніки. – 2004. – Вип. 60. – С. 7 – 16.
2. Бурцев В.Н., Ерохин А.Л. Об оптимальной формализации сложноорганизованных систем // Труды III МНТК «Идентификация систем и задачи управления». М., 28-30 января 2004 г. – М.: ИПУ РАН. – С. 440 – 444.
3. Ерохин А.Л., В.Н.Бурцев. Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 1 // Бионика интеллекта. – 2004. – № 1 (61). – С. 74 – 77.
4. Ерохин А.Л., Бурцев В.Н. Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 2 // Бионика интеллекта. – 2005. – № 2.
5. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л. Анализ связей сложноорганизованных систем с гомеостатическим и гетеростатическим управлением // Системный анализ, управление и информационные технологии. Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – № 4. – С. 20 – 23.
6. Бурцев Вал.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л. Обеспечение устойчивости системы психофизиологического состояния ЛПР в системах поддержки принятия решений // Проблемы бионики. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Х.: Изд-во ХНУРЕ – 2002. - Вып. 57. - С. 91-94.
7. Корнелюк В. А., Давыдов Д. М. Использование цветодинамических приборов для комнат психологической разгрузки персонала // Новые промышленные технологии. Минатом. – 1997. – Вып. 4 (279). – С. 82 – 90.
8. Иванов-Муромский К.А., Лукьянова О.Н., Черноморец В.А. Психофизиология оператора в системах человек-машина. – К.: 1980. – 344 с.
9. Костин А.Н. Принцип взаимного резервирования при распределении функций между человеком и автоматикой: Автореф. дис...д-ра психол. наук / Институт психологии РАН. – М., 2000. – 36 с.
10. Психофизиологическая подготовка оператора в биотехнической системе / Н.Б. Суворов, Д.Н. Меницкий, О.С. Булгакова и др. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2003. – Т. 2, N 1, – С. 4 – 12.
11. Хрестоматия по инженерной психологии / Сост.: Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, Б.А. Смирнов / Под ред. Б.А. Душкова. – М.: Высш. шк., 1991. – 287 с.
12. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. – М.: Машиностроение, 1975. – 396 с.

Поступила 7.11.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор Ю.П. Шабанов-Кушнарченко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.