

УДК 519.711.3

А. А. Писарчук, д.т.н., с.н.с.

МОДЕЛИ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И САМООРГАНИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ СЛОЖНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМЖитомирский военный институт имени С. П. Королева; PlatinuMPA@meta.ua

В статье предложены математические модели ситуационного структурного синтеза сложной распределенной информационно-управляющей системы и самоорганизующейся модели идентификации. Разработанные подходы позволяют реализовать эффективное решение задач управления и распознавания в условиях динамического изменения внешней обстановки, анализа многих факторов и обработки значительных информационных массивов в едином информационном пространстве с разнородными распределенными источниками данных.

Ключевые слова: модель, синтез, ситуационный, самоорганизация.

Вступление. Современные задачи управления сложными объектами решаются в условиях динамического изменения внешней обстановки, сопровождаются анализом многих факторов, обработкой значительных информационных массивов, получаемых от разнородных распределенных в пространстве информационных источников (ИнФИ), а также требуют адекватного и актуального реагирования на возникающие конфликтные ситуации (КС). Такие системы формируют единое интегрированное информационное пространство для эффективного решения целевых задач. При этом в зависимости от содержания и сущности контролируемой ситуации необходимо адаптивно (ситуативно) создавать структурно-параметрическую конфигурацию системы управления и идентифицировать контролируемые объекты в условиях большой размерности и неопределенности исходных данных [1–9]. В связи с этим важной является задача выработки подходов (моделей) к созданию и функционированию информационно-управляющих систем, способных эффективно решать целевые задачи в указанных сложных условиях текущей обстановки.

Анализ существующих подходов. Задача конфигурирования информационно-управляющей системы относится к классу задач анализа и синтеза сложных систем [2–4]. Основными недостатками классических подходов, применительно к системе реагирования на КС, является сложность их практического использования для разнородных распределенных систем, а также использование, по большей части, однокритериальных целевых функций эффективности. Вместе с тем показано, что эффективность решения такого класса задач повышается с применением методов многокритериального анализа [4]. Традиционно задачи идентификации решаются с использованием методов теории распознавания образов. Известно множество базовых подходов данной теории [5]. Основной, на наш взгляд, недостаток, присущий им, заключается в необходимости наличия статистической априорной структуры – образа идентифицируемого объекта, который комбинаторно сравнивается с апостериорной информацией для распознавания. Такой подход является малоэффективным для задач идентификации с высокой априорной неопределенностью, большой размерностью и избыточной информацией. В тоже время применение принципов самоорганизации технических систем позволяет эффективно решать многие задачи с характерными для задач идентификации указанными условиями [6–9].

Цель исследований. В связи с этим целью статьи является решение задач формирования ситуационной модели структурно-параметрического синтеза системы реагирования на конфликтные ситуации и самоорганизующейся модели идентификации контролируемых объектов.

Изложение основного материала

Формирования ситуационной модели включает: описание КС признаком P_{ks} , частными задачами системы по ее устранению T_{ksj}^{KS} , информационными потребностями системы I_{ksf}^{KS} в виде формуляра КС – $KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}$, ($i = 1...I$, $j = 1...J$, $f = 1...F$); описание системы обработки информации (СОИ) формуляром $ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})\}$; описание ИнФИ

інформаційними можливостями I_{ksf}^{ID} і їх технічними характеристиками (ТХ) TX_f в формі формуляра $ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}$. Найбільше повне відображення формуляра виниклої КС в формулярах СОІ і ІнФІ дає вектор критеріїв оптимальності для структурно-параметричного синтезу системи по кількісному і якісному складу. Для цього формується багатокритеріальна оптимізаційна модель шляхом зведення сукупності частинних критеріїв в єдиний функціонал по нелінійній схемі компромісів [4].

Так, кількісний склад системи визначається в відповідності з моделлю

$$F(N_{ARM}) = (1 - t_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - D_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - ID_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де залежними від кількості автоматизованих робочих місць (АРМ) СОІ N_{ARM} , нормованими і приведенними до мінімізаційної форми частинними критеріями є: $t_{ks0}(N_{ARM})$ – час, витрачається на усунення КС; $D_{ks0}(N_{ARM})$ – достовірність рішень, формуються для усунення КС; $ID_{ks0}(N_{ARM})$ – характеристика інформаційної надлишковості синтезованої системи.

Якісний склад системи визначається, виходячи з вимог на краще відображення в її структурі виниклої КС. Для цього здійснюється послідовність взаємних відображень формулярів КС, АРМ і ІнФІ шляхом перемноження відповідних елементів множинних чисел, $ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}\}$ і $ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}$.

Порядок реалізації позначених дій здійснюється наступним чином.

1. Відображення формуляра КС на формуляр АРМ в частині, що стосується переліку виконуваних завдань:

$$[ES_j(T_{ksj}^{ES}) \times KS_i(T_{ksj}^{KS})] = T_{ksj}^{modKS}. \quad (2)$$

Тут і далі введені функціональні позначення виду $ES_j(T_{ksj}^{ES})$, $KS_i(T_{ksj}^{KS})$ характеризують відповідні елементи множин, формують розглядавані формуляри, а реалізація операції їх відображення здійснюється шляхом множення елементів складових підмножин.

2. Відображення формуляра ІнФІ на формуляр АРМ стосовно інформаційних потребностей:

$$[ES_j(I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})) \times ID_f(I_{ksf}^{ID})] = I_{ksj}^{modID}. \quad (3)$$

3. Відображення формуляра КС на результати п. 2:

$$[I_{ksj}^{modID} \times KS_i(I_{ksf}^{KS})] = I_{ksj}^{modID,KS}. \quad (4)$$

4. Відображення результатів п. 3 на формуляр ІнФІ стосовно їх ТХ:

$$[ID_f(TX_{ksf}) \times I_{ksj}^{modID,KS}] = TX_{ksj}^{modID,KS}. \quad (5)$$

Результатом описаних операцій є формуляр системи реагування на КС, що включає опис кожного АРМ з урахуванням виниклої ситуації, можливостей ІнФІ і потребностей СОІ:

$$S = \{P_{ks}, T_{ksj}^{modKS}, I_{ksj}^{modID,KS}, TX_{ksj}^{modID,KS}\}. \quad (6)$$

5. Параметри, що складають формуляр системи, використовуються для розрахунку їх вагових коефіцієнтів по кожному АРМ в відповідності з вираженнями:

$$GT_j = [T_{ksj}^{modKS} \times N_{kod}] GTX_j = [TX_{ksj}^{modID,KS} \times N_{kod}], \quad (7)$$

$$N_{kod} = \left\{ \frac{N_{kod1}}{2^0}, \frac{N_{kod2}}{2^1}, \frac{N_{kod3}}{2^2}, \dots \right\}.$$

6. Далі здійснюється знаходження сум значимих позицій з переліку параметрів формуляра (6) і вагових коефіцієнтів (7) для кожного АРМ:

$$T_{Sj} = \sum_{l=1}^{L_l} T_{ksj}^{modKS}(T_{ksil}), \quad I_{Sj} = \sum_{k=1}^{K_k} I_{ksj}^{modID,KS}(I_{ksik}), \quad TX_{Sj} = \sum_{m=1}^{M_m} TX_{ksj}^{modID,KS}(TX_{ksim}), \quad (8)$$

$$GT_{S_j} = \sum_{l=1}^{L_i} GT_j(GT_{ksil}), GI_{S_j} = \sum_{k=1}^{K_i} GI_j(GI_{ksik}), GTX_{S_j} = \sum_{m=1}^{M_i} GTX_j(GTX_{ksim}). \tag{9}$$

Параметры (8) являются исходными для формирования частных критериальных требований, которые предъявляются к структуре синтезируемой системы реагирования на КС. При этом оптимальной будет структура, обеспечивающая: выполнение наибольшего количества функций АРМ из заданных формуляром КС $T_{S_j} \rightarrow \max$; наибольшее количество используемых для устранения КС ИнфИ $I_{S_j} \rightarrow \max$ с наилучшими ТХ $TX_{S_j} \rightarrow \max$. Операция конфигурирования реализуется в соответствии с оптимизационной моделью, полученной путем агрегации частных критериев оптимальности (8) с использованием дискретной нелинейной схемы компромиссов (свертки профессора Воронина А. Н. [4]) в виде

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{S_j0})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{S_j0})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{S_j0})^{-1} \rightarrow \min. \tag{10}$$

Таким образом, выражения (1)–(10) представляют собой математическую модель ситуационного структурного синтеза сложной распределенной информационно-управляющей системы реагирования на КС. Полученная модель базируется на принципе ситуационного управления, реализованном с использованием методов многокритериального анализа применительно к задаче анализа и синтеза сложных систем. Отличительная особенность предложенной методики является совместное решение задачи структурного и параметрического синтеза системы. Этап структурного синтеза реализован в явном виде, а выбор параметров системы представляет собой опосредствованный процесс интерпретации результатов структурного синтеза и принятие соответствующих отобранным АРМ и ИнфИ ТХ в качестве параметров системы.

Самоорганизующаяся модель идентификации базируется на описании объектов идентификации (ОИ) множеством $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$, $i = 1 \dots n$ с совокупностью разнородных признаков трех категорий: фактов $F = \{F_1\{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1j}\}, F_2\{f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2j}\}, \dots, F_i\{f_{ij}\}\}$, $j = 1 \dots m_1, m_2, \dots, m_i$ (объективная информация про ОИ); данных $D = \{D_1\{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1l}\}, D_2\{d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2l}\}, \dots, D_i\{d_{il}\}\}$, $l = 1 \dots L_1, L_2, \dots, L_i$ (измерительная информация); суждения $S = \{S_1\{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1k}\}, S_2\{s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2k}\}, \dots, S_i\{s_{ik}\}\}$, $k = 1 \dots K_1, K_2, \dots, K_i$ (субъективная информация о ОИ).

Объект идентификации характеризуется априорным множеством признаков

$$R_i \subset F_i\{f_{ij}\} \cup D_i\{d_{il}\} \cup S_i\{s_{ik}\} = \{F_i\{f_{ij}\}, D_i\{d_{il}\}, S_i\{s_{ik}\}\} = R_i. \tag{11}$$

В процессе наблюдения за объектами с целью их идентификации формируется апостериорные множества признаков

$$W = \left\{ \begin{aligned} F &= \{\hat{F}_1\{\hat{f}_{11}, \hat{f}_{12}, \dots, \hat{f}_{1j}\}, \hat{F}_2\{\hat{f}_{21}, \hat{f}_{22}, \dots, \hat{f}_{2j}\}, \dots, \hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}\} \\ D &= \{\hat{D}_1\{\hat{d}_{11}, \hat{d}_{12}, \dots, \hat{d}_{1l}\}, \hat{D}_2\{\hat{d}_{21}, \hat{d}_{22}, \dots, \hat{d}_{2l}\}, \dots, \hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}\} \\ S &= \{\hat{S}_1\{\hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{1k}\}, \hat{S}_2\{\hat{s}_{21}, \hat{s}_{22}, \dots, \hat{s}_{2k}\}, \dots, \hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}\} \end{aligned} \right\} = \{\hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}, \hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}, \hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}\}. \tag{12}$$

После трансформации множеств (11), (12) до монотонного ряда формируются их полиномиальные модели с использованием выбранного метода аппроксимации в виде

$$f_j(N) = f_0 + f_1N + f_2N^2 + \dots, d_l(N) = d_0 + d_1N + d_2N^2 + \dots, s_k(N) = s_0 + s_1N + s_2N^2 + \dots, \tag{13}$$

$$\hat{f}_j(N) = \hat{f}_0 + \hat{f}_1N + \hat{f}_2N^2 + \dots, \hat{d}_l(N) = \hat{d}_0 + \hat{d}_1N + \hat{d}_2N^2 + \dots, \hat{s}_k(N) = \hat{s}_0 + \hat{s}_1N + \hat{s}_2N^2 + \dots. \tag{14}$$

Последние (модели (14)) подвергаются обработке на предмет исключения аномалий, не принадлежащих выборке (11) измерений. В результате имеем модели

$$\hat{f}'_j(N) = \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1N + \hat{f}'_2N^2 + \dots, \hat{d}'_l(N) = \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1N + \hat{d}'_2N^2 + \dots, \hat{s}'_k(N) = \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1N + \hat{s}'_2N^2 + \dots. \tag{15}$$

Аргументом N является абстрактный аналоговый процесс, описываемый в дискретной форме рядом чисел (сеткой измерений – $N = 1, 2, 3, \dots$).

Признаком соответствия моделей (13)–(15) образу (11) является минимизация величины

разности площадей плоскостных фигур, ограниченных моделями и интервалами их рассмотрения – $\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta$. Значение $\max \delta$ определяется при наличии в экспериментальной выборке случайных ошибок и более 50% аномалий, величина $\max \delta$ определяется только при наличии случайных ошибок. Параметры δ , δ' рассчитываются как разность интегралов

$$\delta = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \quad \delta' = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2. \quad (16)$$

Объединение всех категорий признаков для выработки решения о идентификации объекта осуществляется с применением технологии вложенных сверток по нелинейной схеме компромиссов [4]. По свертке формируются обобщенные признаки для каждого R_i -го ОИ из априорного множества признаков P_{Ei} и предварительно идентифицированных признаков из апостериорного множества P_i

$$P_{Ei} = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - f_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - d_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - s_{0ik}]^{-1}, \quad (17)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - \hat{f}_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - \hat{d}_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - \hat{s}_{0ik}]^{-1}$$

Числовые значения меры соответствия ОИ его обобщенным данным априорного множества признаков рассчитывается согласно выражений

$$\Omega_1 = \frac{P_1}{P_{E1}}, \Omega_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, \Omega_i = \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, \Omega_n = \frac{P_n}{P_{En}}. \quad (18)$$

Решение о идентификации принимается из условия $\Omega_i > 0,5$.

Выражения (11)–(18) формируют самоорганизующуюся модель идентификации. В предложенной модели используется аналоговое описание априорных и апостериорных множеств признаков, что позволяет избежать необходимость комбинаторного перебора сравниваемых признаков образа с ОИ и обеспечивает снижение размерности решаемой задачи. Самоорганизация на этапе идентификации проявляется в последовательности процессов: обучения системы (получения априорных множеств признаков); ее эволюции при реализации этапов приближения моделей апостериорных признаков к априорным; самоорганизации с течением времени, обновления множеств признаков и уменьшения общей неопределенности при решении задачи идентификации.

Выводы. Таким образом, в ходе исследований сформированы ситуационная модель структурно-параметрического синтеза системы реагирования на КС и самоорганизующаяся модель идентификации контролируемых объектов. Разработанные подходы позволяют реализовать эффективное решение задач управления и распознавания в условиях динамического изменения внешней обстановки, анализа многих факторов и обработки значительных информационных массивов в едином информационном пространстве с разнородными распределенными в пространстве источниками данных.

Список литературных источников

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление : теория и практика / Д.А.Поспелов.–М.:Наука, 1986.–288с.
2. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д.Цвиркун.–М.:Наука, 1982.–200с.
3. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособ. для студентов вузов; под ред. И. В. Кузьмина. – К. : Высшая школа, 1981. – 360 с.
4. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский. – Х. : Факт, 1997. – 240 с.
5. Потапов А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – СПб. : Политехника, 2007. – 548 с.
6. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен; пер. с англ. под ред. Ю.Л.Климантовича, С.М.Осовца.–М.:Мир, 1980.–404с.
7. Ивахненко А. Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Дмитриев. – М. : Сов. радио, 1979. – 280 с.
8. Кузнецова В.Л. Самоорганизация в технических системах / В.Л.Кузнецова, М.А.Раков. – К.:Наук думка, 1987.–200с.
9. Никитенков Н. Н. Синергетика для инженеров: учебное пособие / Н. Н. Никитенков, Н. А. Никитенкова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 168 с.