

О.О. Писарчук, д.т.н., с.н.с.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Державного університету телекомунікацій

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ЕРГАТИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто математичні моделі синтезу структури ергатичної інформаційно-керуючої системи й процесу ідентифікації контрольованих об'єктів. Різноманітність і апріорна невизначеність за типом конфліктної ситуації при управлінні складними об'єктами в умовах динамічної зміни зовнішньої обстановки вимагає використання ситуаційного принципу керування. При цьому, залежно від змісту й сутності контрольованої ситуації, ситуативно створюється структурно-параметрична конфігурація системи керування. В результаті досліджень сформовано математичну модель синтезу структури ергатичної інформаційно-керуючої системи з використанням методів багатокритерійного аналізу на базі концепції ситуаційного керування. Також запропоновано математичну модель ідентифікації на основі самоорганізації, яка має властивості упорядкування створення й еволюції структур: об'єкти ідентифікації – апостеріорні ознаки. Результати перевірки працездатності запропонованого підходу підтвердили реалізованість ідентифікації на основі самоорганізації. Ефективне використання розробленої моделі можливе в завданнях великої розмірності.

Ключові слова: ідентифікація; управління; ергатична інформаційно-керуюча система; математична модель; синтез.

Актуальність досліджень. Сучасні завдання керування складними об'єктами вирішуються ергатичними системами в умовах динамічної зміни зовнішньої обстановки, супроводжуються аналізом багатьох факторів, обробкою значних інформаційних масивів, одержаних від різноманітних, розподілених у просторі інформаційних джерел (ІнфД), а також вимагають адекватного й актуального реагування на конфліктні ситуації (КС), що виникають при цьому. Прикладом таких ергатичних інформаційно-керуючих структур можуть бути системи керування повітряним рухом, військами й зброєю, державними інституціями різного рівня тощо. Ефективним підходом до вирішення подібних завдань керування може бути застосування розподілених інформаційно-керуючих систем реагування на КС. Різноманітність і апріорна невизначеність за типом КС вимагає використання ситуаційного принципу керування в системах реагування на них. При цьому, залежно від змісту й сутності контрольованої ситуації, необхідно ситуативно створювати структурно-параметричну конфігурацію системи керування.

У той же час, розглядаючи керування як взаємозалежний замкнений ланцюжок дій з розпізнавання, передбачення, ідентифікації, прийняття рішення й безпосередньо керування в умовах надмірності внутрішньої й зовнішньої інформації, слід зазначити необхідність вирішення завдання ідентифікації в умовах великої розмірності. Необхідність ідентифікації виникає у ході класифікації позаштатних (конфліктних) ситуацій у системах керування повітряним рухом, навігації космічних апаратів, контролю радіоелектронної обстановки, ідентифікації конфліктних ситуацій при функціонуванні ситуаційних центрів, виявлення комп'ютерних (кібернетичних) атак на системи керування, ідентифікації джерел радіовипромінювання різного походження й характеру.

У зв'язку із цим **актуальним** є завдання напрацювання ефективних підходів до синтезу структури складних розподілених інформаційно-керуючих систем і процесів ідентифікації для умов динамічної зміни зовнішньої обстановки й внутрішніх процесів, супроводжуваних необхідністю аналізу надлишкових інформаційних масивів.

Аналіз існуючих підходів. Завдання конфігурування інформаційно-керуючої системи належить до класу завдань аналізу й синтезу складних систем [1, 2]. Основними недоліками класичних підходів до системи реагування на КС є складність їх практичного застосування для різноманітних розподілених систем в умовах динамічної зміни зовнішньої обстановки й внутрішніх процесів, а також використання, значною мірою, однокритерійних цільових функцій ефективності. Разом з тим відомо, що ефективність вирішення такого класу завдань підвищується із застосуванням методів багатокритерійного аналізу й ситуаційного керування [3, 4]. Традиційно завдання ідентифікації вирішуються з використанням методів теорії розпізнавання образів [5, 6]. Їх сутність полягає в послідовному зіставленні масиву апріорно заданих образів з реальному розпізнаваному об'єкту з оцінюванням заходу їх відповідності. Такий підхід неефективний в умовах надмірності внутрішньої й зовнішньої інформації.

Таким чином, **метою** статті є розробка математичних моделей синтезу структури складної розподіленої керуючої системи й процесу ідентифікації на базі ситуаційних і таких, що самоорганізуються, концепцій.

Викладення основного змісту статті. Для вирішення завдання розробки математичної моделі синтезу структури ергатичної інформаційно-керуючої системи пропонується розглядати синтезовану систему на трьох рівнях: ІнфД; системи обробки інформації й прийняття рішень; споживачів інформації – виконавчих елементів, дії яких спрямовані на усунення КС. Така система призначена для реалізації функцій: контролю поточної ситуації з використанням наявних і доступних ІнфД; виявлення й ідентифікації КС; конфігурування системи відповідно до ситуації, що склалася; формування сценарію дій для усунення; визначення завдань виконавчим елементам та ІнфД на усунення й контроль розвитку КС із наступним переведенням системи в штатний режим функціонування.

Опис КС реалізується наступним чином. Нехай i -та ($i=1..I$) КС – KS_i характеризується множиною (формуляром), що впливають із трійки: P_{ks} – ознака КС, що являє собою унікальну для кожного її типу літерно-цифрову комбінацію; T_{ks} – множина (перелік) частинних завдань системи з усунення виниклої ситуації (формується, виходячи із завдань системи в цілому й завдань окремих автоматизованих робочих місць (АРМ)); I_{ks} – множина (перелік) інформаційних потреб системи з усунення КС. Тоді *формуляр КС* задається множиною:

$$KS_i = \{P_{ks_i}, T_{ks_j}^{KS}, I_{ks_f}^{KS}\}, i=1..I, j=1..J, f=1..F. \quad (1)$$

У свою чергу, множину частинних завдань з усунення КС і перелік інформаційних потреб для i -ої КС можна надати у вигляді підмножин:

$$T_{ks_j}^{KS} = \{T_{ks_{i1}}, T_{ks_{i2}}, T_{ks_{i3}}, \dots, T_{ks_{iL_i}}\}, i=1..L_i, \quad (2)$$

$$I_{ks_f}^{KS} = \{I_{ks_{i1}}, I_{ks_{i2}}, I_{ks_{i3}}, \dots, I_{ks_{iK_i}}\}, k=1..K_i.$$

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента (АРМ) як технічна система. Кожне АРМ характеризується множиною (*формуляром АРМ*) з переліку завдань та інформаційних потреб:

$$ES_j = \{T_{ks_j}^{ES}, I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ID})\}. \quad (3)$$

Функціональне позначення $I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ES})$ характеризує взаємозв'язок інформаційних потреб j -го АРМ, забезпечуваних інформаційними можливостями f -го ІнфД.

Опис джерел інформації характеризується множиною пар (*формуляром ІнфД*): I_{ks}^{ID} – перелік (множина) інформаційних можливостей ІнфД; TX – перелік (множина) технічних характеристик (ТХ) ІнфД, що забезпечують його можливості:

$$ID_f = \{I_{ks_f}^{ID}, TX_f\}. \quad (4)$$

Таким чином, на понятійному рівні проведено формальний математичний опис складових розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на КС.

Далі здійснюється структурно-параметричний синтез системи за кількісним та якісним складом із застосуванням методів багатокритерійної оптимізації шляхом зведення сукупності частинних критеріїв в єдиний функціонал за згортою проф. Вороніна А.Н. [4] Сутність синтезу полягає у визначенні складу необхідних АРМ, доданих до них (доступних) ІнфД для усунення виниклої КС. Склад АРМ та ІнфД непрямым чином визначає параметри складових системи реагування на КС.

Так, кількісний склад системи визначається відповідно до оптимізаційної моделі:

$$F(N_{ARM}) = (1 - t_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - D_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - ID_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де залежними від кількості АРМ N_{ARM} , нормованими до мінімізованої форми частинними критеріями є: $t_{ks0}(N_{ARM})$ – час, що затрачується на усунення КС; $D_{ks0}(N_{ARM})$ – достовірність рішень, що формуються для усунення КС; $ID_{ks0}(N_{ARM})$ – характеристика інформаційної надмірності системи, що синтезується.

Якісний склад системи визначається, виходячи з вимог найкращого відображення в її структурі виниклої КС. При цьому оптимальною буде структура системи, що забезпечує: виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром КС $T_{S_j} \rightarrow \max$; найбільша кількість використовуваних для усунення КС ІнфД $I_{S_j} \rightarrow \max$ з найкращими ТХ $TX_{S_j} \rightarrow \max$. Операція конфігурування реалізується відповідно до оптимізаційної моделі та має вигляд:

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{S_{j0}})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{S_{j0}})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{S_{j0}})^{-1} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Як вагові коефіцієнти використовуються параметри GT_j, GI_j, GTX_j , що відображають значущість АРМ за параметрами $T_{S_j}, I_{S_j}, TX_{S_j}$.

Вирази (5), (6) являють собою моделі синтезу структури складної розподіленої інформаційно-керуючої системи. Сформовані таким чином моделі базуються на принципі ситуаційного керування, реалізованому з використанням методів багатокритерійного аналізу.

У загальному вигляді завдання ідентифікації формулюється наступним чином. Існує безліч об'єктів ідентифікації (ОІ) різного типу $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$, $i = 1 \dots n$. Як ОІ розглядаються: радіотехнічні системи (пілотовані й безпілотні повітряні, космічні апарати, пункти керування різного призначення з радіо- й радіолокаційними станціями й іншим обладнанням, що мають випромінювання в акустичному, радіо-, відео- й інфрачервоному діапазоні хвиль).

Кожний ОІ має сукупність різнорідних ознак, які доцільно поділити на три категорії: факти; дані; судження. *Факти*, що описуються, надалі множиною $F = \{F_1\{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1j}\}, F_2\{f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2j}\}, \dots, F_i\{f_{ij}\}\}$, $j = 1 \dots m_1, m_2, \dots, m_i$, являють собою об'єктивну інформацію про ОІ, що не відображається числовою величиною, наприклад, космічний (або від аеродинамічного об'єкта) знімок ОІ, його обрис, склад, динаміка зміни форми тощо. Категорія ознак *дані* – $D = \{D_1\{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1l}\}, D_2\{d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2l}\}, \dots, D_i\{d_{il}\}\}$, $l = 1 \dots L_1, L_2, \dots, L_i$ – поєднують вимірювальну інформацію про ОІ, наприклад його координати, параметри траєкторії руху (у тому числі екстрапольовані), характеристики випромінюваних сигналів, ефективна поверхня розсіювання, радіолокаційний портрет тощо. *Судження* – $S = \{S_1\{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1k}\}, S_2\{s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2k}\}, \dots, S_i\{s_{ik}\}\}$, $k = 1 \dots K_1, K_2, \dots, K_i$ – поєднують суб'єктивну інформацію про ОІ, наприклад, його характер дій, зміст радіообміну борт-земля повітряного корабля, стан ОІ та ін.

Конкретний ОІ R_i за своєю сутністю в статичному стані або в процесі функціонування об'єктивно містить або породжує (у тому числі суб'єктивно) унікальну комбінацію з переліком належних йому підмножин ознак: фактів – $F_i\{f_{ij}\}$; даних – $D_i\{d_{il}\}$; суджень – $S_i\{s_{ik}\}$ із простору F, D, S . Причому унікальність ОІ відображається не лише комбінацією, але й числовими характеристиками окремих ознак.

Тоді, відповідно до введених позначень ОІ, апріорно можна охарактеризувати множиною

$$R_i \subset F_i\{f_{ij}\} \cup D_i\{d_{il}\} \cup S_i\{s_{ik}\} = \{F_i\{f_{ij}\}, D_i\{d_{il}\}, S_i\{s_{ik}\}\} = R_i. \quad (7)$$

Апріорна визначеність множини (7) пояснюється тим, що об'єкт, який ідентифікується, є технічною системою, створеною людиною із закладеними в ОІ властивостями й параметрами. Множину (7) будемо називати *апріорною множиною ознак ОІ*.

У процесі спостереження за об'єктами з метою їх ідентифікації для конкретного моменту часу в обмеженому контрольованому просторовому районі (розміри району визначаються конкретикою розв'язуваного завдання й характеристиками технічних засобів спостереження за ОІ) формуються *апостеріорні множини ознак*: фактів – $\hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}$; даних – $\hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}$; суджень – $\hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}$, що належать тому самому простору F, D, S :

$$W = \left\{ \begin{array}{l} F = \{\hat{F}_1\{\hat{f}_{11}, \hat{f}_{12}, \dots, \hat{f}_{1j}\}, \hat{F}_2\{\hat{f}_{21}, \hat{f}_{22}, \dots, \hat{f}_{2j}\}, \dots, \hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}\} \\ D = \{\hat{D}_1\{\hat{d}_{11}, \hat{d}_{12}, \dots, \hat{d}_{1l}\}, \hat{D}_2\{\hat{d}_{21}, \hat{d}_{22}, \dots, \hat{d}_{2l}\}, \dots, \hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}\} \\ S = \{\hat{S}_1\{\hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{1k}\}, \hat{S}_2\{\hat{s}_{21}, \hat{s}_{22}, \dots, \hat{s}_{2k}\}, \dots, \hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}\} \end{array} \right\} = \{\hat{F}_i\{\hat{f}_{ij}\}, \hat{D}_i\{\hat{d}_{il}\}, \hat{S}_i\{\hat{s}_{ik}\}\}. \quad (8)$$

Сутність апостеріорних множин ознак – експериментальні дані й суб'єктивні оцінки з відповідними видами помилок. Апостеріорно невизначеною є належність отриманих (вимірних) фактів, даних і суджень конкретному ОІ.

Завдання ідентифікації об'єкта полягає у визначенні типу (категорії) ОІ шляхом установлення відповідності значень показників з *апостеріорної множини ознак* (8) із вмістом *апріорної множини ознак* (7) в умовах апріорної невизначеності про ОІ в контрольованому районі, помилок вихідних даних, високої динамічності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки, а також значної надмірності різнорідної інформації для ідентифікації.

Основною властивістю систем, що самоорганізуються, є їх довільне упорядкування, утворення й еволюція просторових і часових структур. Завдання ідентифікації можна відобразити в термінах синергетики наступним чином. Маємо систему великої розмірності з високим рівнем ентропії, що характеризується апостеріорною множиною ознак (*вихідна система*). Необхідно створити математичну модель її самоорганізації, наближаючи до прототипу з меншою ентропією, обумовленою апріорною множиною ознак (*кінцева система*).

Вихідною інформацією для ідентифікації є апостеріорна й апріорна вибірка ознак (7), (8), які можна модифікувати, одержавши для кожної i -ої ознаки монотонний спадний або зростаючий ряд. Монотонність модифікованих дискретних рядів апріорних і апостеріорних множин ознак дозволяє провести поліноміальне їх згладжування, наприклад, з використанням класичного методу найменших

квадратів. Результатом згладжування є аналогові поліноміальні моделі зміни значення кожної конкретної i -ої ознаки в групі (факти, дані, судження) у полі i -их ОІ вигляду:

для апріорних множин ознак – апріорні моделі:

$$f_j(N) = f_0 + f_1 N + f_2 N^2 + \dots, d_l(N) = d_0 + d_1 N + d_2 N^2 + \dots, s_k(N) = s_0 + s_1 N + s_2 N^2 + \dots, \quad (9)$$

для апостеріорних множин ознак – апостеріорні моделі:

$$\hat{f}_j(N) = \hat{f}_0 + \hat{f}_1 N + \hat{f}_2 N^2 + \dots, \hat{d}_l(N) = \hat{d}_0 + \hat{d}_1 N + \hat{d}_2 N^2 + \dots, \hat{s}_k(N) = \hat{s}_0 + \hat{s}_1 N + \hat{s}_2 N^2 + \dots \quad (10)$$

Аргументом N є абстрактний аналоговий процес, що описується у дискретній формі рівнодискретним рядом чисел $N = 1, 2, 3, \dots$ та інтерпретується за своїми значеннями для кожного реального індексу вихідних множин (7), (8).

Сутність апріорної множини ознак полягає в експериментальному їхньому характері, отримуванні об'єктивно з використанням технічних засобів вимірювання або суб'єктивно у вигляді усереднених суджень (оцінок) оператора відповідної системи керування. Отже, апріорній множині ознак характерна поява: випадкових помилок (ВП) вимірювань (до них належать й флуктуації нечітких даних); грубих помилок вимірювань (ГВ) (аномальних викидів (вимірювань), явних промахів у судженнях, а також оцінок і вимірювань ОІ, що не входить у перелік апріорної множини ознак). Зазначені причини, безсумнівно, призводять до незбігання моделей (9) і (10). Тоді, позбувшись від грубих вимірювань і зменшивши ВП, можна одержати апостеріорну вибірку за кожною ознакою із прив'язкою до конкретного ОІ. При цьому будемо спостерігати наближення моделі (10) до моделі (9). З погляду синергетики, описане явище являє собою наближення стану системи ідентифікації, описуване моделлю (10), за рівнем своєї організації до аттрактора системи з більш високим рівнем організації, яка описується моделлю (9). При цьому ентропія кінцевої системи ідентифікації зменшується.

Реалізувати описаний процес пропонується наступним чином. Вибірка вимірів апостеріорної множини ознак підлягає попередній обробці з метою виявлення грубих вимірювань. Для цього будемо використовувати апробований рекурентний алгоритм виявлення аномальних вимірювань, оснований на аналізі динаміки зміни апроксимуючої моделі [7]. Виявлення ГВ реалізується шляхом аналізу значення коефіцієнта «старіння» інформації невідповідності, що змінюється з проявом невідповідності динаміки зміни прийнятих поліноміальних моделей (10) реальній апостеріорній монотонній вибірці ознак. Оптимальне за мінімумом суми динамічної й флуктуаційної похибок оцінювання експериментальних даних значення коефіцієнта «старіння» S_{st}^{opt} визначається згідно з емпіричним рівнянням:

$$(S_{st}^{opt} + 4)(S_{st}^{opt} - 1)^5 - A_N^2 (S_{st}^{opt} + 4)^4 = 0, \quad (11)$$

де $A_N^2 = \Delta t \alpha_N^2 \sigma^{-2}$ – інтенсивність динаміки зміни значень апостеріорних ознак; $\alpha_N^2 = \vartheta_N - \vartheta_{N-1}$ – швидкість зміни ознак; σ^2 – дисперсія вимірювання значень ознак; Δt – період відновлення інформації. Для розв'язку рівняння (11) використовується метод дихотомії. Ознакою ГВ є вихід за встановлені за відсутності грубих вимірювань межі пошуку розв'язку рівняння (11) – коефіцієнта «старіння» S_{st}^{opt} . Граничні значення встановлюються для кожного типу моделей, наприклад, для квадратичного полінома вони мають значення 0–1.

Виявлені ГВ видаляються з вибірки вимірювань апостеріорних ознак і накопичуються в базі даних нових ОІ для можливого використання на етапі навчання (донавчання) системи ідентифікації. Вільна від ГВ вибірка є експериментальною основою для формування поліноміальних моделей вигляду

$$\begin{aligned} \hat{f}'_j(N) &= \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1 N + \hat{f}'_2 N^2 + \dots, \hat{d}'_l(N) = \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1 N + \hat{d}'_2 N^2 + \dots, \\ \hat{s}'_k(N) &= \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1 N + \hat{s}'_2 N^2 + \dots \end{aligned} \quad (12)$$

Надалі необхідно попарно оцінити схожість (близькість) модельних функцій: $f_j(N)$ і $\hat{f}_j(N)$, $f_j(N)$ і $\hat{f}'_j(N)$ – на обмеженому інтервалі ознак з аналогічним повторенням цих процедур для ознак з категорій даних і суджень. Реалізувати оцінювання міри схожості моделей, що описують зміну апріорних і апостеріорних множин ознак, пропонується шляхом розрахунків і оцінювання величини квадрата нев'язки площ фігур, обмежених кривими $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$. Отже, можна записати

$$\mathcal{D} = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \quad \mathcal{D}' = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2. \quad (13)$$

Параметр (13) обраний для використання, насамперед, завдяки обліку в ньому множинного відношення наявних апріорних і отриманих апостеріорних ознак ідентифікації у вигляді єдиної числової міри різниці площ. Квадратична форма застосована для обліку позитивних і негативних знаків у різниці

площ площинних фігур під кривими, що розглядаються.

Ознакою досягнення необхідного рівня організованості системи ідентифікації може служити факт виконання нерівності:

$$\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta. \quad (14)$$

Внутрішня нерівність $(\delta' < \delta)$ характеризує еволюцію системи й буде виконана за реалізації правильної селекції ГВ, тобто прийнята правильна гіпотеза про належність значень апостеріорної множини ознак об'єкту, що ідентифікується. Виконання зовнішньої нерівності $\max \delta < (...) < \min \delta$ характеризує досягнення необхідного рівня організованості системи ідентифікації. Значення $\max \delta$ визначається для конкретних умов вирішення завдання за наявності в експериментальній вибірці ВП, а також 50 % і більше ГВ. Значення $\max \delta$ визначається лише за наявності ВП.

З метою розширення розрахункових можливостей використання виразів (13) для широкого класу нелінійних модельних функцій $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$, а також значного зменшення кількості необхідних операцій для обчислення інтегралів з використанням обчислювальної техніки застосуємо метод диференціальних перетворень (ДП) [8].

ДП в загальному випадку – це функціональні перетворення вигляду:

$$Z(k) = P\{z(N)\}_{N^*} = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k z(N)}{dt^k} \right]_{N^*}, \quad z(N) = f(N, c), \quad (15)$$

де N^* – значення аргументу, за якого проводиться перетворення; $Z(k)$ – дискретна функція аргументу $k = 0, 1, 2, \dots$; H – відрізок аргументу, на якому розглядається функція $z(N)$; $f(N, c)$ – відновлювальна функція; c – сукупність вільних коефіцієнтів відновлювальної функції c_i .

Вираз (15) забезпечує одержання за оригіналом $z(N)$ його зображення $Z(k)$ (пряме перетворення). Обернене перетворення $z(N) = f(N, c)$ дає можливість відновлення оригіналу $z(t)$ у вигляді функції $f(N, c)$. Диференціальне зображення $Z(k)$ називається диференціальним спектром (ДС), або Р-спектром, а значення $Z(k)$ для конкретних аргументів k – дискретами ДС (Р-дискретами). У найпростішому випадку функція $f(t, c)$ має вигляд багаточлена, а відновлення оригіналу зводиться до підсумовування дискрет Р-спектра у вигляді відрізка ряду Тейлора (основні або диференціально-тейлорівські (ДТ) перетворення) [9]. У розв'язуваній задачі використовуються ДТ перетворення.

Для одержання Р-моделі обчислення параметрів δ , δ' скористаємося виразом для розрахунків диференціального спектра певного інтеграла [5]:

$$\int_{N_a}^{N_b} z(N) dN = H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_b}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_a}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{Z(k)}{k+1}. \quad (16)$$

Отже, Р-моделі для обчислення параметрів δ , δ' мають вигляд:

$$\delta = \left[H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{F(k)}{k+1} - H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{\hat{F}(k)}{k+1} \right]^2, \quad (17)$$

$$\delta' = \left[H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{F(k)}{k+1} - H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{\hat{F}'(k)}{k+1} \right]^2,$$

де інтервал H може бути зіставним або таким, що дорівнює інтервалу інтегрування $N_1 \dots N_n$, $F(k)$, $\hat{F}(k)$, $\hat{F}'(k)$ – дискрети ДС поліноміальних функцій $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$, що обчислюються відповідно до виразу:

$$z(N) = c_0 + c_1 N + c_2 N^2 + \dots + c_i N^i + \dots + c_n N^n \Rightarrow Z(k) = \sum_{i=0}^{i=n} c_i H^i \vartheta(k-i), \quad (18)$$

де $\vartheta(k)$ – одинична функція (тейлорівська одиниця), що набуває значення одиниці при $k=0$ й нуля при $k \geq 1$; символ \Rightarrow в (18) позначає відповідність оригіналу зображенню розглянутої функції.

Слід зазначити, що процес селекції вимірюваних ознак з контролем умови (14) породжує еволюцію системи ідентифікації, що виражається в наближенні функцій поточного стану системи $\hat{f}_j(N)$, $\hat{d}_j(N)$, $\hat{s}_j(N)$ через проміжні стани, описувані моделями $\hat{f}'_j(N)$, $\hat{d}'_j(N)$, $\hat{s}'_j(N)$, до аттракторів у вигляді конкретних моделей $f_j(N)$, $d_j(N)$, $s_j(N)$. Цей процес повторюється зі зміною зовнішніх умов

ідентифікації – відновлення або уточнення значень ознак апостеріорної множини із часом тощо [10]. Таким чином, досягається самоорганізація системи шляхом приведення вихідного її стану до впорядкованого (з меншою ентропією). Свідченням упорядкованості системи ідентифікації є вузлова прив'язка за параметром N ознак апостеріорної множини до конкретного ОІ – R_i .

Об'єднання ознак здійснюється послідовно в межах категорій і за категоріями. Для цього застосовується технологія вкладених згорток з нелінійною схемою компромісів [4].

За згорткою формуються узагальнені ознаки для кожного R_i -го ОІ з апіорної множини ознак P_{Ei} і попередньо ідентифікованих ознак з апостеріорної множини P_i :

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

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - \hat{f}_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - \hat{d}_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - \hat{s}_{0ik}]^{-1}.$$
(19)

Нормування ознак здійснюється щодо суми значень за всіма ОІ. Числові значення міри відповідності ОІ його узагальненим даним апіорної множини ознак розраховується згідно з виразами:

$$W_1 = \frac{P_1}{P_{E1}}, W_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, W_i = \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, W_n = \frac{P_n}{P_{En}}.$$
(20)

Рішення про ідентифікацію об'єкта приймається за виконання умови $W_i > 0,5$.

Таким чином, запропоновано підхід до вирішення завдання ідентифікації у вигляді математичної моделі (19) для умов великої розмірності й істотної динаміки зміни зовнішніх умов. Сформована модель базується на принципі самоорганізації, реалізованому з використанням методів побудови й дослідження статистичних моделей, ДП і багатокритерійного аналізу.

Розрахунковий приклад для перевірки працездатності викладеного підходу полягав у такому. Нехай для деякого ОІ з відомою апіорною множиною ознак у вигляді даних $D_i \{d_{il_i}\}_1$ отримана апостеріорна множина $\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_4$, модифікована до зростаючого ряду (табл. 1). У прикладі вибірка апостеріорних ознак містить тільки одне грубе вимірювання, що не належить ОІ – для R_{x_3} . Розглянутий випадок із тривіальним розв'язком дозволяє чітко оцінити працездатність запропонованого підходу до ідентифікації. У таблиці 1 прийняті позначення: $D_i \{d_{il_i}\}_{S_2}$ – оцінки апіорних даних, отримані при використанні апіорних моделей, побудованих за вибіркою $D_i \{d_{il_i}\}_1$; вважаються відомими ідеальні (без випадкових помилок вимірів) елементи апостеріорних множин ознак $\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_3$; $\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_4$ – зашумлені помилками вимірювань з нормальним законом розподілу, нульовим середнім і з дисперсією, що дорівнює 0,2 од., елементи апостеріорної множини ознак; $\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_{S_5}$ – оцінки елементів апостеріорної множини ознак, отримані при використанні апостеріорних моделей з повною вибіркою вимірювань; $\hat{D}_i \{\hat{d}'_{il_i}\}_{S_6}$ – оцінки елементів апостеріорної множини ознак, отримані при використанні апостеріорних моделей за вільною від ГВ вибіркою. Виявлення ГВ проведено з використанням рівняння (11).

Таблиця 1

Модифіковані апіорні й апостеріорні множини ознак

Ознака		Об'єкт ідентифікації									
		R_{x_1}	R_{x_2}	R_{x_3}	R_{x_4}	R_{x_5}	R_{x_6}	R_{x_7}	R_{x_8}	R_{x_9}	$R_{x_{10}}$
1	$D_i \{d_{il_i}\}_1$	1,20	2,40	4,50	6,00	8,00	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
2	$D_i \{d_{il_i}\}_{S_2}$	1,35	2,65	4,14	5,83	7,72	9,80	12,08	14,56	17,23	20,10
3	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_3$	1,20	2,40	4,50	6,00	9,20	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
4	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{il_i}\}_4$	1,61	2,72	4,86	5,73	8,73	10,22	11,76	13,85	16,86	20,81

5	$\hat{D}_i \{ \hat{d}_{il_i} \}_{S_5}$	1,75	2,98	4,41	6,05	7,88	9,92	12,16	14,60	17,25	20,09
6	$\hat{D}_i \{ \hat{d}'_{il_i} \}_{S_6}$	1,81	2,91	4,25	5,83	7,64	9,68	11,96	14,48	17,23	20,21

За вибіркою $D_i \{ d_{il_i} \}_i$ з використанням методу найменших квадратів отримано апіорні моделі вигляду:

$$d(N) = 0,2517 + 1,00039N + 0,0981N^2. \quad (21)$$

Аналогічним чином за повною вибіркою $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{il_i} \}_i$ отримано апостеріорну модель:

$$\hat{d}_i(N) = 0,7297 + 0,9257N + 0,1011N^2, \quad (22)$$

а за вибіркою без ГВ – модель вигляду:

$$d'(N) = 0,9471 + 0,7512N + 0,1176N^2. \quad (23)$$

Порівняння моделі (21) з (22) і (23), згідно з (17), дозволяє одержати величини квадрата нев'язки площ фігур, обмежених ними: $\delta = 2,0451$; $\delta' = 0,0592$. Отримані значення свідчать, принаймні, про виконання внутрішньої нерівності (14). Отже, для розглянутого спрощеного прикладу елементи апостеріорної множини $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{il_i} \}_i$ можна прийняти належними ОІ, крім R_{x_5} . Елементарна операція зіставлення номерів апіорної й апостеріорної множин до їхньої трансформації в монотонний ряд для ОІ R_i й R_{x_i} тут також не наводиться. Таким чином, можна стверджувати про зменшення ентропії вихідного стану системи (взаємозв'язки ОІ – ознака), що характеризується апостеріорною множиною ознак $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{il_i} \}_i$. Отже, розглянутий приклад демонструє реалізованість ідентифікації на основі самоорганізації.

Висновки. У ході досліджень сформовано математичну модель синтезу структури ергатичної інформаційно-керуючої системи з використанням методів багатокритерійного аналізу на базі концепції ситуаційного керування. У статті також запропоновано математичну модель ідентифікації на основі самоорганізації, яка має властивості упорядкування створення й еволюції структур: об'єкти ідентифікації – апостеріорні ознаки. Ефективне використання моделі можливе в завданнях великої розмірності.

Список використаної літератури:

1. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М. : Наука, 1982. – 200 с.
2. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособ. / под ред. И.В. Кузьмина. – К. : Высшая школа, 1981. – 360 с.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 288 с.
4. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко и др. – 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. Вопросы статистической теории распознавания / под ред. В.В. Варсково. – М. : Сов. радио, 1967. – 399 с.
7. Ковбасюк С.В. Алгоритм виявлення аномальних радіолокаційних вимірів / С.В. Ковбасюк, О.О. Писарчук, Є.Ю. Пономарьов // Вісник ЖДТУ / Серія : Технічні науки. – 2003. – № 3 (27). – С. 79–83.
8. Пухов Г.Е. Дифференциальный анализ электрических цепей / Г.Е. Пухов. – К. : Наук. думка, 1982. – 496 с.
9. Харченко В.П. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання процесів у системах керування рухом : монографія / В.П. Харченко, О.О. Писарчук. – К. : Інститут обдарованої дитини, 2015. – 284 с.
10. Система локального і глобального динамічного моніторингу параметрів навколишнього середовища реального часу : монографія / Ю.Я. Бобало, Ю.Т. Даник, М.М. Климаш та ін. – Львів : Укр. акад. друкарства, 2013. – 452 с.

ПИСАРЧУК Олександр Олександрович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри радіоелектронної боротьби та захисту інформації Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

– аналіз та синтез складних інформаційно-керуючих систем (моделювання, обробка інформації, оптимізація).

Тел.: (0412) 45-04-91.

E-mail: PlatinumPA@meta.ua.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2014

Писарчук О.О. Моделювання процесів ситуаційного управління та ідентифікації в ергатичних інформаційно-керуючих системах

Писарчук А.А. Моделирование процессов ситуационного управления и идентификации в эргатических информационно-управляющих системах.

Pysarchuk O.O. Modeling of processes of situational control and identification in the ergatic information and control systems.

УДК 519.711.3

Моделирование процессов ситуационного управления и идентификации в эргатических информационно-управляющих системах / А.А. Писарчук

В статье рассмотрены математические модели синтеза структуры эргатической информационно-управляющей системы и процесса идентификации контролируемых объектов. Разнообразие и априорная неопределенность по типу конфликтной ситуации при управлении сложными объектами в условиях динамического изменения внешней обстановки требует использования ситуационного принципа управления. При этом, в зависимости от содержания и сущности контролируемой ситуации, ситуационно создается структурно-параметрическая конфигурация системы управления. В результате исследований сформирована математическая модель синтеза структуры эргатической информационно-управляющей системы с использованием методов многокритериального анализа на базе концепции ситуационного управления. В статье также предложена математическая модель идентификации на основе самоорганизации, которая обладает свойствами упорядочения создания и эволюции структур: объекты идентификации – апостериорные признаки. Результаты проверки работоспособности предложенного подхода подтвердили возможность реализации идентификации на основе самоорганизации. Эффективное использование модели возможно в задачах большой размерности.

Ключевые слова: идентификация; управление; эргатическая информационно-управляющая система; математическая модель; синтез.

УДК 519.711.3

Modeling of processes of situational control and identification in the ergatic information and control systems / O.O. Pysarchuk

The mathematical model of structure synthesis of the ergatic information and control systems and process of controlled objects authentication is considered in the article. Diversity and a priori uncertainty by type of conflict situation during control by complex objects in a dynamically changing external environment requires the use of situational control principle. In this case, depending on the content and nature of the controlled situation the structural-parametric configuration of control system is created situationally. As the result of research the mathematical model of structure synthesis of ergatic information and control systems using a multi-criteria analysis methods based on the concept of situational control is formed. The article also provides a mathematical model of identification based on self-organization, which has the properties of ordering the creation and evolution of structures: identification objects - a posteriori features. The results of efficiency estimation of proposed approach confirmed the possibility of identification realization on the basis of self-organization. Effective use of the model is possible in high dimensionality tasks.

Key words: identification; control; information and control system; mathematical model; synthesis.