

УДК 004.891.3

Г. І. ГАЙДУР, канд. техн. наук, доцент,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

## Побудова інтелектуальної інформаційної мережі на основі самоорганізуючих мереж

**Розглянуто принципи створення адаптивних самоорганізуючих мереж, здатних підвищувати свою функціональну стійкість до зовнішніх впливів. Запропоновано модель, яка дозволить підтримувати роботу мережі в разі її функціонування під дією зовнішніх збурень. Згідно з такою моделлю подано математичний опис процесів навчання та перевірки об'єктів самоорганізуючої мережі.**

**Ключові слова:** інтелектуальна інформаційна мережа; адаптація; самоорганізація; навчання; модель.

### Вступ

Самоорганізація будь-якої складної системи передбачає неухильне скорочення обсягу апріорної інформації, що її вносить автор моделі при моделюванні системи на ЕОМ, маючи на меті більш чи менш обмежити участь людини в процесі моделювання, зробити його необтяжливим і таким, що не викликає жодних проблем, а отже, не вимагає залучення експертів. Цього вдається досягти, наприклад, в інформаційних ергатичних системах за допомогою переходу на метамову діалогу людина–машина, таку як мова постановки критеріїв найзагальнішого вигляду, мінімум яких знаходить ЕОМ. Від людини вимагається лише повідомити дані спостережень і вказати критерії, що їх має задовольняти модель, а іноді — здійснити довизначення моделі, тобто процедуру остаточного її вибору.

### Постановка проблеми

Розробка математичного апарату для забезпечення функціональної надійності із заданим коефіцієнтом  $K_r$  готовності інтелектуальної інформаційної мережі (ІІМ), здатної до самоадаптації та самоорганізації, набуває особливої актуальності в разі багаторівневих інформаційних мереж. При цьому мережа, про яку йдеться, повинна мати властивості адаптації та самоорганізації, а отже, знадобляться дослідження адаптивної моделі ІІМ, здатної до самоорганізації, спрямовані на побудову математичного опису такої мережі для отримання математичної моделі її поведінки.

### Основна частина

Адаптивною, або відновлюваною, будемо називати таку ІІМ  $S$ , в якій під час роботи відбувається цілеспрямована зміна її параметрів, що має на меті стабілізувати роботу мережі [1].

Подамо адаптивну ІІМ функцією  $F(x)$  структури мережі, яка зазнає впливу внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих факторів (відмови мережі, обрив зв'язків між її елементами тощо). Функціонуван-

ня такої ІІМ описується системою диференціальних рівнянь, розв'язок якої в аналітичному або чисельному вигляді дозволяє розраховувати ймовірність значення коефіцієнта  $K_r$  для заданого часу, середній час життя ІІМ та ймовірність перебування її у стані адаптації.

При заданому співвідношенні між інтенсивностями відмов ( $\lambda_0, \lambda_1$ ) і збоїв ( $\lambda^* 0, \lambda^* 1$ ) постає завдання визначити тип адаптивної ІІМ і алгоритм адаптації, який забезпечує інформаційній системі на інтервалі  $[0, t]$  імовірність отримання  $K_r$ , не нижчого від заданого, при мінімальному впливі завад на мережу.

Інакше кажучи, для заданих співвідношень між інтенсивностями відмов і збоїв необхідно визначити такий тип адаптивної ІІМ і такий алгоритм адаптації, за яких ІІМ матиме максимальний середній час життя.

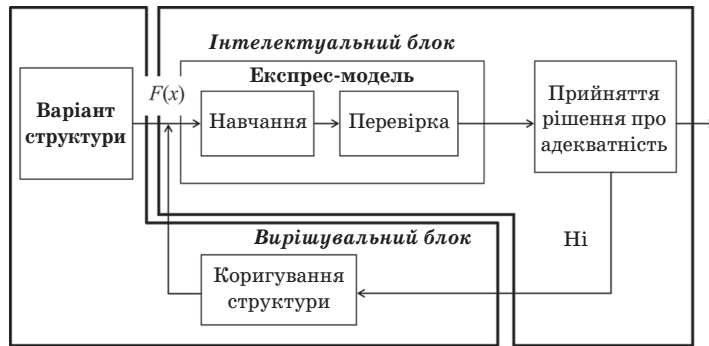
Для швидкої ідентифікації стану ІІМ побудуємо новий алгоритм експрес-проекування (див. рисунок) на основі запропонованої експрес-моделі. Спроекована мережа відрізняється від традиційної мережі тим, що вона автоматично «сама себе навчає» і «сама себе організує», залучаючи при цьому відповідно налаштоване обладнання або користувача [2].

Така модель має низку характерних властивостей:

1) на вхід блока подається інформація лише про **початкову структуру** об'єкта проектування (одного з варіантів цього об'єкта);

2) у разі автоматичної побудови та роботи з експрес-моделлю оптимізація параметрів елементів не виконується, оскільки вважається, що значення цих параметрів при **навчанні експрес-моделі** автоматично налаштовуються на деякий прихований багатоцільовий квазіоптимум;

3) робота з експрес-моделлю передбачає автоматичне виконання набору непрямих стандартних комп'ютерних процедур за допомогою швидкодійного інваріантного щодо зовнішніх збурень **програмного модуля**, пов'язаного зі структурою проектуваного об'єкта;



Самоорганізуюча інтелектуальна інформаційна мережа

4) *блок експрес-моделі* видає результат своєї роботи у вигляді деякого числового значення, придатного для безпосереднього порівняння і ранжування проєктованих варіантів об'єкта;

5) експрес-модель дозволяє легко моделювати численні стратегії технічного обслуговування мережі.

Отже, *інтелектуальний блок* дозволяє впорядковувати багаторазові відмови мережних елементів і відповідно до якості експрес-моделі формувати адаптивну математичну модель у вигляді інтелектуальних блоків, пов'язаних між собою за допомогою мережних елементів.

Одна з головних особливостей самоорганізуючих мереж — це здатність чинити опір зовнішнім збуренням, а також адаптуватися до змінюваних умов, перетворюючи при потребі свою структуру.

Можна виокремити два підходи до самоорганізації: *кібернетичний підхід*, згідно з яким система організується під дією управляючого органу, та *синергетичний підхід*, коли система власними зусиллями, за допомогою сукупності певних управляючих параметрів «запускає» процес самоорганізації, вибираючи власний шлях подальшого розвитку.

Зауважимо, що сучасні ПМ відзначаються різномірністю обладнання та ієрархічністю структури. Окремі їхні компоненти розосереджуються по певній території. За цих умов актуалізується завдання щодо створення адекватних моделей, які дозволяють оцінити параметри окремих об'єктів ПМ і визначити властивості, характерні для функціонування мережі в цілому. Особливий інтерес при розрахунку параметрів мережі та прогнозуванні змін їхніх значень викликають моделі складних об'єктів, здатних до самоорганізації.

Як відомо, для розв'язування комплексу задач, які стосуються функціонування ПМ, створено *метод групового врахування аргументів (МГУА)*, що його запропонував А. І. Івахненко. Цей метод реалізує вибір моделі оптимальної складності. Пропонується застосування ітераційного МГУА, на основі якого дістаємо оптимальні альтернативні моделі, що дозволяють здійснити вибір найкращих за певними показниками [2].

Принципова відмінність від звичайного регресійного аналізу полягає в тому, що перший має на

меті знайти мінімум критерію вибору певної множини, а другий — мінімізувати середньоквадратичну помилку (СКП) в усіх експериментальних точках при наперед заданому вигляді рівняння регресії (яке, утім, має суб'єктивний характер).

Згідно з МГУА пропонується розбивати послідовність даних на дві частини: перевірку і навчальну. Навчальну послідовність використовують для оптимізації коефіцієнтів рівняння регресії, як і в разі звичайного регресійного аналізу, а перевірку — для оцінювання ступеня регулярності за відносним значенням СКП.

Нагадаємо, що регресія — імовірнісна залежність середнього значення деякої величини від іншої величини.

Відповідно до теорії функціонально стійких систем підвищення рівня завад призводить до зменшення коефіцієнта  $K_r$  готовності системи в цілому, а також до зменшення кількості рівнянь і спрощення структури прогнозуючої моделі, отриманої в результаті самоорганізації.

Варто наголосити, що алгоритми самоорганізації при певному виборі їх структури і вигляду критеріїв забезпечують високу завадостійкість: завади можуть у кілька разів перевищувати корисний сигнал, але майже не спотворювати його. Адже розміри області моделювання (кількість рівнянь моделі) та складність моделі (кількість доданків у кожному рівнянні), коли йдеться про моделювання процесів самоорганізації, визначаються в результаті перебору варіантів: за допомогою спеціальних програм вибираємо лише таку фізичну модель, яка дає змогу мінімізувати ансамбль чи ієрархію заданих критеріїв.

Слід зазначити, що для моделювання процесів самоорганізації, особливо в інформаційних мережах, часто бракує обсягу вихідної інформації, проте є змога отримати інформацію стосовно процесів по інших об'єктах, схожих на досліджуваний. Тоді створюються однорідні групи досліджуваних об'єктів, а далі в межах кожної групи здійснюється побудова адекватних моделей.

Існують різні прийоми визначення однорідних класів об'єктів. Наприклад, вважають, що два об'єкти належать до одного й того самого класу, якщо обидва вони можуть бути описані анало-

гічними моделями. При цьому припускають, що структура вихідної інформації для об'єктів, які належать одному класу, однакова.

Отже, для кожного  $i$ -го об'єкта існує  $m$  реалізацій  $(y_i^i, u_i^i)$ , де  $u_i^i$  — вектор.

Для  $i$ -го та  $j$ -го об'єктів отримано моделі

$$y_i^i = f_i(u_i^i); y_j^j = f_j(u_j^j).$$

Як міру відповідності взято критерій

$$E_{ij} = \sum_{t=1}^m (y_i^i - f_j(u_i^i))^2 / m + \sum_{t=1}^m (y_j^j - f_i(u_j^j))^2 / m$$

— середню суму відхилень однієї з моделей, обчислену за вихідною інформацією іншої моделі. Цей критерій можна розглядати як різновид критерію мінімуму зсуву, причому реалізації одного об'єкта утворюють навчальну послідовність  $A$ , а реалізації іншого — перевірну послідовність  $B$ .

Для  $n$  об'єктів бажаний поділ на класи досягається в такий спосіб. Обчисливши значення  $E_{ij}$  для всіх можливих комбінацій пар об'єктів, знаходимо для кожного  $i$ -го об'єкта елемент, що належить йому з найменшим розузгодженням. Якщо справджується нерівність  $\min E_{ij} \leq E_0$  ( $E_0$  — деяке задане значення), то обидва елементи належать одному класу, інакше — різним класам. Ця процедура багато разів повторюється доти, доки для заданого  $E_0$  не буде утворено класи однорідних об'єктів.

При обчисленні  $E_{ij}$  припускаємо, що для кожного об'єкта існує  $m$  реалізацій, достатніх для моделей  $y = f_j(u_j^i)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Для малих значень  $m$  такий підхід неприйнятний. Тоді можна побудувати загальну модель  $y_m = f_m(u_m)$ , яка відповідає деякому усередненому об'єкту. Якщо у виразі для  $t$  функції достатньо «рівні» між собою, то тоді виразом

$$\Delta_i = \sum_{t=1}^m (y_{it} - f_m(u_{it})), i = 1, 2, \dots, m,$$

подаються середні відхилення окремих  $i$ -х об'єктів від значень усередненої моделі.

Якщо, наприклад,  $y$  — значення коефіцієнта  $K_r$  готовності, то  $\Delta_i < 0$  означає, що відповідний об'єкт міститься нижче середнього рівня коефіці-

єнта  $K_r$ . Згідно зі сказаним розглядувані об'єкти можна поділити на три класи:

- 1)  $\Delta_i \leq -B$ ;
- 2)  $|\Delta_i| < B$ ;
- 3)  $\Delta_i > B$ .

Одна з основних пропозицій полягає в тому, аби як дані по кожному контрольованому об'єкту застосовувати навчальну послідовність [3]. При цьому для утворення перевірної послідовності використовуються дані по іншому контрольованому об'єкту, найближчому за своїми характеристиками до першого. Звідси постає завдання щодо виокремлення об'єктів, схожих між собою за своїми характеристиками.

Згідно з такою постановкою задачі поведіння контрольованих об'єктів, що підлягає прогнозуванню, можна розглянути як вихідну величину деякої динамічної керованої системи, котра зазнає впливу випадкових збурень. У результаті самоорганізації такої системи математична модель, що описує її поведіння, зводиться до перетворення вхідного вектора  $F(t)$  на вихідний вектор  $y(t)$ . Залежно від апріорної інформації про досліджувану систему можуть бути отримані моделі статичних систем, динамічних систем, а також систем із зосередженими чи розподіленими параметрами.

### Висновок

Досліджено характеристики адаптивних інтелектуальних інформаційних мереж і доведено доцільність побудови самоорганізуючих мереж для підтримання заданого рівня коефіцієнта готовності.

### Список використаної літератури

1. Беркман, Л. Н. Архітектурна концепція побудови, принцип реалізації, ефективність застосування інтелектуальної телекомунікаційної мережі / Л. Н. Беркман, С. В. Толюпа // Зб. наук. праць ВІПІ НТУУ «КПІ». — 2007. — № 2.
2. Гороховський, О. І. Інтелектуальні системи / О. І. Гороховський // Вінниц. нац. техн. ун-т. — Вінниця, 2010. — 193 с.
3. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібник / [Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О. Г. Оксіюк, О. В. Поморова] — Європ. ун-т. — К., 2007. — 335 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор Л. Н. Беркман, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Г. І. Гайдур

### ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ

Рассмотрены принципы создания адаптивных самоорганизующихся сетей, способных повышать свою функциональную устойчивость к внешним воздействиям. Предложена модель, которая позволит поддерживать работу сети в процессе ее функционирования под влиянием внешних дестабилизирующих факторов. Для такой модели представлено математическое описание процессов обучения и проверки объектов сети.

**Ключевые слова:** интеллектуальная информационная сеть; адаптация; самоорганизация; обучение; модель.

H. I. Haidur

### CONSTRUCTION OF THE INTELLECTUAL INFORMATION NETWORK ON THE BASIS OF SELF-ORGANIZING NETWORKS

The creation of adaptive self-organizing networks is considered, which will reduce the functional stability to the external influences of such networks. In the paper a model is proposed that will support the operation of the network, in the process of its functioning, under the influence of external factors. For such a model, the learning process for verifying network objects is mathematically described.

**Keywords:** intellectual information network; adaptation; self-organization; training; model.