

### Висновки

1. Наведений алгоритм може бути використаний для вибору оптимальних наборів не тільки двоскачкових MPR<sub>2</sub>, але і *n*-скачкових MPR<sub>*n*</sub>.
2. Доцільно провести подальше дослідження в напрямку визначення верхньої межі кількості *n*-скачкових MPR<sub>*n*</sub>[2] та порівняти її з кількістю MPR<sub>*n*</sub>, отриманих за розглянутим алгоритмом.

### Література

1. T. Clausen, and P. Jacquet. "Optimized Link State Routing Protocol", RFC3626, October 2003.
2. Максимов В.В. Розрахунок верхньої межі кількості вузлів-ретрансляторів у протоколі OLSR / В.В. Максимов, В.В. Полісніченко, Л.І. Потьомкіна // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ» № 1 – 2012. – С. 82-88.

УДК 621.396.662.072.078

Мешков С.І. (Военно-дипломатична академія Міноборони України)

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ ДО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

**Мешков С.І. Застосування методів самоорганізації до розрахунку параметрів інфокомунікаційних мереж.** Розглянуто застосування основних методів теорії самоорганізації для рішення комплексу задач, пов'язаних з системою управління інфокомунікаційними мережами.

**Ключові слова:** МЕТОДИ САМООРГАНІЗАЦІЇ, ПАРАМЕТР, МОДЕЛЬ, МЕРЕЖА

**Мешков С.И. Применение методов самоорганизации к расчету параметров инфокоммуникационных сетей.** Рассмотрено применение основных методов теории самоорганизации для решения комплекса задач, связанных с системой управления инфокоммуникационными сетями

**Ключевые слова:** МЕТОДЫ САМООРГАНИЗАЦИИ, ПАРАМЕТР, МОДЕЛЬ, СЕТЬ

**Meshkov S.I. Application of methods of selforganization to the calculation of parameters of infocommunication networks.** Application is considered of basic methods of theory of selforganization for the decision of complex of the tasks related to control system by of infocommunication networks

**Keywords:** METHODS OF SELFORGANIZATION, PARAMETER, MODEL, NETWORK

**Постановка задачі.** Сучасні інфокомунікаційні мережі характеризуються різноманітністю обладнання, різновидом структури. Окремі компоненти розосереджені територіально. На даний час однією з актуальних задач є створення адекватних моделей, які дозволяють оцінити параметри окремих об'єктів інфокомунікаційної мережі та визначити властивості, характерні для функціонування мережі в цілому. Особливий інтерес для розрахунку параметрів мережі і прогнозування зміни параметрів представляють самоорганізуючі моделі складних об'єктів.

Одним із відомих методів для рішення комплексу задач, пов'язаних з СУ інфокомунікаційної мережі є метод групового урахування аргументів (МГУА) запропонований А.І. Івахненко, який реалізує вибір кращої (селекцію) на основі змінних багаторядної моделі оптимальної складності [1]. Пропонується застосування ітераційного МГУА, на основі якого одержуємо оптимальні альтернативні моделі, що дозволяють здійснити вибір найкращих за показниками.

Принципова відмінність від звичайного регресивного аналізу полягає в тому, що метою першого є одержання мінімуму вибраного критерію вибору визначеної множини, а метою другого – досягнення мінімуму середньоквадратичної помилки (СКП) на всіх експериментальних точках при наперед заданому виді рівняння регресії, що часто носить

суб'єктивний характер. Тому за МГУА пропонується розбивати дані на дві частини: перевірочну і навчальну послідовності. Навчальну послідовність використовують для оптимізації коефіцієнтів рівняння регресії, як і при звичайному регресійному аналізі, а перевірочну послідовність – для оцінки ступеня регулярності за величиною відносного значення СКП. Зауважимо, регресія – це імовірна залежність середнього значення деякої величини від іншої величини.

**Опис моделі складного об'єкту.** Модель складного об'єкту визначається як математичний опис (у вигляді рівняння або системи рівнянь), відповідний по теоретичному представленню експертів принципу його дії або адекватному об'єкту. У простих випадках представлення експертів не розходяться, тому поняття моделі визначається таким чином. Наприклад, величину відхилення параметра контрольованого об'єкту (КО) від норми доцільно описати відомим диференціальним рівнянням другого порядку, де вхідні параметри – це команди управління, а вихідні – це вихідні величини відхилення параметрів від норми (параметри КО – це затримка передавальної інформації, ймовірність похибки, кількість управляючої інформації та ін.). У складних випадках в об'єкті можна вказати декілька закономірностей, що визначаються аналогічно, за законами фізики. Систему таких закономірностей, якщо вона досить повна, також можна назвати фізичною моделлю складного об'єкту. В інфокомунікації, зазвичай, розглядаються об'єкти моделювання. Фізична модель стійкого об'єкту також стійка, тобто її функціональність має згасаючий характер. Тому самоорганізація фізичної моделі у вигляді системи диференціальних або різницевих рівнянь може мати своєю метою або ідентифікацію структури і параметрів об'єкту, або короткостроковий прогноз на 1...3 кроки дискретизації часу вперед. Для довгострокового прогнозу на 10 або більше кроків фізична модель непридатна, оскільки через недосконалість моделі помилка прогнозу з кожним кроком зростає.

Фізична модель (для ідентифікації об'єкту або короткострокового прогнозу) може бути отримана за допомогою самоорганізації лише при визначеному обсягу апріорної інформації про об'єкт. Визначення фізичної моделі при дуже малій апріорній інформації прийнято називати відкриттям закономірностей. Тому потрібні особливі алгоритми самоорганізації. Розглянемо питання про самоорганізацію фізичної моделі за допомогою звичайних алгоритмів МГУА.

Для самоорганізації фізичної моделі не існує такого критерію, котрий би оптимізував параметри, які забезпечують всі показники якості. Тому параметри системи, що впливають на якість, вибираються за допомогою методу експертних оцінок. Критерії МГУА і критерій мінімуму середнього квадрату відхилення відображають лише ті або інші сторони фізичної моделі (наприклад, її несуперечність на різних вибірках даних). Вони дають можливість знайти фізичну модель лише в тому випадку, якщо:

- серед моделей, що підлягають аналізу по критеріях, міститься модель, яка по складу змінних, класу рівняння і вигляду опорної функції відповідає фізичній моделі;
- у ансамблі критеріїв перебору моделей-претендентів бере участь критерій, що відображає деяку властивість (ознаку) фізичної моделі, наприклад, її несуперечність (критерій мінімуму зсуву);
- серед змінних вихідних даних, немає величин, що тісно корелюються з величинами, які беруть участь в законі (орієнтовно коефіцієнт взаємної кореляції  $K < 0,9$ );
- знайдено геометричне місце мінімумів критерію  $n^2_{zc}$ .

**Довизначення фізичної моделі експертами.** На останні дві необхідні умови можна не звертати уваги, якщо в кінці алгоритму самоорганізації передбачений етап довизначення фізичної моделі експертами. У моделях, отриманих за допомогою самоорганізації, кожен вибраний чинник є представником множини інших чинників, які корелюються з ним, тобто ті, що змінюються в часі так само. При виконанні інших умов (окрім умови відсутності колінеарних змінних) дійсна модель завжди знаходитиметься серед кращих по критерію моделей, і експерт легко виявить її серед невеликого числа моделей на виході алгоритму

самоорганізації. Із збільшенням потужності завад (неточності даних) і при неповному інформаційному базисі (тобто за відсутності даних про який-небудь істотний чинник, що входить у фізичну модель) самоорганізація може запропонувати експертам ряд найменш суперечливих моделей. При довизначенні моделі експерти вказують фізичну модель по деякому критерію більш високого рівня. В якості такого пропонується критерій екзогенності (викликаний зовнішніми причинами) змінних, що вибирає модель за ознакою наявності в ній причинно-наслідкового зв'язку, а також критерій балансу прогнозів.

**Самоорганізаційні прогнозуючі моделі.** Прогнозуючі моделі, що отримуються за допомогою самоорганізації, можна представити диференціальними рівняннями звичайних або часткових похідних, або їх кінцево-різницевиими аналогами. Клас рівнянь і вигляд опорних функцій у моделях вибирається відповідно до особливостей об'єкту, що моделюється. Наприклад, для оцінки параметрів каналу зв'язку таких як амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики, широке застосування знаходять тригонометричні функції. Гармонійні алгоритми самоорганізуючих моделей часто виявляються найкращими серед інших алгоритмів для довгострокового прогнозу. У всіх вказаних випадках слід розрізняти моделі для короткострокового прогнозу (і ідентифікації об'єкту) та моделі для довгострокового прогнозу [2, 3].

Відмінність моделей легко виявляється вже при перших аналізах самоорганізації моделей оптимальної складності. Для моделей короткострокового прогнозу вибираються:

- фізичні моделі, де (в разі відсутності процедури довизначення) деякі із змінних можуть бути замінені подібними з ними змінними;
- чинники, що швидко змінюються;
- повний інформаційний базис (вся множина чинників фізичної моделі);
- змінні з одним інтервалом усереднення (наприклад, лише середні значення).

Для моделей довгострокового прогнозу вибираються:

- нефізичні моделі, які визначаються як рівняння, що відрізняються від рівнянь математичної фізики і містять лише частину чинників;
- чинники, що викликані плинними діями;
- скорочений інформаційний базис (незначне число чинників);
- змінні з двома-трьома інтервалами усереднення змінних (наприклад, для вибору інтервалу усереднення при синхронізації багатопозиційного сигналу OFDM).

Основні положення теорії самоорганізації нефізичних прогнозуючих моделей пов'язані з основними положеннями загальної теорії зв'язку. Згідно теореми Шеннона для каналів зв'язку при збільшенні завад слід зменшувати смугу пропускання приймача, так і в моделюванні для досягнення найбільшої точності необхідно спрощувати структуру моделі [3]. Фізична модель є оптимальною лише за відсутності завад і при повному інформаційному базисі.

Відповідно до теорії інформації, коли підвищення завадостійкості приводить до зменшення пропускної спроможності, підвищення рівня шумів приводить до зменшення пропускної спроможності, зменшення числа рівнянь і спрощення структури прогнозуючої моделі, отримуваної в результаті самоорганізації. Алгоритми самоорганізації при певному виборі їх структури і вигляду критеріїв володіють високою завадостійкістю: завади можуть у декілька разів перевищувати корисний сигнал, лише трохи міняючи результат. Пояснюється це тим, що розміри області моделювання (тобто число рівнянь моделі) і складність моделі (кількість доданків в кожному рівнянні) при самоорганізації і вибираються в процесі перебору варіантів: за допомогою спеціальних програм вибираємо фізичну модель лише в тому випадку, якщо вона дійсно призводить до досягнення мінімуму ансамблю або ієрархії заданих критеріїв.

Характерним для багатьох досліджень, особливо в системах управління, є відсутність необхідного для самоорганізації обсягу вихідної інформації. Проте, є можливість отримати інформацію про процеси по іншим об'єктам, подібним досліджуваному. В цьому випадку

створюються однорідні групи досліджуваних об'єктів, для яких необхідно побудувати адекватні моделі. Існують різні прийоми визначення однорідних класів об'єктів. Наприклад, прийнято, що два об'єкти належать до одного і того ж класу, якщо обидва вони можуть бути описані подібними моделями [1]. При цьому передбачається, що структура вихідної інформації для об'єктів, що відносяться до одного класу, однакова, тобто для кожного  $i$ -го об'єкту є  $m$  реалізацій  $(y_t^i, u_t^i)$ , де  $u_t^i$  – вектор. Для об'єктів  $i$  та  $j$  отримані моделі

$$y_t^i = f_i(u_t^i); y_t^j = f_j(u_t^j).$$

В якості міри відповідності обрані

$$E_{ij} = \sum_{t=1}^m (y_t^i - f_j(u_t^i))^2 / m + \sum_{t=1}^m (y_t^j - f_i(u_t^j))^2 / m,$$

тобто середня сума відхилень однієї з моделей, обчислена за вихідною інформацією іншої моделі. Цей критерій можна вважати, як різновид критерію мінімуму зсуву, причому реалізації одного об'єкту утворюють навчальну послідовність  $A$ , а реалізації іншого – перевірочну  $B$ .

Для  $n$  об'єктів бажане розділення на класи досягається за допомогою наступних один за одним об'єднань об'єктів і груп. Для цього необхідно обчислити  $E_{ij}$  для всіх можливих комбінацій пар об'єктів. Потім для кожного  $i$ -го об'єкту знаходиться елемент, що належить йому, з найменшим розузгодженням. Якщо справедлива нерівність  $\min E_{ij} \leq E_0$ , де  $E_0$  – деяка задана величина, то тоді обидва елементи належать до одного класу, інакше – ні. Ця процедура багато разів повторюється, поки для заданого  $E_0$  не утворюються класи однорідних об'єктів.

При обчисленні  $E_{ij}$  передбачається, що для кожного об'єкту є  $m$  реалізацій, що досить для знаходження моделей  $y = f_j(u_t^i)$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ . Для малих  $m$  такий підхід неможливий. В цьому випадку можна побудувати загальну модель  $y_M = f_M(u)$ , яка відповідає деякому усередненому об'єкту. Якщо передбачається, що у виразі для  $t$  функції досить «рівні», то тоді вираз

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

представить середні відхилення окремих об'єктів і від усередненої моделі. Якщо, наприклад,  $y$  – значення продуктивності, то  $\Delta_i < 0$  означає, що даний об'єкт лежить нижче середнього рівня продуктивності. Відповідно можна ці об'єкти розділити на три класи: 1)  $\Delta_i \leq -B$ ; 2)  $|\Delta_i| < B$ ; 3)  $\Delta_i > B$ . Дійсно, досліджуючи систему управління інфокомунікаційними мережами, доцільно виділити, наприклад, 98 КО та 37 параметрів. Отримані моделі використовуються в автоматизованій системі планування.

**Висновки та пропозиції.** Одна з основних пропозицій полягає в тому, аби дані по кожному КО застосовувати повністю як повчальну послідовність [2]. Для утворення перевірочної послідовності використовуються дані по іншому КО, найбільш близькому за своїми характеристиками до першого. Звідси виникає завдання виділення пар КО, схожих за своїми характеристиками. У теорії розпізнавання образів подібне завдання прийнято називати завданням кластеризації вхідних зображень.

За допомогою алгоритму кластеризації всі 98 КО розбито на однорідні групи. Завдання формування однорідних груп КО полягає в послідовному об'єднанні спочатку за якісними, а потім за кількісними ознаками. Основною якісною ознакою є функція, що виконуються КО. Наприклад, модем, система комутації, система передачі інформації та інше.

Усередині однорідних груп були сформовані дрібніші однорідні групи (по два КО по близькості сукупності впливу чинників на зміну якісних показників). Це дозволило зменшити усереднення результатів моделювання і підвищити таким чином його точність. Кожному КО в просторі чинників відповідає точка. Критерієм схожості може бути відстань між точками КО, які порівнюються між собою.

Якщо продовжити дослідження, то можна для кожного класу об'єктів знайти відповідну математичну модель і аналогічним чином отримати подальше ділення об'єктів на підкласи.

### Література

1. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А.Г. Ивахненко, А.А. Юрачковский. – М.: Радио и связь, 1981. – 120 с.
2. Кривуца В.Г. Імітаційне моделювання та прогнозування : підручник для ВНЗ / В.Г. Кривуца. – К.: НАУ, 2000. – 205 с.
3. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій : – підручник для ВНЗ / [В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман та інші.]. – К.: Техніка, 2007. – 384 с.

УДК 621.376.43

Хахлюк О.А. (Алкатель-Луцент),

Щербина І.С. к.т.н.; Зінченко О.В.; Єфремов О.С. (ДУІКТ)

### ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ДЕМОДУЛЯТОРІВ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ФРМ-2

Хахлюк О.А., Щербина І.С., Зінченко О.В., Єфремов О.С. До питання підвищення завадостійкості демодуляторів багатопозиційних сигналів із ФРМ-2. Розглянуто поєднання високої стійкості по відношенню до флуктуаційного шуму і нечутливості до неузгодження частоти несучого коливання, що представляє значний практичний інтерес автокореляційної обробки сигналів ФРМ другого порядку.

**Ключові слова:** ДЕМОДУЛЯТОР, БАГАТОПОЗИЦІЙНИЙ СИГНАЛ, ФЛУКТУАЦІЙНИЙ ШУМ, АВТОКОРЕЛЯЦІЙНА ОБРОБКА СИГНАЛІВ

Хахлюк А.А., Щербина И.С., Зинченко О.В., Ефремов А.С. К вопросу повышения помехоустойчивости демодуляторов многопозиционных сигналов из ФРМ- 2. Рассмотрено сочетание высокой стойкости по отношению к флуктуационному шуму и нечувствительности к розогласованию частоты несущего колебания, которое представляет значительный практический интерес автокорреляционной обработки сигналов ФРМ второго порядка.

**Ключевые слова:** ДЕМОДУЛЯТОР, МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ СИГНАЛ, ФЛУКТУАЦИОННЫЙ ШУМ, АВТОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Khakhliuk O.A., Shcherbyna I.S., Zinchenko O.V., Iefremov O.S. To the question of increase of antijammingness of demodulators of multiposition signals from FRM- 2. Combination of high firmness is considered in relation to fluctuation noise and insensitivity to mismatched frequencies of bearing oscillation that envisages considerable practical interest of autocorrelation treatment of signals of FRM the second order.

**Keywords:** DEMODULATOR, MULTIPPOSITION SIGNAL, FLUCTUATION NOISE, AUTOCORRELATION TREATMENT OF SIGNALS

При аналізі завадостійкості автокореляційних демодуляторів сигналів із ФРМ-2 виникає ряд труднощів, пов'язаних з наявністю декількох нелінійних перетворень у відповідних алгоритмах обробки. Тому в теоретичних дослідженнях з цього питання, як правило, обмежуються одержанням оцінок імовірностей помилки [1].

Оцінку для ймовірності помилки абсолютно інваріантного автокореляційного демодулятора сигналів із ФРМ-2 є формула ймовірності помилки некогерентного демодулятора цих сигналів. Цей демодулятор призначений для роботи в каналі з відомою частотою сигналу, а його алгоритм базується на обчисленні тригонометричних функцій