

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621. 325.5

Зеновій Домбровський

Тернопільська академія народного господарства

## МЕТОД ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

© Домбровський Зеновій, 2004

**Наведено рекомендації і обґрунтовано метод підвищення достовірності ідентифікації об'єктів в системі керування енергоспоживанням з використанням радіоканалів для зв'язку шляхом підвищення стабільності і точності формування частоти сигналів і відповідно до звуження смуги пропускання пристроїв виявлення частот цих сигналів методом цифрового опрацювання їх.**

**Recommendations are led in the this floor and grounded a method of rise authenticity of authentication of objects in the management system by the energy consumption with the use of radio channels for communication, by the rise of stability and exactness of forming authentication frequency and accordingly narrowing a stripe of admission of devices of exposure of signal authentication by method of the digital working frequencies.**

Ефективне керування в системах з розподіленою структурою, наприклад електромережею, можна забезпечити шляхом оперативного визначення характеристик динаміки споживання енергії та прогнозування її зміни внаслідок впливу чинників зовнішнього і внутрішнього характеру. При несвоечасно керованих ситуаціях може наступити системна аварія. Тому в об'єднаних енергосистемах важливо швидко реагувати на непередбачувані ситуації, що вимагає оперативного керування ними, яке має велике значення на сучасному етапі розвитку суспільства.

Вирішення цієї проблеми може забезпечити застосування автоматизованої системи керування (АСК). Сучасні технології побудови інформаційних мереж, що пропонуються ведучими розробниками систем керування для корпоративних користувачів, ґрунтуються переважно на концепції відкритих систем, і припускають, що на території розгортання систем існує розвинута комунікаційна інфраструктура з використанням волоконно-оптичних, виділених провідних каналів, або високоякісних провідних каналів, що комутуються. Проте часто необхідно вирішувати комунікаційні проблеми негайно, тому альтернативою провідним каналам стало використання радіоканалів. Використання радіоканалів для обміну інформацією є швидкий і зручний спосіб побудови і реалізації АСК для таких цілей. Але використання радіоканалів об'єктами АСК є колективним і їх кількість обмежена. Водночас ускладнюється метод ідентифікації потрібного користувача в АСК для обміну інформацією при кількості усіх об'єктів, підключених до цієї мережі, більше 10. Тому при побудові автоматизованої системи керування для 100 об'єктів і більше запропоновано [1] використання лише двох радіоканалів для зв'язку як оптимальний метод оперативного обміну інформацією об'єктів цифрової АСК, що мають топологію типу зірка (point-to-multipoint). За зростання кількості користувачів в системі керування з використанням для передачі інформації радіоканалів виникає багато проблем при реалізації АСК, пов'язаних з

вимогами до аналізу і синтезу ідентифікаційних сигналів (генерації і селекції сигналів): завадостійкість; електромагнітна сумісність; надійність; захист від несанкціонованого доступу.

Наприклад, для потреб відомчого зв'язку (в енергетиці) відповідна державна інспекція виділяє один – три канали в певному діапазоні радіочастот (150–177 МГц). За нормованої стандарту смуги пропускання для одного каналу 25 кГц смуга пропускання такого каналу становить лише 8кГц. Ефективність функціонування АСК з використанням радіоканалу за збільшення кількості периферійних об'єктів мережі залежить від протоколу обміну, який визначає алгоритм взаємодії центра керування з окремими об'єктами (електричними підстанціями) і спосіб ідентифікації потрібного користувача. Існуючі способи ідентифікації доступу до об'єктів в АСК для виявлення частотних посилок низької частоти певної тривалості використовують спеціальні пристрої генерації і фільтрації. Стабільність і точність частоти генерації таких посилок, роздільна здатність і нестабільність параметрів фільтрів визначають вимоги до характеристик пристроїв ідентифікації для забезпечення потрібної достовірності.

При ідентифікації в каналі передачі системи керування присутні: сигнал ідентифікації  $x(t)$  (певної частоти), випадковий сигнал шуму  $s(t)$  і завади, які виникають у пристрої ідентифікації  $i(t)$ , комбінація їх є випадковим процесом. Завдання ідентифікації – прийняття рішення про наявність або відсутність сигналів ідентифікації. Рішення про наявність або відсутність виносяться в результаті обробки відповідно до обраного алгоритму виявлення. Бажано синтезувати алгоритм виявлення за деяким критерієм. Задачу виявлення сигналу на фоні шуму у присутності завад зручно сформулювати у термінах перевірки статистичних гіпотез. Гіпотеза, яка підлягає перевірці

$$H_{(0)}: x(t) = n(t). \quad (1)$$

Проти альтернативи

$$H_{(1)}: x(t) = n(t) \oplus s(t). \quad (2)$$

Символ  $\oplus$  означає довільну комбінацію сигналу і шуму.

Синтез алгоритму виявлення зводиться до пошуку правила прийняття рішення про наявність сигналу ідентифікації  $x(t)$  на користь однієї із гіпотез  $H_{(0)}$  або  $H_{(1)}$ .

Водночас для знаходження алгоритму оптимального виявлення використовують критерій Неймана – Пірсона. Для цього критерію фіксується ймовірність марної тривоги вибором певного значення рівня спрацювання амплітудного детектора і тим самим мінімізується ймовірність пропуску сигналу. Цей критерій не вимагає знання апріорних ймовірностей наявності і відсутності, а також матриці втрат. Функція виділення сигналу ідентифікації із суміші завад реалізується за допомогою частотного аналізу. Детектор ідентифікації визначає амплітуду сигналу, яка повинна перевищувати вибране фіксоване значення з врахуванням рівня присутніх завад. Ідентифікація об'єктів і передача службової інформації в системі здійснюються шляхом передачі гармонійного сигналу однієї фіксованої частоти  $\rho_n$  із  $M$  можливих протягом певного інтервалу ( $T_i$ ). Для кодування об'єктів в досліджуваній системі керування використовують тональні посилки в межах від 1 до 2 кГц, а декодування здійснюють смуговими фільтрами із смугою пропускання 34 Гц, які реалізують за допомогою електромеханічних фільтрів (ЕМФ). Недосконалість існуючих пристроїв формування і виявлення – неточність частоти генерації тональних посилок і нестабільність параметрів пристроїв виявлення визначають достовірність ідентифікації. Для забезпечення достатньої достовірності використовують двочастотні посилки.

У зв'язку із збільшенням динаміки енергоспоживання, зростанням кількості споживачів при розширенні енергомережі ускладнюється її структура. При цьому, особливо при нестачі енергоресурсів, у глобальній мережі виникає необхідність удосконалення контролю, моніторингу і управління енергомережею. Забезпечення таких вимог має відбуватись інтегрально без негативного впливу на інші вимоги при покращанні однієї з них чи групи. Для їх реалізації необхідно збільшити кількість тональних посилок  $M$  різної частоти у заданій смузі частот ідентифікації. Існуючий метод

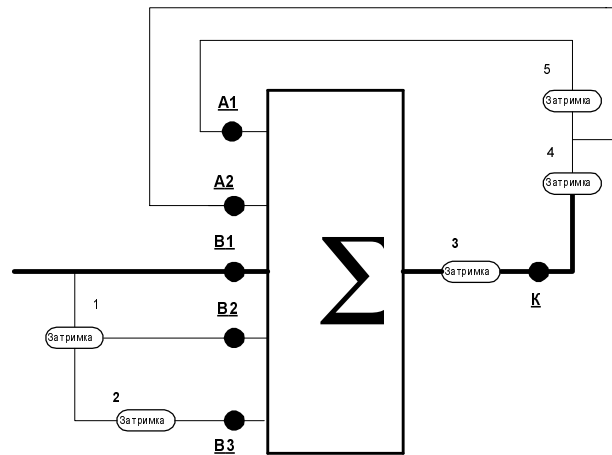
і обладнання для його реалізації (ЕМФ) створюють проблеми, які не дають змоги зменшити смугу пропускання фільтрів і тим самим збільшити кількість тональних посилок. Збільшення радіоканалів також не вирішує проблему, тому що ускладнює електромагнітну сумісність і збільшує собівартість, тому необхідно удосконалити метод селекції та генерації тональних частот. Застосування поширених методів і засобів аналогової техніки для удосконалення генерації і виявлення тональних сигналів вичерпали свої можливості при ідентифікації. Це вимагає удосконалення пристроїв ідентифікації: генерації тональних сигналів і їх виявлення у смузі частот. Мета удосконалення – підвищення точності генерування частоти і відповідно звуження смуги виділення частоти до одиниць Гц. Такий підхід щодо удосконалення ідентифікації дає змогу підвищити достовірність, завадостійкість, електромагнітну сумісність, надійність та захист від несанкціонованого доступу до об'єктів за зростання їх кількості. Удосконалення пристроїв ідентифікації тональних сигналів у вузькій смузі частот збільшенням кількості частотних посилок вносить жорсткі обмеження на синтез і аналіз частоти при ідентифікації. Такі вимоги задовільно вирішують при використанні методів цифрового опрацювання сигналів (ЦОС) ідентифікації [3]. При цьому цифрове опрацювання сигналів, які відрізняються одиницями Гц, для ідентифікації у заданій смузі частот 1000–2000 Гц, повинно забезпечуватись протягом короткого інтервалу, що є необхідним для швидкого доступу при високій завадостійкості. Виявлення тональних сигналів у смузі частот 1000–2000 Гц, які відрізняються одиницями Гц, при використанні способів цифрового опрацювання сигналів удосконалює захист від несанкціонованого доступу шляхом збільшення довжини ключа – кількості тональних посилок різної частоти. Опрацьовуючи такі сигнали, потрібно враховувати обмежений час виявлення, тому ідентифікацію необхідно здійснювати в реальному часі, що завжди є бажаним і необхідним для уточнення відповідності прийнятих моделей фізичному експерименту. Виявлення сигналів ідентифікації відноситься до задачі частотного аналізу близьких частот. Існують різні способи здійснення частотного аналізу. Визначення близьких частот, заданих тональними послідовностями, вирішується різними способами аналізу: гармонічного; спектрального; крос-спектрального і частотної фільтрації.

Гармонічний і спектральний аналізи, призначені для аналізу сигналів у вигляді довгих посилок, а крос-спектральний аналіз є складний. Аналіз цифрових послідовностей і частотна фільтрація взаємно пов'язані однаковими засобами, але мають різні предмети. Одним із придатних способів аналізу сигналів за коротких посилок з метою виявлення в реальному часі близьких частот є фільтрація. Пропонується використання методу ідентифікації об'єктів в мережі шляхом частотної фільтрації, який ґрунтується на апіорній інформації про досліджуваний процес виявлення тональних сигналів. Найважливішим параметром вибраної моделі є здатність розрізняти близькі частоти. Завдання полягає в тому, щоб, маючи малий відрізок функціональної залежності досліджуваного процесу, продовжити її за межі цього відрізка, опираючись на деякі апіорні дані на вході системи, тому обрано метод, що ґрунтується на рекурентних співвідношеннях, який дає можливість кореляційну функцію продовжити за межі інтервалу спостереження. Параметри, які ми одержуємо на основі цього аналізу системної функції в межах інтервалу спостереження, повністю визначають поведінку системи за межами цього інтервалу [2]. Такі методи враховують апіорну інформацію, що підвищує роздільну здатність аналізу за частотою.

Узагальнена модель знаходження авторегресивного рухомого середнього значення в дискретні моменти часу показана на рисунку. Така модель поєднує в собі комбінацію двох підсистем прямої і рекурсивної дії, в якій зв'язок між даними на вході і результатом на виході визначається розв'язком лінійного різницевого рівняння

$$Y(nt) = \sum_{\mu=1}^p a_{\mu} Y(nt-1) + \sum_{\mu=1}^q b_{\mu} V(nt-1) + V(nt), \quad (3)$$

де  $V(nt)$  – вхідна величина;  $Y(nt)$  – результат на виході;  $a_{\mu}, b_{\mu}$  – коефіцієнти, що характеризують структуру.



Структура моделі

Програмно-апаратну реалізацію розв'язку різницевого рівняння називатимемо рекурсивною цифровою структурою (РЦС), якщо  $b_i \leq 1$ , то реалізується фільтр, а якщо  $b_{\mu} = 1$ , то реалізується генератор відповідної частоти. Цифрові синтезатори частот (ЦСЧ) мають багато переваг над їх функціональними аналогами. Пристрої з цифровим синтезом частоти відрізняються нормованим часом встановлення процесів і рівнем фазових шумів і, крім того, забезпечують роздільну здатність за частотою в одиницю Гц і швидкість перемикання в одиницях наносекунд. ЦСЧ здійснюють перемикання частот із збереженням безперервної фази. Ці відмінності ЦСЧ роблять їх ідеальними для застосування в системах передачі інформації в широкому і довільному частотному спектрі. Цифрові синтезатори частоти побудовані за типовою схемою рисунка, при підключенні до їх виходу ЦАП дає змогу одержати значення частоти генерації в аналоговій формі. Робоча частота  $f_0$  такого генератора визначається стабільністю частоти надходження тактових імпульсів  $f_c$ . Оскільки в ЦСЧ вихідний сигнал є дискретним, то на нього розповсюджуються положення теореми Найквіста. Для подання в дискретній формі гармонічного сигналу потрібно здійснити, як мінімум, дві його вибірки, тому значення робочої частоти ЦСЧ не повинно перевищувати половини частоти надходження тактових імпульсів (а частіше 1/4). Однак на практиці максимальна частота гармонічного сигналу переважно обмежується 40 % значення тактової частоти. Це та її межа, за якої фільтр нижніх частот на виході ЦСЧ системи забезпечує необхідний рівень зменшення шумових складових (в спектрі дискредитованого сигналу) [2]. Програмно-керований генератор модульованих коливань може використовуватися в процесах частотної і фазової модуляції. У режимі частотної модуляції вони здатні забезпечити ширину її смуги, еквівалентну ширині смуги налагодження без втрати роздільної здатності ЦСЧ (що визначається довжиною цифрового слова цифрової структури), з можливістю встановлення величини кроку зміни частоти за допомогою кодового слова.

Ідентифікацію тональних сигналів визначають (здійснюють) смуговою фільтрацією. Для випадку ідентифікації потрібен набір фільтрів, які виявляють короткі посилки тональних частот. Смугові фільтри повинні забезпечувати однакову ширину смуги пропускання потрібної частоти і подавляти усі інші, які більші за 20 дБ у заданому діапазоні. Реалізувати такі вимоги до побудови пристроїв фільтрації тональних частот при ідентифікації можна лише методом цифрового опрацювання сигналів. Для реалізації смугової фільтрації методом цифрового опрацювання сигналів використовують фільтри різного типу: нерекурсивні (трансверсальні); на основі перетворення Фур'є; решітчасті, хвильові; рекурсивні; частотної вибірки. Класична теорія фільтрів ґрунтується на принципах, які можна застосовувати як до аналогових, так і до цифрових фільтрів, проте це не гарантує їх апаратної реалізації. За синтезу ЦФ використовують спеціальні методи, які забезпечують можливість обчислення коефіцієнтів фільтра при заданих параметрах (смузі

пропускання, крутизні характеристики в перехідній області, нерівномірності характеристики в смузі пропускання і затримки). Синтез структур для смугової фільтрації полягає у знаходженні мінімального порядку функції передачі заданої в частотній області, яка якнайкраще відтворює потрібну функцію передачі. Один із шляхів розв'язання задачі апроксимації є оптимізація методом математичного програмування. Процедура синтезу включає і масштабування сигналів для попередження переповнення. Як прототип, завжди обирається стійкий аналоговий фільтр, параметри якого шляхом білінійного перетворення є умовою розрахунку цифрового фільтра. Після перетворень, з кожної пари спряжених полюсів фільтра-прототипу отримуємо: із дійсного полюса пару нулів і пару спряжених полюсів. Кожний полюс фільтра-прототипу у цифровому смуговому фільтрі реалізується окремими ланками [2]. Практична реалізація фільтрів насамперед пов'язана із точністю, що має вплив на вимоги до АЧХ, які визначають порядок фільтра. Тому фільтри високого порядку реалізують окремими ланками 2-го порядку, які з'єднують паралельно чи послідовно [3]. При цьому задані характеристики фільтра для ідентифікації можна практично реалізувати за типовою схемою, показаною на рисунку, – цифровим резонатором. Рекурентне відношення (3) визначає сукупність арифметичних операцій множення і додавання чисел, а також запам'ятовування значень вхідної і вихідної величин на проміжку часу, кратному періоду дискретності сигналу  $T$ . Частота дискретизації вхідного сигналу повинна бути, як мінімум, у 2 рази більша, ніж гранична частота вхідного сигналу. Проте відношення цих частот повинно бути незначно більшим від 2, оскільки кількість необхідних типових обчислювальних операцій залежить від нормованої крутизни характеристики в перехідній області і обернено пропорційним до часу опрацювання окремої вибірки. Тому алгоритм обробки в цифровому фільтрі на виході забезпечує реальну амплітудно-частотну характеристику, яка відрізняється від розрахованої. Це пов'язано з математичними труднощами при спробі поширення методів і результатів якісної теорії неперервних динамічних систем на системи з дискретними відліками. Водночас необхідно враховувати сукупний характер впливу дискретизації і квантування, а також специфіку роботи ЦФ за рекурсивним алгоритмом в реальному масштабі часу. Ефекти квантування призводять до похибок і нестійкої роботи ЦФ переважно при використанні рекурсивних алгоритмів. Узагальненою умовою стійкості прийнято критерій:  $\Sigma H < 1$  за обмеженої послідовності на вході вихідна послідовність також повинна бути обмежена. При цьому, якщо послідовність імпульсної характеристики теоретично має нескінченну тривалість, все таки прямує до нуля на нескінченному інтервалі. Переважно за практичної реалізації цифрових фільтрів використовується єдиний пристрій множення, накопичувач і запам'ятовуючий пристрій для реалізації лінії затримки.

Генератори і ЦФ різної частоти можуть бути частиною спільного арифметичного пристрою, при цьому, як показано у [3], переваги зростають при реалізації гребінки (набору) фільтрів.

### Висновки

Розв'язуючи задачі удосконалення синтезу і аналізу близьких тональних частот протягом короткого відрізка часу, доцільно використовувати цифрові структури. Інваріантний характер їхньої характеристики робить можливим використання їх в системах генерації і частотного аналізу, зокрема при його реалізації способом фільтрації для підвищення достовірності ідентифікації сигналів в системі керування. Оптимальною реалізацією пристроїв цифрового опрацювання для частотного синтезу і аналізу сигналу в широкій смузі для побудови гребінки (набору) фільтрів є рекурсивні цифрові ланки другого порядку – цифрові резонатори. Критерієм їх оптимальності є мінімальний порядок і регулярність структури цифрового резонатора, яка забезпечує повторюваність базової структури при апаратній реалізації пристроїв ідентифікації генерації і фільтрації. Розглянуті формальні поняття та сутність ЦОС з точки зору використання їх у цій роботі показують переваги їх використання. Використання цифрових методів ідентифікації в цілому значно зменшить витрати на апаратну реалізацію генераторів і набору фільтрів різної частоти, а також спростить виробництво: виготовлення великої кількості різноманітних генераторів і смугових фільтрів реалізується одним пристроєм шляхом зміни лише програми. При цьому забезпечується

потрібна часова і температурна стабільність параметрів генерації і фільтрації сигналів. Такий підхід забезпечує ідентифікацію при збільшенні кількості об'єктів мережі з використанням радіоканалу, за високого ступеня захищеності від несанкціонованого доступу (удосконалюється шифр доступу). При обмеженнях на габарити оптимальний результат за критеріями – швидкодія, габарити, собівартість – можна отримати, реалізуючи пристрої виявлення для ідентифікації за допомогою рекурсивних цифрових структур.

1. Домбровский З.И. Система программного управления удаленными объектами / Патент Республики Казахстан. № 16344. – 1996. 2. Капеллини В., Константинович А. Дж., Эмилиани П. Цифровые фильтры и их применение / Пер. с англ. – М., 1983. 2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ. — М., 1978. 3 Devices refine the art of frequency synthesis. "Lallaut J.A. END", 1989, 34, №23, 95, 97 98, 102, 104.

УДК 681.357

Назар Круцкевич

Тернопільська академія народного господарства,  
Інститут комп'ютерних інформаційних технологій

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ З РЕКОНФІГУРАЦІЄЮ АРХІТЕКТУРИ НА БАЗІ ПАМ'ЯТІ КОЛЕКТИВНОГО ДОСТУПУ

© Круцкевич Назар, 2004

**Обґрунтовано перспективи побудови комп'ютерних систем з реконфігурованою архітектурою на базі пам'яті колективного доступу.**

**In this paper is suggested to use for construction of the computer systems by the reconfiguration architecture on the base of memory of collective access.**

### Вступ

Розвиток цифрових мереж передачі даних, локальних і глобальних йде в напрямку збільшення пропускної здатності, продуктивності та їх ефективного використання.

В більшості сучасних спеціалізованих та проблемно-орієнтованих високопродуктивних комп'ютерних систем структурна організація для розподіленої обробки даних намагається максимально відобразити алгоритмічні структури визначеного класу задач .

### 1. Архітектури з точки зору розв'язання різних задач

В сучасних комп'ютерних системах для розподіленої обробки даних використовують декілька основних типів організації комунікаційних з'єднань між елементами системи (табл. 1).

Однією з найголовніших властивостей системи є її емерджентність, яка визначає загальносистемний інтелект:

$$E = \frac{C}{N}, \quad (1)$$

де  $E$  – коефіцієнт емерджентності;  $C$  – кількість зв'язків;  $N$  – кількість елементів системи.

Система вважається інтелектуальною, якщо виконується така вимога:  $E > 2$ .

Визначимо системний інтелект для мережевих топологій, наведених в табл. 1 за однакової кількості елементів системи.

Кількість зв'язків для мережевих топологій та їх системний інтелект визначаємо за формулами (табл. 2).