

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

ЗЕЛІНСЬКИЙ ІГОР ДМИТРОВИЧ

УДК 681.142 : 621.376.57

РІЗНИЦЕВІ МЕТОДИ ТА СТРУКТУРИ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Спеціальність 05.13.08 Обчислювальні машини, системи та
мережі, елементи і пристрої обчислю-
вальної техніки та систем керування

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1997

АВ 36.947

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державному університеті "Львівська політехніка"

004.03

Науковий керівник: доктор

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Міжнародної



Української Академії

00761091 (0)

ПОГРИБНИЙ Володимир Олександрович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,

ДУДИКЕВИЧ Валерій Богданович

кандидат технічних наук, доцент,

ТИМЧЕНКО Олександр Володимирович

Провідна організація:

Фізико-механічний інститут НАНУ (м.Львів).

Захист відбудеться "14" березня 1997 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої ради Д 04.06.11 у Державному університеті "Львівська політехніка" (290646, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 225 головного корпусу).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою, просимо надсилати на адресу: 290646, Львів-13, вул.С.Бандери, 12, Державний університет "Львівська політехніка", вченому секретарю ради Д 04.06.11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" (вул.Професорська, 1).

Автореферат розісланий 12 лютого 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради д.т.н., проф.

Бичківський Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Одним з методів обробки випадкових сигналів в реальному часі є екстремальний аналіз (ЕА). Він стосовний для вирішення задач знаходження строгих і нестрогих максимумів та мінімумів вхідного сигналу та часових інтервалів між ними, що дозволяє ідентифікувати об'єкти, формувати контури зображень, суттєво стискати масиви даних та вирішувати задачі автоматизації досліджень.

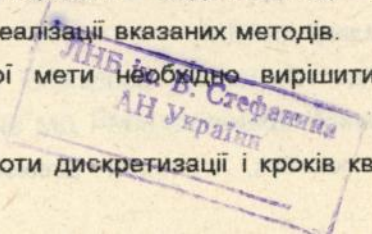
Екстремальний аналіз з імпульсно-кодОВОЮ модуляцією (ІКМ) характеризується високою розрядністю та низькою роздільною здатністю в часі, оскільки ІКМ притаманна низька частота дискретизації. Застосування дельта-модуляції (ДМ), при якій оперують кроками квантування (дельта-кодами), що відповідають приростам сигналу, дозволяє спростити структури, зменшити розрядність екстремального аналізатора та підвищити роздільну здатність в часі. Однак для ДМ-екстремального аналізу характерні специфічні похибки, пов'язані з початковим перехідним процесом та перенавантаженням ДМ-кодера за крутістю. Вони зменшують точність такого аналізу. Особливості ІКМ та ДМ в екстремальному аналізі ще до кінця не досліджені. Тому актуальною є проблема модернізації відомих та розробки нових різницевих методів та структур екстремального аналізу, що забезпечують обробку одномірних та двомірних випадкових сигналів з заданою точністю в реальному часі.

Тема даної дисертації відповідає вказаній проблемі.

Метою роботи є розробка різницевих методів екстремального аналізу одномірних та двомірних випадкових сигналів в режимі реального часу з використанням дельта-модуляції, дослідження їх метрологічних властивостей на підставі імітаційного моделювання, створення ефективних спецпроцесорів для реалізації вказаних методів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити методи вибору частоти дискретизації і кроків квантування



дельта-модуляції одномірних та двомірних сигналів, виходячи з їх статистичних характеристик;

- розробити загальні різницеві методи для знаходження строгих і нестрогих екстремумів одномірних та двомірних сигналів і застосувати ці методи для екстремального аналізу з ІКМ, лінійною ДМ (ЛДМ) та диференційною ІКМ (ДІКМ);
- дослідити метрологічні особливості екстремального аналізу з ІКМ та ДМ;
- створити ефективні методики імітаційного моделювання роботи екстремальних аналізаторів для дослідження похибок екстремального аналізу з використанням синтезованих квазивипадкових тестових сигналів;
- розробити підходи до підвищення роздільної здатності екстремального аналізу;
- реалізувати структури спецпроцесорів для екстремального аналізу з ІКМ та ДМ, що визначають строгі та нестрогі екстремуми вхідного сигналу та часові проміжки між ними.

Наукова новизна дисертації та основні положення, що виносяться на захист:

1. Методи знаходження частоти дискретизації та кроків квантування дельта-модуляції одномірних та двомірних сигналів на основі їх спектра потужності або усередненого амплітудного спектра;
2. Загальні різницеві методи екстремального аналізу з ІКМ, а також на основі ЛДМ та ДІКМ одномірних та двомірних сигналів;
3. Методики дослідження амплітудних та часових похибок екстремального аналізу в залежності від розрядності коду та частоти дискретизації для ІКМ, а також кроків квантування та частоти дискретизації для ДМ;
4. Підходи до підвищення роздільної здатності ЕА на основі вибору оптимальних параметрів ІКМ і ДМ виходячи з мінімізації амплітудно-часових похибок, а також шляхом застосування комбінованого

ІКМ-ДМ формату;

5. Методики імітаційного моделювання роботи ІКМ-, ЛДМ- і ДІКМ-екстремальних аналізаторів та дослідження їх похибок на підставі синтезованих квазівипадкових тестових сигналів із заданими спектрами;
6. Ефективні структури спецпроцесорів для екстремального аналізу з ІКМ та ДМ.

Практична цінність. Отримані результати сприяють реалізації спецпроцесорів для екстремального аналізу, що дозволяють знаходити строгі та нестрогі екстремуми вхідного сигналу в режимі реального часу та проводити стиск даних. Такі процесори доцільно використовувати для обробки одномірних та двомірних сигналів в різноманітних інформаційних системах, зокрема в системах технічного зору для формування контурів зображень, в системах керування, в апаратурі для дослідження резонансних явищ механічних систем, в бортових системах вимірювання параметрів енергійних частот.

Реалізація та впровадження результатів роботи. Основні теоретичні та практичні результати дисертації використовувались при розробці та впровадженні контролерів керування золочючими барабанами, в рамках договору про науково-технічну співпрацю між Держуніверситетом "Львівська політехніка" та Львівським орендним підприємством "Світанок", а також при розробці комплексу для дослідження параметрів вібрацій при діагностиці роботи турбоагрегатів для виробничого енергетичного об'єднання "Львівенерго".

Основні положення дисертаційної роботи знайшли застосування при ескізному проектуванні бортового блоку обробки даних СТЕП-Е в рамках міжнародного космічного експерименту "Попередження".

Результати досліджень були використані при створенні навчальних комп'ютерних програм з курсу "Основи інформаційних процесів у автоматизованому виробництві" Держуніверситету "Львівська політехніка".

Апробація. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науковій конференції *"Achievements in the mechanical and material engineering"* (м. Глівіце, Польща, 1993р.), на 2-й, 3-й, 4-й, 5-й і 6-й міжрегіональних конференціях *"Цифровая обработка сигналов в системах двухсторонней телефонной связи"* (Москва-Пушкіно, 1993р., Москва-Пушкіно, 1994р., Москва, 1995р., Москва-Новосибірськ, 1995р., Москва-Пушкінські гори, 1996р.), на 2-й Українсько-Польській конференції *"САПР в машинобудуванні: проблеми навчання і впровадження"* (Львів, 1994р.), на 2-й міжнародній науково-технічній конференції *"Применение колебаний в технологиях: расчет и проектирование машин для реализации технологий"* (Вінниця, 1994р.), на 2-у міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 1995р.), на *"Krajowe Sympozjum Teleko-munikacji '96"* (Бидгощ, Польща, 1996р.), на 3-й конференції з автоматичного керування *"Автоматика-96"* (Севастополь, 1996р.), на конференції *"Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи Друкотехн-96"* (Львів, 1996р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 18 праць в міжнародних та українських виданнях, в тому числі патент України.

В публікаціях з співавторами співшукачу належить участь в постановці задач, розробці методів і комп'ютерному моделюванні, а також в реалізації результатів досліджень.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів та висновків, викладених на 128 сторінках машинописного тексту, списку літератури з 103 найменувань, ілюстративного матеріалу на 41 листі та додатків. Кожний розділ містить анотацію, основну частину та висновки до розділу. Основні частини розділів мають у собі декілька параграфів, складених на основі публікацій, посилання на які подані безпосередньо після згадування в тексті. В свою чергу, параграфи розділені на підпараграфи для більш детального розгляду матеріалу.

ЗМІСТ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У вступі (розділ 1) обґрунтована - актуальність роботи, сформульована мета і задачі досліджень, наведена наукова новизна дисертації та основні положення, що виносяться на захист. Представлені відомості про апробацію роботи і публікації.

У другому розділі наведені особливості подань сигналів з допомогою ІКМ та ДМ. Запропоновано підходи до визначення частоти дискретизації та кроків квантування одномірних ДМ-сигналів. Ці підходи є базовими для двомірних випадків.

Коли апостеріорі відома максимальна за модулем похідна $|x'(t)|_{\max}$, або максимальний за модулем приріст сигналу $|\nabla x_i|_{\max}$, частоту дискретизації та кроки квантування слід вибирати з відповідних виразів:

$$T^{-1} = \frac{|x'(t)|_{\max}}{S_{\max}}, \text{ або } T^{-1} = \frac{|\nabla x_i|_{\max}}{T_N S_{\max}},$$

де T_N - період дискретизації, вибраний виходячи з частоти Найквіста, S_{\max} - максимальний ДМ-крок квантування.

Для випадкових сигналів, розподіл густини імовірності яких близький до нормального, пропонується підхід до визначення частоти дискретизації на основі апріорно відомих оцінок усередненого амплітудного спектра, або спектра потужності. Для усередненого амплітудного спектра, використавши властивість перетворення Фур'є знаходимо спектр та середньоквадратичне відхилення похідної сигналу:

$$\sigma_{x'} = \sqrt{D_{x'}} = \frac{2\pi}{NT_N} \sqrt{\sum_{k=1}^{N/2} (kX_k)^2}.$$

Виходячи з довірчого інтервалу значень похідної сигналу "три сігма", частоту дискретизації визначаємо:

$$T^{-1} = \frac{6\pi}{NT_N} \sqrt{\sum_{k=1}^{N/2} (kX_k)^2}. \quad (1)$$

У випадку, коли відома оцінка спектра потужності $\hat{G}_{xx}(k)$, частоту дискретизації визначаємо на основі виразу:

$$\Gamma^{-1} = \frac{6\pi}{N^2 T_N} \sqrt{2 \sum_{k=1}^{N/2} k^2 \hat{G}_{xx}(k)} \quad (2)$$

Для рожевого шуму формули (1) і (2) трансформуються відповідно:

$$\Gamma^{-1} = \frac{3\pi}{S_{\max} T_N} X^{(n)} \sqrt{\frac{(N+2)}{6}} \quad (3)$$

$$\Gamma^{-1} = \frac{3\pi}{S_{\max} T_N} \sqrt{\hat{G}_{xx}^{(n)} \frac{(N+2)}{3}} \quad (4)$$

Для $N \rightarrow \infty$ вирази (3) та (4) дають близькі до оптимального значення частоти дискретизації. Приведену методику доцільно використовувати для знаходження частоти дискретизації довгих рядів з гладкими спектрами (для процесів близьких до нормального розподілу). Для процесів з негладкими спектрами і превалюючими складовими, а також для коротких рядів, в яких основний вклад в крутість вносять дві - три превалюючі складові, визначати частоту дискретизації та кроки квантування доцільно на основі крутості вказаних складових спектра.

Максимальну (граничну) ДМ-частоту дискретизації за умови відсутності перенавантаження за крутістю можна визначити виходячи з максимально можливої (граничної) крутості сигналу. Тому пропонується метод визначення такої крутості сигналу з врахуванням заданої априорі форми його спектра. Для довільної форми спектра сигналу його гранична крутість:

$$x'_{\max}(\Gamma) = \frac{2\pi f_n}{n} \sum_{i=1}^n A_i i \quad (5)$$

де f_n - частота n -ної гармоніки, n - кількість гармонік, A_i - амплітуда i -тої гармоніки.

В роботі конкретизовано вираз (5) для спектрів прямокутної та трикутної форми. Для спрощення обрахунків складний спектр довільної форми (рис. 1) доцільно апроксимувати простішими (прямокутними та трикутними), з використанням локальних екстремумів і поліномів першого порядку. Тоді гранична крутість має вигляд:

$$x'_{\max}(T) = \frac{\pi f_n}{n} \sum_{j=2}^m (N_j - N_{j-1} + 1) \times$$

$$\left[\left(\frac{1}{3} A_{N_{j-1}} + \frac{2}{3} A_{N_j} \right) (N_j - N_{j-1} + 2) + (N_{j-1} - 1) (A_{N_{j-1}} + A_{N_j}) \right],$$

$$j = \overline{1, m}; m \in \mathbb{N},$$

де m - число локальних екстремумів спектра сигналу, N_j - номер

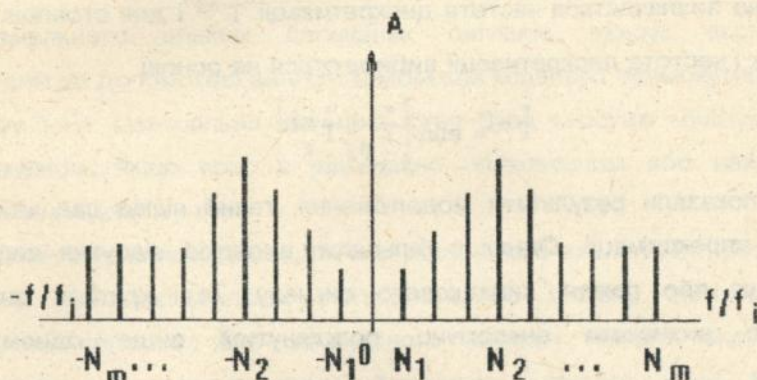


Рис. 1.

гармоніки, що відповідає j -му локальному екстремуму, $N_j \in [1, n]$. Роль першого $j=1$ локального екстремуму відіграє перша гармоніка $N_1=1$. Граничну частоту визначаємо з виразу:

$$T_{\max}^{-1} = \frac{x'_{\max}(T)}{S_{\min}}$$

В роботі пропонується методика визначення частоти дискретизації ДМ випадкових стаціонарних ергодичних двомірних нерухомих та рухомих масивів (зображень) в режимі реального часу на основі їх апріорних статистичних параметрів. Наведені методи ефективні, якщо оброблювальні двомірні масиви даних (зображень) є сепарабельні.

Загальний підхід до визначення частоти дискретизації ДМ m -го рядка оснований на відомій апостеріорі максимальній похідній $(x'_{\min})_{\max}$ m -ої послідовності, якщо при цьому відсутнє перенавантаження ДМ-

кодера за крутістю. Приймаючи для всіх рядків масива максимальний крок квантування S_{\max} , знайдемо частоту дискретизації для рядків всього масива:

$$\dot{T}_p^{-1} = \max \left\{ \dot{T}_{p,m}^{-1} \right\} = \max \left\{ \frac{\left(x'_{m,\max} \right)}{S_{\max}} \right\}, \quad m = \overline{0, M-1}.$$

Аналогічно визначається частота дискретизації \dot{T}_c^{-1} і для стовпців. Тоді напрямок і частота дискретизації вибираються на основі

$$\dot{T}^{-1} = \min \left[\dot{T}_p^{-1}, \dot{T}_c^{-1} \right].$$

Як показали результати моделювання, такий підхід дає найвищу точність апроксимації. Однак в більшості випадків відсутня апріорна інформація про похідні випадкового сигналу. Тоді крутість сигналу необхідно визначати аналогічно розглянутим вище одномірним випадкам.

Для рухомих зображень (наприклад телевізійних) частота дискретизації $T_{p,d}^{-1}$ d-го кадру з рядковою синхронізацією в режимі реального часу на основі r попередніх кадрів:

$$T_{p,d}^{-1} = \frac{1}{(r-1)S_{\max}} \sum_{i=d-r}^{d-1} \left(\max \left\{ x'_{m,\max} \right\}_{m=0}^{M-1} \right)_i,$$

де $x'_{m,\max}$ - максимальна похідна сигналу $x_m(t)$ m-го рядка.

Аналогічно можна отримати частоту дискретизації d-го кадру з стовпцевою дискретизацією $T_{c,d}^{-1}$. На підставі цього напрям та частота дискретизації:

$$T_d^{-1} = \min \left(T_{p,d}^{-1}, T_{c,d}^{-1} \right).$$

Розроблено алгоритми ІКМ-екстремального аналізу одномірних та двомірних сигналів. Алгоритм ІКМ-екстремального аналізу полягає в перетворенні обмеженого за спектром аналогового сигналу $x(t)$ в ІКМ

код $\{x_i\}_{i=1}^{i=N}$ з подальшою обробкою вказаного коду. Значення x_i буде строгим максимумом або строгим мінімумом на ділянці $3T$, де T -період дискретизації сигналу, якщо справедлива відповідно одна з умов

$$(x_i > x_{i-1}) \wedge (x_i > x_{i+1}), \text{ або } (x_i < x_{i-1}) \wedge (x_i < x_{i+1}). \quad (6)$$

Коли при обробці КМ-коду в умовах (6) одна з нерівностей є нестрога, такі значення x_i характеризуються як нестрогі екстремуми. У випадку екстремального аналізу двовірних сигналів, пошук екстремумів проводим за допомогою аналізу комбінацій ковзного прямокутного вікна розміру 3×3 . Центральне значення вікна буде строгим мінімумом або максимумом, якщо воно є відповідно найменшим або найбільшим значенням в даному вікні.

З метою використання для екстремального аналізу ДМ, розроблені загальні різницеві методи екстремального аналізу одномірних та двовірних сигналів. Для одномірного випадку методи знаходження строгих та нестрогих екстремумів базуються на аналізі різниць

$$\nabla x_i = x_i - x_{i-1} \text{ та } \nabla x_{i+1} = x_{i+1} - x_i.$$

Для двовірного випадку, враховуючи відомі кореляційні залежності для зображень: піксел максимально корельований з лівим, лівим верхнім і верхнім пікселами і в меншій мірі з решту сусідніми пікселами, використовуємо напрям сканування зліва-направо і зверху-вниз. На основі введених ліводіагональної, рядкової та стовпцевої різниць, описані строгі та нестрогі екстремуми двовірного сигналу.

Загальні різницеві методи використані для екстремального аналізу з ЛДМ та ДІКМ. Для ЛДМ - екстремального аналізу запропоновано два алгоритми:

- на основі аналізу триелементних комбінацій

$$\forall B_1(((B_{1,i} \oplus B_{1,i-2} = 1) \vdash E) \vee ((B_{1,i} \oplus B_{1,i-2} = 0) \vdash \bar{E})) \quad (7)$$

де \vdash - знак секвенції, E - сигнал наявності екстремума. Такий метод дозволяє створювати прості структури, однак поряд з істинним екстремумом може дати хибний екстремум, тому цей алгоритм слід

доповнити аналізом сусідніх екстремумів.

- на основі аналізу чотириелементних комбінацій:

$$\forall B(((B_{1,i} \oplus B_{1,i-2} = 1) \wedge (B_{1,i} \oplus B_{1,i-1} = 1) \vee (B_{1,i} \oplus B_{1,i-2} = 1) \wedge (B_{1,i} \oplus B_{1,i-1} = 0) \wedge (B_{1,i-2} \oplus B_{1,i-3} = 1)) \vdash E) \vee ((B_{1,i} \oplus B_{1,i-2} = 0) \vdash \bar{E})).$$

Цей алгоритм позбавлений вказаного вище недоліку.

Запропонований алгоритм апаратурного ДІКМ-екстремального аналізу. Сигнал наявності екстремума появиться тільки в випадку, якщо $|s_i| > \delta$ при $|s_{i+1}| \leq \delta$ або $s_i \leq \delta$ при $s_{i+1} > \delta$, або $s_i \geq -\delta$ при $s_{i+1} < -\delta$, при деякій різницевій зоні $\delta \rightarrow 0$. При виконанні однієї з вказаних вище умов i -те значення буде строгим або нестрогим екстремумом. Точність такого аналізу, особливо для коротких рядів, можна підняти ліквідувавши початкове перенавантаження ДІКМ-кодера за крутістю шляхом використання початкового ІКМ - відліку. Значення цього екстремума можна обчислити:

$$\hat{x}_i = x_0 + \sum_{k=1}^i S_k.$$

В розділі також висвітлене застосування розглянутих методів екстремального аналізу для стиску даних.

У третьому розділі приводяться особливості генерування квазівипадкових тестових сигналів з строго заданими спектрами. Встановлено, що з метою усунення високочастотних складових, інтервал релізації θ тестового сигналу слід вибирати таким чином, щоб кожна складова гармоніка мала в цьому інтервалі ціле число періодів:

$$\forall f_i (\text{rest}(\theta f_i) = 0), f_i = \overline{f_1, f_B}.$$

де f_i - частота i -тої гармоніки, f_B - верхня частота спектра сигналу.

Досліджені амплітудні та часові похибки екстремального аналізу з ІКМ. Встановлено, що для забезпечення заданої роздільної здатності ЕА рожевого шуму частоту дискретизації та розрядність слід шукати відповідно з виразів:

$$f_d = \max \left\{ \frac{\pi f_B}{2} \sqrt{\frac{2}{\gamma(x)}}, \frac{1}{2\Delta t_{\max}} \right\}, \quad c = \text{Ib} \frac{2}{\gamma(x)}$$

де f_B - верхня частота спектра сигналу, Δt_{\max} - максимальна часова похибка, $\gamma(x)$ - зведена амплітудна похибка ЕА.

З допомогою імітаційного моделювання проведений аналіз залежності середньоквадратичних амплітудних і часових похибок від частоти дискретизації та розрядності коду для ЕА з ІКМ та частоти дискретизації та величини кроку квантування для ЕА з ЛДМ та ДІКМ. Середньоквадратичні амплітудні та часові похибки ЕА знаходимо відповідно з виразів:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (x_r^{(e)} - \hat{x}_r^{(\hat{e})})^2} \quad \text{та} \quad \sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (t_r^{(e)} - t_r^{(\hat{e})})^2},$$

де $\{x_r^{(e)}\}, \{\hat{x}_r^{(\hat{e})}\}$ - відповідно істинні та визначені значення екстремумів, а $\{t_r^{(e)}\}, \{t_r^{(\hat{e})}\}$ - відповідно моменти появи істинних та визначених екстремумів.

На рис. 2 представлена залежність середньоквадратичних

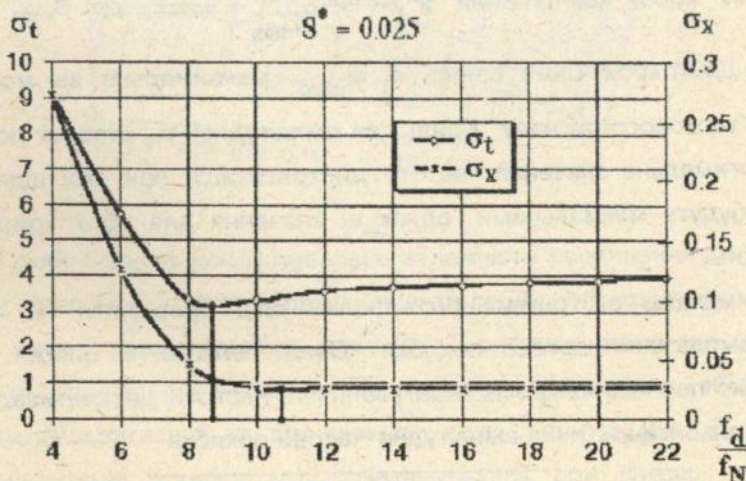


Рис. 2.

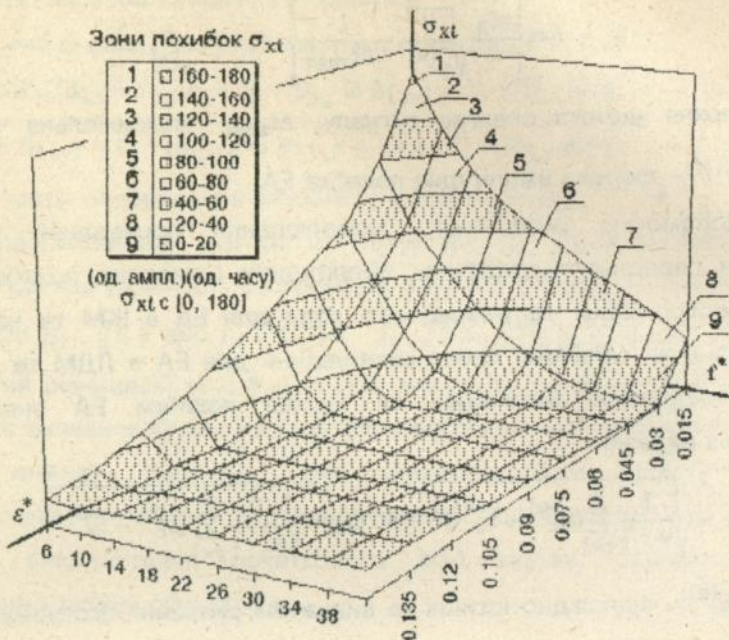


Рис. 3.

амплітудної та часової похибок ЕА з ДІКМ від відносної частоти дискретизації f_d/f_N , де f_N - частота Найквіста, при постійному відносному кроці квантування $S^* = S_{\min}/|x|_{\max} = \text{const}$, де S_{\min} - мінімальний ДІКМ-крок квантування, а $|x|_{\max}$ - максимальне за модулем значення тестового сигналу. Криві для амплітудної та часової похибок мають оптимальне значення частоти дискретизації, при якій відповідні похибки будуть мінімальними, однак ці значення для обох кривих не співпадають.

Оптимізацію екстремального аналізу слід проводити на основі аналізу амплітудно-часової похибки. Вона полягає в виборі таких нерозривно пов'язаних кроків квантування та частоти дискретизації, при яких середньоквадратична амплітудно-часова похибка

$$\sigma_{xt} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (x_r^{(e)} - \hat{x}_r^{(\hat{e})})^2 (t_r^{(e)} - \hat{t}_r^{(\hat{e})})^2}$$

досягне заданих меж. Рис. 3 ілюструє залежність похибки σ_{xt} від відносної частоти дискретизації $f^* = f_d/f_N$ та відносного кроку квантування $\varepsilon^* = \varepsilon/|x|_{\max}$ ЛДМ. Для заданої частоти $f^* = \text{const}$ існує оптимальне значення кроку квантування $\varepsilon_{\text{opt}}^*$, при якому похибка σ_{xt} буде мінімальною. Із заданим кроком квантування $\varepsilon^* = \text{const}$ пов'язують таке значення частоти f^* , при якому амплітудно-часова похибка буде мінімальна.

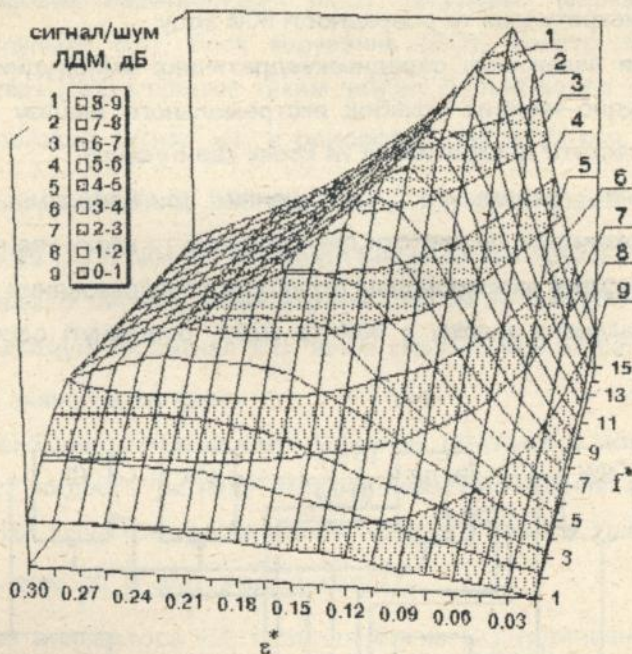


Рис. 4.

В роботі також досліджувалась залежність відношення сигнал/шум ДМ від відносної частоти дискретизації та відносного кроку квантування. Рис. 4 ілюструє цю залежність для ЛДМ. З рисунка видно, що має місце тенденція зростання відношення сигнал/шум з одночасним збільшенням частоти дискретизації та зменшенням кроку квантування. В зв'язку з цим мінімізація похибок може реалізуватись при фіксації одного з параметрів.

У четвертому розділі запропоновані наступні алгоритми комп'ютерного моделювання:

- генерування рожевого шуму з заданим спектром;
- моделювання екстремального аналізу з ІКМ;
- моделювання екстремального аналізу з ЛДМ;
- моделювання екстремального аналізу з ДІКМ;
- визначення залежності середньоквадратичних амплітудних, часових та амплітудно-часових похибок екстремального аналізу з ІКМ від частоти дискретизації та розрядності ІКМ-коду;
- визначення залежності середньоквадратичних амплітудних, часових та амплітудно-часових похибок екстремального аналізу з ЛДМ та ДІКМ від частоти дискретизації та кроку квантування;
- дослідження залежності відношення сигнал/шум ЛДМ- і ДІКМ-апроксимації від частоти дискретизації та кроку квантування.

У п'ятому розділі запропоновані структури спеціалізованих процесорів для екстремального аналізу з ІКМ та ЛДМ, розглянуті особливості їх роботи.

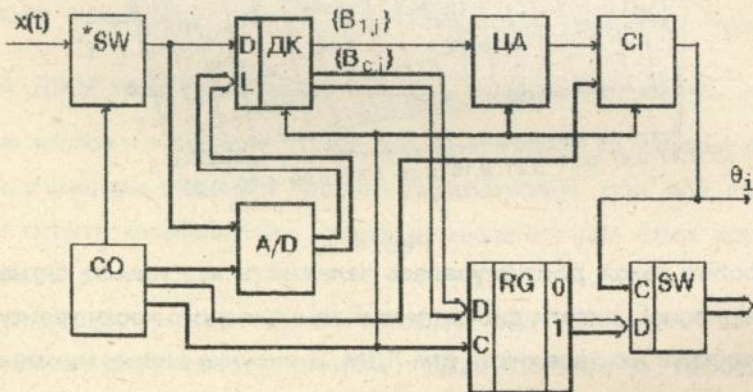


Рис. 5.

Запропоновані структури дають змогу зменшити час початкового перехідного процесу до одного періоду дискретизації і сприяють реалізації економічної апаратури для екстремального аналізу і систем

стиску даних. Роздільна здатність таких спецпроцесорів за часом не гірша одного періоду дискретизації, а за рівнем - мінімального кроку квантування.

На рис. 5 наведена структурна схема екстремального аналізатора з дельта-модулятором. Особливістю цього аналізатора є скорочення часу початкового перехідного процесу за рахунок запису в ДМ-кодер миттєвого значення сигналу в початковий момент.

Аналізатор містить аналоговий ключ (*SW), ДМ-кодер (ДК), аналого-цифровий перетворювач (А/D), цифровий аналізатор (ЦА), селектор імпульсів (СІ), блок керування (СО), регістр зсуву (RG), цифровий ключ (SW) і працює таким чином. Дельта-кодер перетворює вхідний аналоговий сигнал $x(t)$ в однорозрядний ЛДМ-код $\{B_{1,i}\}$ та в s - розрядний позиційний ІКМ-код $\{B_{c,i}\}$. У початковий момент за сигналом блока СО в пам'ять суматора блока ДК записується початкове значення вхідного сигналу, перетворене блоком А/D в ІКМ-код. Таким чином, апроксимуючий сигнал $\hat{x}(t)$, почне змінюватись не від нуля, а від початкового значення сигналу.

Цифровий аналізатор формує одиничні імпульси в моменти часу, коли приріст вхідного сигналу змінює знак. Визначення зміни знаку приросту в ЦА здійснюється на основі ковзного аналізу триелементних "пачок" ДМ-коду $\{B_{1,i}\}$ згідно алгоритму (7).

Сигнали аналізатора ЦА і сигнал блока СО (одиничний імпульс, затриманий на один період дискретизації відносно початкового моменту) подаються на вхід селектора СІ, який недопускає проходження підряд двох одиничних імпульсів (появу хибних екстремумів).

Регістр RG і ключ SW потрібні для видачі затриманих на один такт ІКМ-відліків, що відповідають екстремальним точкам (точкам перегину).

Сигнали селектора СІ виконують функцію строба читання для цифрового ключа. Блок СО керує роботою схеми.

У завершенні зформульовані основні результати досліджень.

У додатках містяться документи про впровадження результатів роботи, тексти програм на мові програмування Turbo C++, що реалізують запропоновані алгоритми імітаційного моделювання.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. В літературних джерелах особливості вибору частоти дискретизації та кроків квантування ДМ для екстремального аналізу одновірних та двовірних сигналів розглянуті недостатньо. Методи знаходження параметрів ДМ таких сигналів на основі апіорно відомих їх статистичних властивостей ще не були досліджені. Тому в роботі **даються підходи до визначення частоти дискретизації та кроків квантування дельта-модуляції одновірних та двовірних сигналів на основі їх спектральних характеристик - спектра потужності або усередненого амплітудного спектра, а також аналізу похибок апроксимації.** Ці підходи дозволяють підвищити точність апроксимації шляхом вибору параметрів ДМ, що особливо актуально для екстремального аналізу.
2. **Досліджені загальні різницеві методи екстремального аналізу випадкових сигналів.** Показано, що ці методи ефективні для обробки одновірних та двовірних сигналів.
3. На відміну від добре пророблених способів амплітудно-часового аналізу загальні методи екстремального аналізу досліджені слабше. В роботі **запропоновані алгоритми ІКМ, ЛДМ та ДІКМ екстремального аналізу для знаходження строгих та нестрогих екстремумів,** що дозволяє створювати високоефективні структури спецпроцесорів для екстремального аналізу.
4. Метрологічні особливості екстремального аналізу, особливо при початковому перенавантаженні за крутістю, вивчені недостатньо. Тому **розроблені методики дослідження амплітудних та часових похибок екстремального аналізу в залежності від розрядності коду та частоти дискретизації для ІКМ, а також кроків**

квантування та частоти дискретизації для ДМ, що дозволило визначити вплив параметрів подання сигналу на точність екстремального аналізу.

5. На основі дослідження похибок екстремального аналізу, запропоновані підходи до підвищення його роздільної здатності шляхом оптимізації параметрів ІКМ і ДМ, виходячи з мінімізації амплітудно-часової похибки, та з допомогою використання комбінованого ІКМ-ДМ формату, що забезпечує високу точність екстремального аналізу.
6. Дослідження похибок екстремального аналізу випадкових сигналів проведені з допомогою імітаційного моделювання, для якого були розроблені комп'ютерні методики імітаційного моделювання роботи ІКМ, ЛДМ та ДІКМ екстремальних аналізаторів, а також дослідження похибок ЕА та синтезу квазівипадкових тестових сигналів з ідеальними спектрами. Створений пакет прикладних програм дозволив з допомогою комп'ютерного моделювання дослідити метрологічні властивості різних алгоритмів ЕА для випадкових тестових сигналів.
7. Запропоновані методи використані для реалізації ефективних структур спецпроцесорів для екстремального аналізу з ІКМ та ДМ. Встановлено, що застосування дельта-модуляції суттєво спрощує структури спецпроцесорів при заданій роздільній здатності та швидкодії.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок про доцільність та перспективність використання дельта-модуляції в екстремальному аналізі одномірних та двомірних випадкових сигналів стосовно до наукових та практичних задач.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕНО В ПУБЛІКАЦІЯХ

1. Погрібний В.О., Зелінський І.Д., Рожанківський І.В. Екстремальний аналіз з дельта-модуляцією в системах керування // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні,

- Український міжвідомчий науково-технічний збірник, Львів: ДУ"ЛП", 1995 р., Випуск 32., - с. 124...128.
2. Савчин О. М., Зелінський І. Д. Система керування прецизійними шліфувальними вібростанинами // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні, Український міжвідомчий науково-технічний збірник, Львів: ДУ"ЛП", 1995 р., Випуск 32., - с. 7...10.
 3. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Рожанковский И.В. Экстремальный анализ в системах управления // Proceeding of the II-nd International Scientific Conference on "Achievements in the mechanical and material engineering", - Gliwice: AMGRAF, 1993, - с. 171...177.
 4. Pogribny W., Drzycimski Z., Kiedrowski P., Zielinski I. Adaptacyjna metoda odnajdywania ekstremum sygnalow dwuwymiarowych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem DM // Krajowe Sympozjum Telekomunikacji'96. - Bydgoszcz: ATR, 1996. - S. 67...74.
 5. Погрибний В.О., Зелінський І.Д., Рожанківський І.В. Особливості моделювання екстремального аналізу для машинобудування / Матеріали II Українсько - Польської конференції "САПР в машинобудуванні: проблеми навчання і впровадження", Львів: ДУ"ЛП", 1994. - с. 42...44.
 6. Погрибний В.О., Зелінський І.Д. Алгоритми та програми аналізу вібрацій та прискорень у механічних системах / Матеріали II Українсько - Польської конференції "САПР в машинобудуванні: проблеми навчання і впровадження", Львів: ДУ"ЛП", 1994. - с. 51...53.
 7. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Рожанковский И.В. Повышение информативности экстремального анализа с дельта-модуляцией // Тезисы докладов второй межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи". - М.: МНТОРЭС, 1993, - с. 26...29.
 8. Погрибной В.А., Зелинский И.Д. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция в экстремальном анализе // Тезисы докладов третьей межрегиональной конференции "Обработка сигналов в

- системах двусторонней телефонной связи". - М.: МНТОРЭС, 1994, - с. 76...77.
9. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Кедровски П. Выбор частоты дискретизации для ИКМ - экстремального анализа // Тезисы докладов четвертой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи", - М.: МНТОРЭС, 1995, - с. 114...116.
10. Зелинский И.Д., Джыцимски З., Кедровски П. Алгоритмы, программы и устройства генерирования шумоподобных тестовых сигналов для ЦОС // Тезисы докладов четвертой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи", - М.: МНТОРЭС, 1995, - с. 133.
11. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Джыцимски З., Ружыцки Я. Шаги квантования дельта-модуляции двумерных сигналов// Тезисы докладов пятой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи", - М.: МНТОРЭС, 1995, - с. 45...47.
12. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Рожанковский И.В., Джыцимски З. Исследование точности ЛДМ-экстремального анализа в реальном времени // Тезисы докладов пятой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи", - М.: МНТОРЭС, 1995, - с. 48...53.
13. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Джыцимски З. Выбор частоты дискретизации для ДМ-экстремального анализа // Тезисы докладов шестой межрегиональной конференции "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи", - М.: МНТОРЭС, 1996, - с. 101...103.
14. Погрибной В.А., Зелинский И.Д., Кулинченко А.В. Использование цифровой обработки сигналов для анализа вибраций механических систем // Тезисы докладов 2-й международной научно-технической конференции "Применение колебаний в технологиях: расчет и проектирование машин для реализации технологий". - Винница:

ВГСХИ, 1994, - с.10.

15. Рожанківський І.В., Зелінський І.Д. Контролери систем керування для шкіряного виробництва // Тези доповідей другого міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові, Львів: ДУ"ЛП", 1995 р., - с. 95.
16. Зелінський І. Д. Різницеві методи та структури екстремального аналізу випадкових сигналів для інформаційних систем / Праці 3-ї конференції з автоматичного керування (Автоматика'96). - Севастополь: СевГТУ, 1996, - с. 177.
17. Погрібний В.О., Рожанківський І.Д., Зелінський І.Д., Джицімські З. Підвищення точності екстремального аналізу з ДМ для систем керування та компресії даних // Тези доповідей конференції "Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи. Друкотехн-96". - Львів: УАД, 1996, - с. 108.
18. Заявка на патент України №94041802. Погрібний В. О., Зелінський І. Д., Рожанківський І. В. Екстремальний аналізатор - Оубл. 1994, Бюл. "Промислова власність" №7-1, - с. 2.119.

Зелинский И. Д. Разностные методы и структуры экстремального анализа случайных сигналов для информационных систем. Рукопись диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: "Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления", Государственный университет "Львовская политехника", Львов, 1997.

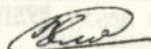
Защищаются методы экстремального анализа (ЭА) одномерных и двумерных сигналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) и разностные методы ЭА с линейной дельта-модуляцией и дифференциальной ИКМ. Разработаны подходы к определению частоты дискретизации и шагов квантования ДМ одномерных и двумерных сигналов на основании их спектральных характеристик - спектра мощности или усредненного амплитудного спектра, а также на

основании анализа погрешностей аппроксимации. Предложены методы исследования погрешностей ЭА и повышения его разрешающей способности. Разработаны алгоритмы компьютерного моделирования работы экстремальных анализаторов, а также исследования погрешностей экстремального анализа. Созданы структуры спецпроцессоров для ЭА, которые реализуют предложенные алгоритмы.

Zelinsky I. The difference methods and structures of the extreme analysis of random signals for information systems. Thesis manuscript-form for scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty: Computing machines, systems and networks, elements and devices of a computer facilities and control systems", State University "Lvivska Polytechnica", Lviv, 1997.

The one-dimensional and two-dimensional signals extreme analysis methods with pulse-code modulation (PCM) and difference methods with linear delta-modulation (DM) and differential PCM are given. The approaches to definition (determination) of quantization frequency and steps of DM quantization of one-dimensional and two-dimensional signals on the basis of their spectral characteristics - spectrum of capacity or average spectrum of amplitude, as well as on the basis of errors approximation analysis are developed. The methods of extremely analysis errors research and increase of resolution of this methods are offered. The extreme analysis processors structures, which are realized the offered algorithms are created. The extreme analizators computer models and also algorithms of extreme analysis research are created.

Ключові слова: амплітудна похибка, часова похибка, амплітудно-часова похибка, імпульсно-кодова модуляція, диференційна імпульсно-кодова модуляція, лінійна дельта-модуляція, екстремальний аналіз, різницеві методи.



442208

AB 36.941

Підп. до друку 17.01.97 . Формат 60x84^I/16
Папір друк. № 2. Офс. друк. Умов. друк. арк. 1,5
Умов. фарб.-відб. 1,5. Умовно-видав. арк. 1,37
Тираж 100 прим. Зам. 488. Безплатно

ДУЛП 290646 Львів-13, Ст.Бандери, 12

Дільниця оперативного друку ДУЛП
Львів, вул. Городоцька, 286