Дніпропетровський державний університет

На правах рукопису

ВОВК Сергій Михайлович

ВІДНОВЛЕННЯ ФІНІТНИХ СИГНАЛІВ, СПОТВОРЕНИХ СИСТЕМАМИ З ОБМЕЖЕНОЮ ШИРИНОЮ СМУГИ ПРОПУСКАННЯ

01.04.03 - Радіофізика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

Дніпропетровськ - 1996

Лв. 35.641

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00760430 (К)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління радіофізичного факультету Дніпропетровського державного університету

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор Ахметшин О.М.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, головний науковий співробітник Варивдін В.С.

кандидат фізико-математичних наук, доцент Корчинський В.М.

Провідна установа: Харківський державний технічний університет радіоелектроніки

Захист відбудеться "30" 10 1996 року о "1400" годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.01.12 по захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук при Дніпропетровському державному університеті за адресою: 320058, м.Дніпропетровськ, вул. Генерала Пушкіна, 8, корп. 12, ауд. 512.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Дніпропетровського державного університету.

Автореферат розісланий "27" 09 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат фіз.-мат.наук, доцент М.Ф.Буланий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ключовою проблемою статистичної радіофізики у галузі прийому та обробки вимірювальних сигналів є забезпечення високої роздільної здатності одночасно з високою ступінню стійкості до завад. Необхідність розв'язку зазначеної задачі виникає внаслідок того, що всі радіофізичні системи здатні приймати та обробляти сигнали тільки в обмеженому діапазоні частот радіохвиль, часто суттєво меншим ширини спектрів реальних процесів; при цьому реально прийняті сигнали можуть спостерігатися на кінцевих інтервалах часу та (або) простору. До задач зазначеного класу слід віднести: задачу розділювання відбиття від неоднорідностей у радіотрактах різної конфігурації, насамперед хвилеводах, при використанні імпульсних та багаточастотних методів вимірювань; задачу розділювання відбиття від меж поділу у шаруватих діелектричних структурах та виявлення відбивання неоднорідностей усередині шару; задачу надроздільювання та синтезу антен з заданою діаграмою спрямованості; підвищення чіткості та розділення малих елементів зображень різної природи, включаючи радіозображення. Ці та інші аналогічні їм радіофізичні задачі характеризуються тим, що їх розв'язок лежить поза межами технічних можливостей вимірювальних систем та обладнання і потребує притягнення спеціальних математичних методів обробки набутої інформації.

Зазначене коло питань розглядалося багатьма дослідниками, але до моменту початку роботи над дисертацією не було забезпечене отримання достатньо стійких та водночас швидкодіючих, простих, прийнятних до цифрової реалізації алгоритмів зазначеного класу; був потрібен також значний об'єм апріорної інформації, що істотно звужувало галузь застосувань. Усе це зумовлює актуальність поставленої в дисертації теми досліджень.

Метою даної роботи є:

підвищення ефективності методів обробки фінітних сигналів, спотворених системами з обмеженою шириною смуги пропускання, і на цих засадах підвищення роздільної здатності радіофізичних систем для зазначеного класу задач і

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

одержання інформації про спектри фізичних процесів поза межами їх діапазону безпосереднього вимірювання.

Для досягнення зазначеної мети роботи були розглянуті дві практично важливі ситуації:

- відома область фінітності сигналу, коли задача полягає у відновленні фінітного сигналу в межах зазначеної області; ця задача розглядалася у межах лінійних задач;

- відомо, що розв'язком задачі відновлення є фінітний сигнал, але апріорна інформація про його область фінітності відсутня; для цієї ситуації вимагалося притягнення нелінійних методів обробки фінітного сигналу.

Внаслідок проведених досліджень були отримані наступні основні результати, які виносяться на захист:

- метод багатопараметрової екстраполяції спектру фінітних сигналів, який грунтується на розкладі шуканого розв'язку в ряд за неортогональною системою фінітних функцій, яка будується простою обчислювальною процедурою з виконанням прямого та оберненого перетворень Фур'є на кожному кроці ітеративного процесу, та який за певних умов забезпечує збіжність до розв'язку за кінцеве число кроків;

- "швидкий" алгоритм відновлення фінітних сигналів, який грунтується на використанні зображення оберненого оператора задачі у вигляді добутку відомих операторів та забезпечує швидкість збіжності ітеративного процесу до розв'язку не гірше надлінійної, а також модифікований варіант швидкого алгоритму з поліпшеною швидкістю збіжності за рахунок впровадження прискорюючого множника;

- метод мінімуму тривалості, який грунтується на постановці та розв'язку задачі мінімізації функціоналу "узагальненої тривалості" шуканого сигналу з заданим обмеженням у вигляді відомої частки спектру та забезпечує відновлення фінітних сигналів при відсутності апріорної інформації про їх місцезнаходження та тривалості.

Наукова новизна та теоретична цінність роботи полягає:

- у розробці нових ефективних методів обробки фінітних сигналів для випадку апріорно відомої області фінітності та синтезі алгоритмів, які відрізняються від відомих високою швидкістю збіжності до розв'язку задачі, малою кількістю потрібних обчислювань, простотою та прийнятністю до

реалізації на цифровій техніці;

- у розробці нового нелінійного методу обробки фінітних сигналів - методу мінімуму тривалості - і на його основі синтезі алгоритмів розв'язку задачі відновлення фінітних сигналів в умовах апріорно невідомої області фінітності.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості створення цифрових відновлюючих фільтрів та систем, які мають "надроздільювальні" властивості у зрівнянні з технічними границями вимірювальної апаратури та забезпечують додаткові можливості при добуванні радіофізичної інформації з реєструємих вимірювальних сигналів.

Вірогідність основних наукових результатів дисертації. У роботі використані поняття і методи статистичної радіофізики у галузі теорії прийому та обробки сигналів, математичний апарат методів розв'язку некоректних обернених задач, методи теорії функцій з подвійною ортогональністю, теорії ітераційних процесів та оптимізації, а також методи багаточастотних широкосмугових вимірювань на НВЧ. Вірогідність основних наукових результатів підтверджена:

- аналітично шляхом отримання відомих методів і алгоритмів обробки фінітних сигналів як граничних випадків запропонованих методів та алгоритмів або шляхом збігу аналітичних розв'язків тестових задач при застосуванні запропонованих методів с шуканим розв'язком при відсутності шуму або з аналітичними розв'язками, які отримуються при застосуванні відомих методів;

- результатами чисельного моделювання, які зіставляються з очікуваними результатами аналітичних розрахунків та з результатами застосування відомих методів;

- результатами обробки експериментальних даних з кількісним збігом оцінок шуканих параметрів та їх очікуваних значень.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на всесоюзній конференції "Методи і мікропроцесорні пристрої цифрового перетворення та обробки информації (Мікропроцесори-85)", м. Москва, 1985; 6-тій всесоюзній науково-технічній конференції "Методи і засоби вимірювань електромагнітних характеристик матеріалів на ВЧ і НВЧ", м. Новосибірськ, 1987; всесоюзній

науково-технічній конференції "Методи зображення і обробки випадкових сигналів та полів", м. Харків-Туапсе, 1989; на 3-ій міжнародній конференції "Розпізнавання образів та обробка інформації", м. Мінськ, 1995; на конференціях за підсумками науково-дослідних робіт Дніпропетровського державного університету.

Публікації. Основні наукові результати, які включені до дисертації, надруковані у 12 статтях та тезах доповідей конференцій. Зміст тез не викладений в інших публікаціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновку та списку літератури із 132 найменувань. Загальний об'єм дисертації складає 145 сторінок, з яких 102 сторінки друкованого тексту, 26 малюнків та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обгрунтовані актуальність та практичне значення роботи, проведено огляд публікацій за темою дисертації, сформульовані мета роботи і основні результати, які виносяться на захист.

У першому розділі роботи розглянута постановка задачі відновлення фінітних сигналів (ФС), спотворених системами з обмеженою шириною смуги пропускання; при цьому припущено, що область фінітності шуканих сигналів апріорно відома, а система описується у межах лінійної інваріантної до зсуву моделі. На відміну від відомого методу Тартаковського-Гершберга-Папуліса (ТГП) розв'язку цієї задачі, у роботі був запропонований метод багатопараметрової екстраполяції (БПЕ), один з алгоритмів реалізації якого має вигляд:

$$F_n(\omega) = \tilde{D}\,\tilde{B}\,F_{n-1}(\omega); \qquad F_0(\omega) = \tilde{D}\,F_\Omega(\omega); \tag{1}$$

$$U_n(\omega) = \sum_{k=1}^{n} A_k^{[n]}\,F_k(\omega)\ ;\ U_0(\omega) = 0,\ |\omega|<\infty,\quad n=1,2,\dots\ ,$$

де оператори $\tilde{D}$ та $\tilde{B}$ діють у частотній області і виконують відповідно операцію обмеження тривалості сигналу шляхом

згортки його спектру з функцією $2\sin(\omega T)/\omega$ та операцію обмеження спектру сигналу інтервалом частот Ω. За початкове наближення $F_0(\omega)$ обирається спектр, який отримується внаслідок впливу оператора $\tilde{D}$ на відому частку спектру. Слід зазначити, що спектри $F_n(\omega)$ є спектри фінітних, у загальному випадку, неортогональних сигналів з областю фінітності T. Кінцевий результат ітерації формується у вигляді спектра $U_n(\omega); |\omega|<\infty$ як суперпозиція побудованих раніше спектрів $F_k(\omega)$; $k=0,\ldots,n$. Якщо значення n наперед відомо, то другий підкрок ітерації виконується лише один раз на n-тій ітерації.

Пошук невідомих параметрів $A_k^{(n)}$ виконується шляхом розв'язку однієї з трьох задач оптимізації, які приводять до необхідності розв'язку відповідних систем лінійних алгераїчних рівнянь (СЛАР) з ганкелевою матрицею. Показано, що для формування нової СЛАР достатньо додатково обчислити лише два нових інтеграли в кінцевих границях.

Регуляризація методу БПЕ виконана шляхом регуляризації розв'язку СЛАР; при цьому розглянуто методи аналізу сингулярних чисел та побудови стабілізуючого функціоналу (за Тихоновим); останній метод забезпечував більш гнучке управління якістю отриманих розв'язків при різних відношеннях сигнал/шум у діапазоні значень $10\ldots10^6$. Проведено порівняння отриманого алгоритму з відомими алгоритмами методу розкладу за функціями з подвійною ортогональністю та методу ТГП, які підтверджують його ефективність.

Формальний розгляд задачі відновлення як оберненої задачі розв'язку інтегрального рівняння Фредгольма I-го роду з ядром типа згортки показав, що метод ТГП є застосування відомої ітераційної схеми, побудованої на розкладі оберненого оператора задачі A^{-1} у ряд Неймана; швидкість збіжності методу ТГП до розв'язку оберненої задачі повільна і еквівалентна швидкості збіжності геометричної прогресії. Для її підвищення у роботі був застосований розклад A^{-1} у нескінченний добуток операторів:

$$A^{-1}=\prod_{k=0}^{\infty}(I+H^{2^k})=\prod_{k=0}^{\infty}(I+C_k); \qquad H=I-A; \qquad (2)$$

де $C_k=H^{2^k}$; $C_{k+1}=C_k\cdot C_k$. На m-тому кроці побудованого процесу

розв'язок збігається з розв'язком ТГП після $N=2^{m+1}-1$ ітерацій через рівність часткових добутків і часткових сум ряду Неймана.

У роботі було отримано "швидкий" ітераційний алгоритм:

$$f_{k+1}(t) = f_k(t) + C_k f_k(t) \; ; \quad k=0,1,\ldots \quad , \qquad (3)$$

де $C_0 = H = D(I-B)D$; $f_0(t)=Df_\Omega(t)$, $f_\Omega(t)$ - Фур'є-перетворення від відомої частки спектру фінітного сигналу, та безітераційний алгоритм:

$$f_{k+1}(t) = \left\{ \prod_{p=0}^{k} (I+C_p) \right\} Df_\Omega(t) \; , \qquad (4)$$

причому, якщо $X_k = \prod_{p=0}^{k-1} (I+C_p)$, то $X_{k+1} = X_k(I+C_k)$. Швидкість збіжності до розв'язку задачі при матричній реалізації цього алгоритму та відсутності шуму не гірша надлінійної, а відповідна оцінка похибки: $\|f-f_{k+1}\|/\|f_{k+1}-f_k\| \leqslant \|C_k\|/(1-\|C_k\|) \leqslant \|H\|^{2^k}/(1-\|H\|^{2^k})$ дає можливість встановити, що за умов збіжності алгоритму: $0<\|H\|\leqslant\lambda<1$ наступає ситуація, коли величина абсолютної похибки розв'язку $\|f-f_{k+1}\|$ стає меншою, ніж величина "внутрішньої" похибки $\|f_{k+1}-f_k\|$. Отримані оцінки дозволяють обчислити кількість потрібних ітерацій. У зрівнянні з алгоритмом ТГП при матричній реалізації виграш за кількістю обчислювань становить величину: $\gamma=(2^{m+1}-1)/(mJ+m+1)$, де J - розмір матриці для обчислювань.

Побудована також модифікація "швидкого" алгоритму:

$$f_{k+1}(t)= \mu_k(I+G_k)f_k(t) = \left[\prod_{p=0}^{k} \mu_p(I+G_p)\right] r(t) \; ; \; k=0,1,\ldots, \qquad (5)$$

де $f_0(t)=r(t)=Df_\Omega(t)$; замість C_k діє оператор G_k:

$$G_k = I-\mu_k AX_k = (1-\mu_k)I+\mu_k G_{k-1}^2 \; ; \quad G_{-1}^2 = C_0 \; ; \; k=0,1,\ldots, \qquad (6)$$

Параметр μ_k визначається з розв'язку відповідної задачі оптимізації.

<u>У другому розділі</u> роботи розглянута задача відновлення ФС за відомою часткою спектру у випадку, коли апріорна інформація про область фінітності сигналу відсутня. Розв'я-

зок зазначеної задачі досягається шляхом пошуку такого розв'язку, який має найменшу (строго кажучи, кінцеву при відсутності шуму) тривалість серед решти можливих сигналів, спектр яких у області частот Ω збігається з відомим. Відзначено, що при відсутності шуму розв'язок задачі існує та єдиний через аналітичні властивості спектру ФС, а при наявності шуму, який має скільки завгодно малу дисперсію, може бути отримана лише апроксимація шуканого ФС. Для розв'язку задачі за даних умов були сформульовані і впроваджені поняття "строгої" та "узагальненної" тривалостей сигналів, які математично подаються у вигляді відповідних функціоналів:

$$D = \int_{-\infty}^{\infty} æ\,[f(t)]\,dt\ ; \quad æ\,[f(t)] = \begin{cases} 1\ ; & f(t) \neq 0; \\ 0\ ; & f(t) = 0. \end{cases} \tag{7}$$

$$D_{\alpha,\beta,\ldots} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi\,[f(t);\alpha,\beta,\ldots]\,dt\ ; \tag{8}$$

Якщо $f(t)$ описує фінітний сигнал і шум відсутній, то функціонал D "строгої" тривалості приймає кінцеве значення; у протилежному випадку $D=\infty$. Функціонал $D_{\alpha,\beta,\ldots}$ "узагальненої" тривалості впроваджується з метою забезпечення кінцевого значення тривалості фінітного сигналу при наявності шуму і повинен мати властивість: $D_{\alpha,\beta,\ldots} \to D$ при відсутності шуму та наближенні деяких параметрів $\alpha,\beta,\ldots$ до граничних значень. Деякі із зручних неперервних апроксимацій функції $\psi[f(t);\alpha,\beta,\ldots]$ є:

$$\psi(\ldots) = [\,|f(t)|^2/\Lambda^2 + \alpha^2]^{\beta} - \alpha^{2\beta}; \quad 0 < \beta < 1\ ; \tag{9}$$

$$\psi(\ldots) = |f(t)|^2/(|f(t)|^2 + \alpha^2) \quad . \tag{10}$$

Встановлені граничні співвідношення для цих функцій, показано їх застосування та особливості поведінки. Відзначено, що використання першої функції при $\Lambda = \max\limits_t |f(t)|$, $\alpha=0$ зводить для $\beta=1$ до відомого визначення тривалості сигналу "за потужністю" за значенням ширини (у часі) еквівалентного прямокутника висотою $\max\limits_t |f(t)|^2$ та площею, що дорівнює площі під кривою $|f(t)|^2$, а для $\beta=0.5$ - до аналогічного

визначення тривалості сигналу "за амплітудою". Виконана постановка задачі мінімізації функціоналу узагальненої тривалості як задачі пошуку глобального мінімуму функціоналу $D_{\alpha,\beta,\ldots}$, яка була зведена до задачі безумовної оптимізації та розв'язувалась методами спряжених градієнтів та найшвидшого спуску. При цьому були побудовані відповідні алгоритми, які включали процедури прямого та оберненого перетворень Фур'є і одновимірного пошуку вздовж заданого напряму. Проведено чисельне моделювання задачі відновлення різних ФС, яке підтверджує працездатність методу; розглянута робота методу при наявності вимірювального шуму; позначена, взагалі кажучи, повільна швидкість збіжності, пов'язана з нелінійним характером розглянутої задачі. Вибір кусочно-гладкої функції

$$\phi(\ldots)=\begin{cases} 1\,; & |f(t)| \geqslant \alpha\,; \\ |f(t)|^2/\alpha^2; & |f(t)| < \alpha\,; \end{cases} \qquad \alpha > 0, \qquad (11)$$

та розв'язок задачі мінімізації методом найшвидшого спуску приводить до отримання у граничному випадку алгоритму ТГП, для якого область фінітності апріорно установлюється за перевищенням заданого порогового рівня.

У третьому розділі роботи розглянуто застосування розроблених методів до розв'язку практичних задач НВЧ-вимірювань електричних товщин шаруватих діелектриків, аналізу складу матеріалів за відбитим електромагнітним випромінюванням рентгенівського діапазону довжини хвиль та відновленню спотворених зображень об'єктів кінцевих розмірів.

У роботі показано, що розв'язок розглянутої задачі підвищення роздільювальної здатності НВЧ-методів вимірювання товщини потребує продовження частотних залежностей за межі полоси частот їх безпосереднього вимірювання; позначена теоретична можливість здійснення екстраполяції спектру, яка грунтується на аналітичних властивостях комплексного коефіцієнту відбиття для розглянутої моделі шаруватої структури, позначена також можливість продовження значень квадрата модуля коефіцієнту відбиття. Виконана обробка експериментальних залежностей коефіцієнта стоячої хвилі за напругою з метою отримання оцінок електричних товщин шарів

двошарового композиційного матеріалу, отриманих за допомогою прилада Р2-65 у смузі частот 26...37 ГГц. Результати оцінювання були еквівалентні підвищенню розділювальної здатності радіофізичних вимірювань у I,7 рази. Після прямих вимірювань геометричних товщин шарів отримані оцінки їх діелектричних проникностей.

Обробка експериментальних даних з кількісного та якісного аналізу складу матеріалів з метою підвищення розділювальної здатності вимірювань полягала у розділенні піків відбитого дублетного випромінювання для *Fe* у діапазоні кутів 79...92 град. У роботі наведена методика попередньої обробки експериментальних даних, яка застосовувалась для виключення фонового рівня для зазначеного діапазону кутів при скануванні, отримання оцінок параметрів імпульсної характеристики системи (за лоренцівською кривою) та виконання інверсної вінерівської фільтрації з обмеженням діапазону просторових частот. Отримані результати обробки алгоритмами відновлення ФС дозволили оцінити відстань між двома лініями заліза для кута відбиття 85 град. величиною 0,208 град., що дає величину відносної похибки в 7,5% від відомих табличних значень; отримане відношення амплітуд ліній дублету має величину I,9I при розрахунковому відношенні I:2.

Обробка спотворених зображень об'єктів кінцевих розмірів на прикладі моделювання задачі відновлення спотворених зображень символів є третьою задачею роботи. Ця задача розв'язувалась у припущені, що лінійна інваріантна до зсуву система формує ідеальне дифракційно обмежене зображення, повністю не пропускаючи просторові частоти зображення, які знаходяться поза межами деякої області Ω. Через те, що область фінітності двовимірного сигналу, який описує символ, апріорно невідома, для розв'язку цієї задачі був застосований метод "мінімуму тривалості", основні співвідношення якого були поширені на двовимірний випадок. Отримані результати показали, що для досягнення відновлення доброї якості була потрібна достатньо велика (від 50 до 5000) кількість ітерацій, яка залежала від різних факторів задачі.

У висновку сформульовані основні наукові та практичні результати дисертації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Побудовано метод багатопараметрової екстраполяції спектру фінітних сигналів, який дозволяє синтезувати ефективні алгоритми відновлення фінітних сигналів за рахунок забезпечення високої швидкості збіжності до розв'язку задачі та спрощення чисельного процесу. Запропонований метод грунтується на розкладі розв'язку задачі у ряд за системою неортогональних фінітних функцій, які будуються простою чисельною процедурою на базі прямого та оберненого перетворення Фур'є в кінцевих границях, а невідомі коефіцієнти у розкладі визначаються за методом найменших квадратів. Розглянуто три основні способи постановки задачі для пошуку невідомих коефіцієнтів розкладу, які відповідають випадкам мінімізації похибок розв'язку у межах відомої смуги частот, мінімізації похибок розв'язку за межами відомої смуги частот та мінімізації похибок розв'язку на всій дійсній осі частот. Синтезовано ітераційний алгоритм відновлення фінітних сигналів, побудований за одним з можливих варіантів реалізації запропонованого методу. Ефективність даного алгоритму підтверджена розв'язком модельних задач та порівнянням отриманих результатів з результатами роботи відомих алгоритмів.

Метод багатопараметрової екстраполяції дозволяє отримати інформацію про спектри фізичних процесів поза межами їх діапазону безпосереднього вимірювання; він являє собою узагальнення відомих підходів і може бути використаний для розв'язку задачі відновлення фінітних сигналів за відомою часткою спектру в умовах, коли місцезнаходження та тривалість фінітних сигналів апріорно відомі.

2. Розроблено "швидкий" алгоритм відновлення фінітних сигналів, який дозволяє суттєво підвищити швидкість обробки даних у порівнянні з відомим алгоритмом Тартаковського-Гершберга-Папуліса. Поданий алгоритм, на відміну від алгоритмів методу багатопараметрової екстраполяції, працює у часовій області і не потребує виконання перетворень Фур'є; у випадку необхідності отримання інформації про спектри сигналів потрібно виконати пряме Фур'є-перетворення остаточного результату. Для реалізації поданого алгоритму

необхідне використання матрицевих операцій для піднесення матриці до квадрата і виконання множення матриці на вектор. Показано, що ефективність "швидкого" алгоритму визначається розмірами оброблюємих матриць та кількістю ітерацій, потрібних для досягнення заданої похибки відновлення.

Запропонований алгоритм побудований на застосуванні зображення оберненого оператора задачі у вигляді нескінченного добутку відомих операторів. Розглянуті питання його чисельної реалізації. Отримані оцінки похибки та швидкості збіжності алгоритму. Синтезовано поліпшений варіант "швидкого" алгоритму з забезпеченням вищої швидкості збіжності у порівнянні з початковим варіантом шляхом впровадження прискорюючого множника. Ефективність отриманих алгоритмів підтверджена результатами розв'язку модельних задач.

Подані алгоритми можуть бути використані для розв'язку задачі відновлення фінітних сигналів за відомою часткою спектру в умовах, коли апріорно відомі місцезнаходження та тривалості фінітних сигналів.

3. Розроблено метод мінімуму тривалості як метод розв'язку задачі відновлення фінітних сигналів при відсутності апріорних відомостей про їх місцезнаходження та тривалості. Даний метод грунтується на постановці та розв'язку задачі мінімізації функціоналу "узагальненої тривалості" сигналів, які відновлюються, з заданим обмеженням на відому частку спектру. Сформульовані поняття "строгої" та "узагальненої" тривалостей фінітного сигналу у вигляді нелінійних функціоналів; приведені можливі варіанти побудови функціоналу "узагальненої тривалості"; виконана постановка задачі нелінійної оптимізації. Отримано ітераційний алгоритм, побудований на застосуванні до задачі оптимізації методу спряжених градієнтів, для якого послідовність обчислювань зводиться до виконання на кожній ітерації прямого та оберненого перетворень Фур'є і одновимірного пошуку вздовж заданого напряму. На чисельному прикладі надрозділювання двох δ-функцій досліджені границі області змінювання параметрів алгоритму, всередині якої він зберігає свою працездатність. Відзначено звужування цієї області при збільшуванні дисперсії шуму. Приведено ітераційний алгоритм,

отриманий при застосуванні методу найшвидшого спуску до задачі мінімізації функціоналу "узагальненої тривалості".

Подані алгоритми можуть бути використані для розв'язку задачі відновлення фінітних сигналів за відомою часткою спектру в умовах, коли апріорна інформація про місцезнаходження та тривалості фінітних сигналів відсутня.

4. Показано застосування розроблених методів відновлення фінітних сигналів до підвищення ефективності багаточастотних широкосмугових методів вимірювань електричних товщин шаруватих діелектриків, обумовлене аналітичними властивостями коефіцієнта відбиття шаруватої структури $R(w)$ і функції $R^*(w^*)R(w)$, яка визначає можливість продовження значень квадрата модуля коефіцієнта відбиття $|R(w)|^2$ вздовж дійсної осі частот, в умовах знехтування втратами та дисперсією діелектричних проникностей шарів для вибраного діапазону частот у плоскохвилевому наближенні при нормальному куті падіння електромагнітної хвилі на структуру. Приведені практичні результати підвищення роздільювальної здатності в задачі визначення значень електричних товщин двошарового діелектричного матеріалу за багаточастотними вимірюваннями залежності коефіцієнта стоячої хвилі за напругою від частоти в діапазоні 26...37 ГГц.

Працездатність отриманих алгоритмів перевірена також на задачах кількісного та якісного аналізу складу матеріалів за відбитим електромагнітним випромінюванням рентгенівського діапазону довжини хвиль та задачах обробки двовимірних зображень на прикладі моделювання зображень символів, які складено з сукупності тонких ліній та точок.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. Ахметшин А.М., Вовк С.М. Сверхразрешение оценок параметров слоистых диэлектрических структур методом адаптивной экстраполяции комплексного коэффициента отражения // Дефектоскопия. - 1986. - №11. - С. 76-85.

2. Вовк С.М., Малайчук В.П. Двухпараметрический метод ускорения сходимости алгоритма экстраполяции сигналов с финитным спектром // Изв.вузов. Радиоэлектроника. - 1987. - Т.30. - №8. - С. 60-62.

3. Вовк С.М., Малайчук В.П. Два способа определения константы для ускорения сходимости алгоритма Гершберга-

Папулиса // Изв.вузов. Радиоэлектроника. - 1987. - Т.30. - №II. - С. 88-90.

4. Вовк С.М. Быстрый алгоритм экстраполяции спектра финитных сигналов // Изв.вузов. Радиоэлектроника. - 1988. - Т.3I. - №4. - С. 58-64.

5. Ахметшин А.М., Вовк С.М. Широкополосный контроль слоистых диэлектриков по автокорреляционной функции импульсной характеристики структуры // Дефектоскопия. - 1988. - №4. - С. 26-35.

6. Шкурин А.А., Михуткин А.В., Вовк С.М. Автоматизация измерений толщины с помощью панорамных измерителей коэффициента стоячей волны напряжения // Дефектоскопия. - 1989. - №4. - С. 8I-82.

7. Вовк С.М., Борулько В.Ф. Метод минимума длительности для восстановления финитных сигналов // Изв.вузов. Радиоэлектроника. - 199I. - Т.34. - №8. - С. 66-69.

8. Ахметшин А.М., Вовк С.М. Сверхширокополосная СВЧ дефектоскопия изделий из слоистых диэлектрических материалов. - В кн.: Повышение надежности и долговечности машин и сооружений. Тр. респ. конф., Днепропетровск. - 1985. - С.9.

9. Вовк С.М. Алгоритм экстраполяции спектра финитных сигналов // Методы и микроэлектронные устройства преобразования и обработки информации. - М.: Изд-во РИО МИЭТ, 1985. - I том. - С.44-45.

I0. Вовк С.М. Применение методов экстраполяции для улучшения оценок параметров слоистых диэлектрических материалов по результатам многочастотных измерений в свободном пространстве. - В кн.: Методы и средства измерений электромагнитных характеристик материалов на ВЧ и СВЧ. - Новосибирск, 1987. - С.64-65.

II. Ахметшин А.М., Вовк С.М., Мякинькова Л.В. Широкополосный контроль двухслойных материалов с близкими значениями диэлектрических проницаемостей слоев. - В кн.: Неразрушающие физические методы контроля. Труды Всес. конф., Москва. - 1987. - Т.3. - С.34.

12. Borulko V., Vovk S. Image processing by minimum extent method // Proceedings of the Third International Conference "Pattern Recognition and Information Analysis". - Minsk. - 1995. - Vol. 3. - p. 71-72.

Vovk S.M. Restoration of finite signals distorted by band-limited systems.
Thesis for obtaining a scientific degree of "Candidate of Physico-Mathematical Sciences" on speciality 01.04.03 - Radiophysics, Dniepropetrovsk University, Dniepropetrovsk, 1996.
Methods and algorithms for processing of distorted finite signals in radiophisical researches are worked out. Two situations are considered when a priory information about signal support is available and is not available. Estimations of worked parameters for proposed methods and algorithms are obtained; the analisys, mathematical simulations and real data processing are conducted. Applications to improving the resolution of multy-freqencies radiophisical methods of electrical thikness measurement, to the X-rays data processing and to image processing are shown.

Вовк С.М. Восстановление финитных сигналов, искаженных системами с ограниченной шириной полосы пропускания.
Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - Радиофизика, Днепропетровский госуниверситет, Днепропетровск, 1996.
Построены методы и алгоритмы обработки искаженных финитных сигналов с целью повышения разрешающей способности радиофизических систем и получения информации о спектрах физических процессов за границами диапазона их непосредственного измерения. Исследованы две ситуации: область финитности искомых сигналов априорно известна и априорно неизвестна. Получены оценки рабочих параметров построенных методов и алгоритмов, выполнены анализ, численная и экспериментальная проверка их работоспособности; показано приложение к задачам повышения разрешающей способности многочастотных СВЧ-методов измерения электрических толщин слоистых диэлектриков, обработки данных рентгеновского диапазона длин волн и обработки изображений.

Ключові слова: фінітний сигнал, обмежений спектр, обробка, відновлення, метод, алгоритм, обернена задача, згортка, багатопараметровий, швидкий, мінімум тривалості, коефіцієнт відбиття, шарувата структура, електрична товщина.

Друкарня ДДУ. Тираж I00 примірників. Замовлення №1929

039432

Vovk S.M. Restoration of finite signals distorted by band-limited systems.

Thesis for obtaining a scientific degree of "Candidate of Physico-mathematical Sciences" on speciality 01.04.03 - Radiophysics. Dnieprpetrovsk University, Dnieprpetrovsk, 1986.

Methods and algorithms for processing of distorted finite signals in radiophysical recorders are worked out. Two situations are considered when a priory information about signal support is available and is not available. Estimations of worked parameters for proposed methods and algorithms are obtained; the analysis, mathematical simulations and real data processing are conducted. Applications to improving the resolution of multy-frequencies radiophysical methods of electrical thickness measurement, to the X-rays data processing and to image processing are shown.

Вовк С.М. Восстановление финитных сигналов, искаженных системами с ограниченной шириной полосы пропускания.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - Радиофизика, Днепропетровский государственный университет, Днепропетровск, 1986.

Построены методы и алгоритмы обработки искаженных финитных сигналов с целью повышения разрешающей способности радиофизических систем и получения информации о спектрах физических процессов на границах диапазона их непосредственного измерения. Исследованы две ситуации: объем финитности каждого сигнала широко известен и широко неизвестен. Получены оценки рабочих параметров построенных методов и алгоритмов, выполнены анализ, численная и экспериментальная проверка их работоспособности; показано применение к задачам повышения разрешающей способности многочастотных СВЧ-методов измерения электрической толщины слоистых диэлектриков, обработки данных рентгеновского диапазона длин волн и обработки изображений.

Ключові слова: фінітний сигнал, обмежений спектр, обробка, відновлення, метод, алгоритм, обмежена ширина, апаратура, багатошкалометровий, вимірювач, вміщує тривалість, коефіцієнт відбиття, шарувата структура, електрична товщина.

Друкарня ДДУ. Тираж 100 примірників. Замовлення 1/929

439132

Ав 35.641