

УДК 621.391.96

І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

МЕТОД НЕЛІНІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ, СФОРМОВАНИХ СИСТЕМАМИ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ

© Прудіус І.Н., Лазько Л.В., 2002

Запропоновано нелінійний ітераційний метод обробки сигналів та зображень, що базується на використанні нелінійних обмежень на розв'язок та є погодженим з теоремою про продовження аналітичних функцій. Також здійснено порівняння з відомим алгоритмом та наведено числові результати порівняння швидкодії алгоритмів.

Image end signal processing nonlinear iterative method, which based on nonlinear solution constraints is proposed. This method is agreement with analytical continuation theorem. Numerical comparing analysis between proposed end known methods is provided.

Вступ

Сьогодні особливого поширення набувають системи побудови зображень, які є найбільш інформативною, природною та ефективною формою сприйняття інформації людиною про об'єкт. Такі системи функціонують за принципом зондування навколишнього середовища або використовують проєкційні оптичні системи. Внаслідок дії зовнішніх завад, параметрів середовища, в якому поширюється інформаційний сигнал, характеристик приймання системи відбувається спотворення реального зображення, для усунення якого використовують вторинну обробку. В [6,7,8] широко розглядаються як прямі лінійні методи обробки, так нелінійні ітераційні методи. Кожен з таких методів має переваги та недоліки. В цій роботі здійснено спробу поєднання переваг прямих лінійних та ітераційних нелінійних методів обробки зображень.

1. Постановка задачі

В загальному випадку в радіосистемах побудови зображень рівняння спостереження представляє собою інтегральне рівняння Фредгольма першого роду з різницеvim ядром [1]

$$g(\theta) = \int f(\theta)h(\theta - \theta')d\theta + n(\theta), \quad (1)$$

де $g(\theta)$ —сформоване зображення, спотворене діаграмою спрямованості антени; $f(\theta)$ —реальне зображення; $h(\theta)$ —функція спрямованості антени; $n(\theta)$ —шумова складова або похибка вимірювань.

В області просторових частот дискретне рівняння спостереження набирає вигляд [2]

$$\tilde{G}(w, p) = \tilde{H}(w, p)\tilde{F}(w, p) + \tilde{N}(w, p), \quad (2)$$

де $\tilde{G}(w, p)$, $\tilde{H}(w, p)$, $\tilde{F}(w, p)$, $\tilde{N}(w, p)$ —характеризують двовимірні просторові спектри вказаних функцій.

В операторній формі рівняння (2) записується як

$$g = Hf + n. \quad (3)$$

Задача відновлення реального зображення полягає у розв'язанні рівняння (3) відносно f .

Якщо розглянути АЧХ системи високого порядку формування зображення чи сигналу, то в більшості випадків в смузі пропускання будуть особливості (ділянки 2, 4 на рис. 1), що спричиняють нестійкість розв'язку прямих лінійних методів обробки зображень. Використання нелінійних ітераційних методів може призвести до спотворення спектра зображення в смузі пропускання системи.

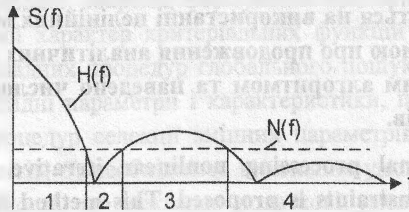


Рис. 1. Визначення нульових областей і областей провалів в АЧХ системи формування, що спричиняють нестійкість розв'язку.

Результати, наведені у [9], і більш детальний аналіз можливостей використання розріджених антенних решіток в системах формування радіозображень, показують, що просторові характеристики (діаграма спрямованості $h(\theta)$) та спектральна характеристика $\tilde{H}(w, p)$ таких решіток характеризуються значною нерівномірністю просторових спектрів, провалами і нульовими значеннями в смузі пропускання. Найявніші таких ділянок 2 і 4 (рис. 1) в АЧХ систем високого порядку спричиняють нестійкість розв'язку прямих лінійних методів при обробці зображень. Описаний у [9] нелінійний ітераційний метод з обмеженнями на розв'язок дає можливість екстраполяції та інтерполяції спектра, однак може приводити до спотворення спектра зображення у ділянках 1 і 3, тобто в смузі пропускання системи. Тому для усунення небажаних спотворень спектра зображень пропонується підхід, з використанням лінійного і нелінійного методів розв'язування задачі.

2. Реалізація

В запропонованому методі обробку сигналів (зображень) пропонується здійснювати у два етапи. На першому етапі використовується лінійний прямий метод [6,7,8] (4) на розв'язок якого діє оператор D , що забезпечує маскування тих спектральних складових, що знаходяться в зонах невизначеності (2, 4 на рис. 1). Спектр оператора D є сукупністю прямокутних спектральних вікон з одиничним рівнем. Для побудови оператора D можна використати декілька підходів. При апріорно відомих енергетичних спектрах зображення (чи сигналу) та шуму можна виділити ділянки спектра з відношенням сигналу до шуму більшим від одиниці, відповідно спектр оператора D в цих ділянках буде дорівнювати одиниці. При малому рівні шуму, оператор D будується так, щоб забезпечити вгамування спектральних складових сигналу поза смугою пропускання системи. На другому етапі застосовується ітераційна схема (5), яка генерує спектральні складові сигналу, завдяки

нелінійним обмеженням на розв'язок в області невизначеності. Завдяки оператору D забезпечується погодження запропонованого методу з теоремою про продовження аналітичних функцій.

$$f_{if} = DF^{-1}\left(\frac{F(g)}{F(h) + \alpha}\right) \quad (4)$$

$$f_e^{k+1} = f_{if} + (I - D)Nf_e^k, \quad (5)$$

де f_e^k —зображення з відновленим спектром на k -й ітерації; g —сформоване зображення; h —системна функція; I —одичинний оператор; D —маскуючий оператор; N —нелінійний оператор або послідовність операторів обмеження; F, F^{-1} —прямий та зворотний оператор Фур'є; α —параметр регуляризації.

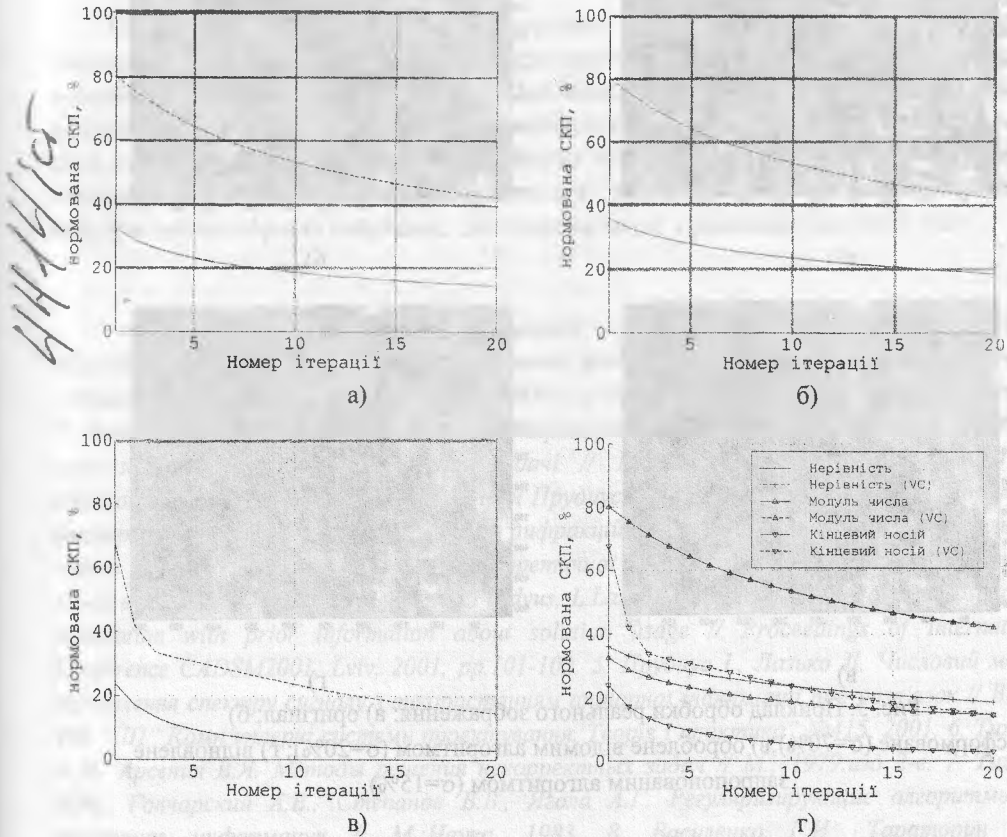


Рис. 2. Графіки збіжності ітераційних процесів (‘-’ –відомий, ‘- -’ –запропонований): а) з використанням модуля числа; б) з використанням нерівності; в) використання кінцевості носія; г) загальний графік збіжності.

На рис.2 наведено залежність нормованої середньоквадратичної похибки σ від кількості ітерацій при обробці тестового зображення. В якості оператора обмежень N використано: обмеження на динамічний діапазон у вигляді нерівності $a \leq f \leq b$, де a і b —

нижня та верхня межа значень відліків зображення f [7,8] (рис. 2.б); нелінійність у вигляді функції $abs(f)$ [1,3,4,5], яка забезпечує невід'ємність розв'язку (рис. 2.а); відомості про область існування зображення в просторі [8] (рис. 2.в).

На рис. 3 представлено результат обробки напівтонового складноструктурного зображення (рис. 3.а) сформованого (рис.3.б) системою з розрідженою антенною решіткою. Результат роботи 5-ти ітерацій алгоритму Ван-Циттерта представлено на рис. 3.в та запропонованого — рис. 3.г.

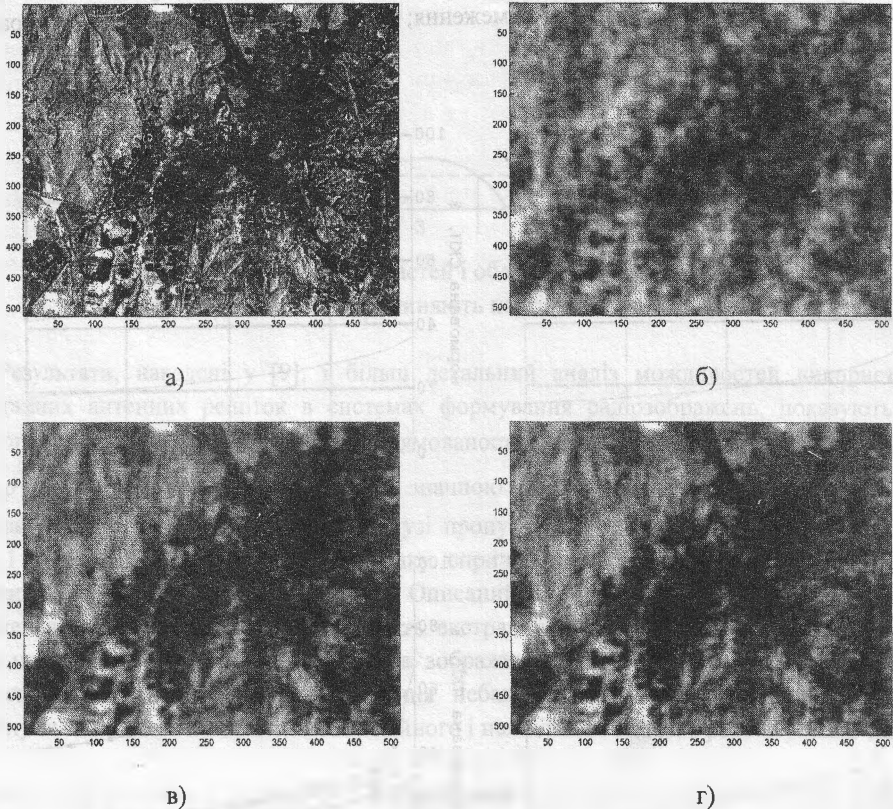


Рис. 3. Приклад обробки реального зображення: а) оригінал; б) сформоване ($\sigma=70\%$); в) оброблене відомим алгоритмом ($\sigma=20\%$); г) відновлене запропонованим алгоритмом ($\sigma=15\%$).

3. Ефективність

Реалізацію та порівняння алгоритмів на основі методу Ван-Циттерта та запропонованого методу здійснено в середовищі Matlab5.2.1 під управлінням операційної системи MS Windows NT 5.1 на РС – сумісному комп'ютері з тактовою частотою 450 МГц.

З метою порівняння проводилось обчислення 20-ти ітерацій (рис. 2) алгоритмів обробки тестового напівтонового зображення розмірами 64×64 елемента, спотвореного системою формування високого порядку. Оскільки обчислювальна складність однієї ітерації для цих алгоритмів практично однакова, то основним критерієм для порівняння є

залишкова похибка, та швидкість збіжності ітераційних процесів. Результати порівняння наведено в таблиці.

Кількісне порівняння швидкодії алгоритмів

	Метод Ван-Циттерта		Запропонований метод	
	Час обчислення, с	Залишкова похибка, %	Час обчислення, с	Залишкова похибка, %
Модуль числа	0.0700	43	0.0700	15
Нерівність	0.3210	43	0.3410	20
Носій	0.0800	15	0.0700	5

Висновки

Побудова алгоритмів цифрової обробки сигналів та зображень на основі запропонованого методу дає змогу коректно застосовувати різного роду обмеження на розв'язок як нелінійні так і параметричні. Для забезпечення однакової похибки відновлення зображення в метриці L_2 запропонованим методом та відомим, необхідно здійснити в 5—10 разів менше ітерацій. Окрім цього, застосування нелінійності типу “модуль числа” замість нерівності веде до зменшення часу обчислень в 4—5 разів. Такі фактори роблять можливим побудову систем обробки зображень, що працюватимуть у реальному масштабі часу.

1. Клепфер Є., Прудюс І., Синявський А., Лазько Л. Використання нелінійних обмежень в ітераційних методах відновлення радіолокаційних сигналів // Вісн. ДУ“ЛП” Радіоелектроніка та телекомунікації.— 2000.— с 36—46. 2. Прудюс І., Лазько Л., Голотяк Т. Вплив гладких регуляризаторів на стаціонарні і нестаціонарні ітераційні процеси розв'язку оберненої радіометричної задачі // Вісн. ДУ“ЛП” Радіоелектроніка та телекомунікації.— 2000.— с 46—50. 3. Іван Прудюс, Леонід Лазько. Алгоритм відновлення спектральних складових сигналу при його дифракційному обмеженні // Українсько-польська школа семінар “Актуальні проблеми теоретичної електротехніки: Наука і дидактика”, 11-13 вересня м. Соліна, Польща. 4. I.Prudyus, L.Lazko. Numerical method of signal spectrum restoration with prior information about solution usage // Proceedings of International Conference CADSM2001, Lviv, 2001, pp.101-102. 5. Прудюс І., Лазько Л. Числовий метод відновлення спектру сигналу з використанням апріорної інформації про розв'язок // Вісник НУ “ЛП” Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика”, №415, 2001. 6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач // М.: 1979. изд 2-е. 7. Тихонов А.М., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация // М.: Наука, 1983. 8. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений // М.: Радио и Связь. 1986. 9. И.Н.Прудюс, С.В.Волошиновский Применение разрежённых антитетных решеток в системах формирования радиометрических изображений // Электросвязь, №7, 1987, 37-37.