

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПРОТЯЖНИХ ОБ'ЄКТІВ

О.В. Антонов, Ю.М. Герасимов, М.В. Руженцев

Національна Академія Наук України

Радіоастрономічний інститут

61002, Харків, МСП, Червонопрапорна, 4

Тел.: 44-83-51, Fax: (380)-572-476506, E-mail: ruzh@rian.kharkov.ua

У роботі розглядається якість відновлення зображення імпульсного протяжного об'єкта нелінійним ітераційним методом з обмеженнями - обліком апріорної інформації про ненегативність рішення і просторовий розмір об'єкта. Показано, що введення обмежень приводить до ефекту надвисокої роздільної здатності при відновленні границь об'єкта. Однак деталі його поверхні відновлюються недостатньо чітко. Крім того, у відновленому зображенні поблизу границь об'єкта виникають паразитні коливання. Розглянуто причини появи зазначених недоліків і запропонований алгоритм їхнього усунення. Попереднє виключення з відновлюваного зображення основної - детермінованої компоненти зображення дозволяє усунути відзначені недоліки. Інформація про основну компоненту зображення об'єкта встановлюється по його реальному запису. Математичне моделювання підтверджує значне підвищення якості відновлення зображення запропонованим алгоритмом.

1. ВСТУП

У різних областях науки та техніки, таких як астрономія, дистанційне зондування і т.п., предметом досліджень є зображення об'єктів. Викликано це тим, що детальна структура зображення даних об'єктів дозволяє виділяти важливу інформацію про їхні властивості, механізми утворення й еволюції. Повнота отриманої інформації у першу чергу залежить від якості реєстрації об'єктів, що спостерігаються, тобто від роздільної здатності, яку має прилад, що здійснює реєстрацію. У такий спосіб роздільна здатність, що її має прилад для реєстрації, є чинником, здатним істотно обмежувати можливості різних досліджень і експериментів. Підвищення якості реєстрації зображень можна забезпечити різними методами відновлення зображення. Існують різні лінійні та нелінійні методи відновлення зображення [1]. Лінійні методи, засновані на корекції зображення за допомогою

частотного фільтра, характеристика якого зворотна до апаратної функції приладу, що реєструє, дозволяють поліпшити якість зображення. Однак у цьому випадку відновлене зображення не має підвищеної роздільної здатності, що визначається шириною апаратної функції приладу, в межах якої виконується відновлення.

Інформація про структуру зображення, що загублена у вихідному зображенні приладу, що реєструє, може бути відновлена, якщо в процесі відновлення зображення врахувати апріорну інформацію про досліджуваний об'єкт. Подібна інформація є граничною, тому методи відновлення зображення, які враховують апріорну інформацію, є нелінійними.

Облік обмежень приводить до підвищення просторових градієнтів у відновленому зображенні, тобто до розширення спектра просторових частот зображення за межі смуги частот, які пропускаються апаратною функцією приладу, що еквівалентно одержанню ефекту надвисокої роздільної здатності. Фактично облік апріорної інформації в процесі відновлення приводить до генерації спектра просторових частот, що був подавлений апаратною функцією приладу.

Очевидно, чим більше апріорної інформації про об'єкт вивчення можна врахувати в процесі відновлення зображення, тим вище ефект надвисокої роздільної здатності і тим з більшою точністю відновлюється зображення.

Різні нелінійні методи, що враховують однотипну апріорну інформацію, досить еквівалентні між собою за одержуваними результатами і розрізняються лише більш-менш складним способом реалізації.

Найбільш простим з погляду обліку апріорної інформації способом реалізації є ітераційний нелінійний метод відновлення, у якому проводиться послідовна покрокова корекція відновлюваного зображення. При цьому з'являється можливість контролювати процес відновлення, визначати якість відновлення в залежності від числа ітерацій. Аналіз ефективності відновлення зображення нелінійним ітераційним методом

показує, що вона залежить від типу об'єкта. Найбільш складним є відновлення зображення імпульсних протяжних об'єктів. Типовим представником такого об'єкта може служити диск Сонця, на поверхні якого розташовані активні утворення з підвищеною яскравістю випромінювання. Відновлення такого об'єкта ітераційним методом з урахуванням інформації про його розмір приводить до появи на його поверхні паразитних коливань.

Задачею даної роботи є підвищення якості відновлення зображення шляхом розробки алгоритму застосування ітераційного методу, що усуває паразитні коливання.

2. ГОЛОВНА ЧАСТИНА

Розглянемо результати застосування нелінійного ітераційного методу відновлення зображення до задачі відновлення імпульсного протяжного об'єкта.

Ітераційний метод відновлення є розвитком лінійного методу інверсної фільтрації, у якому зображення відновлюється шляхом корекції його спектра просторових частот за допомогою оператора зворотного виду апаратної функції приладу, що реєструє. Розкладання зазначеного оператора в ряд, що сходиться, дозволяє перевести разову процедуру інверсної фільтрації в послідовний ітераційний процес покрокової корекції, що сходиться, спектра просторових частот відновлюваного зображення. За допомогою зворотного Фур'є перетворення даний процес ітераційного відновлення можна перевести в просторову область. Перехід від інверсної фільтрації до ітераційного процесу є лінійним і в такому виді обидва методи є еквівалентними по якості відновлення зображення. Однак на відміну від інверсної фільтрації в ітераційному методі з'являється можливість на кожному кроці відновлення одержуваний результат порівнювати з апіорною інформацією як по структурі зображення, так і по його спектру. Результат порівняння враховується на наступному кроці відновлення. У підсумку процес відновлення виявляється нелінійним і відновлюване зображення направляється в клас об'єктів, заданих апіорною інформацією.

У просторовій області ітераційний алгоритм відновлення зображення має наступний вигляд [1]:

$$T_{\alpha}^{k+1}(\vec{r}) = \left\{ T_{\alpha}^k(\vec{r}) + \lambda \left[T_{\alpha}(\vec{r}) - T_{\alpha}^k(\vec{r}) * A(\vec{r}) \right] \right\} F,$$

де \vec{r} - вектор координат елементів поверхні об'єкта, $T_{\alpha}(\vec{r})$ - яскравісна температура зображення на виході приладу, що реєструє, з нормованою просторовою характеристикою - діаграмою напрямленості (ДН) $A(\vec{r})$, $T_{\alpha}^k(\vec{r})$ - яскравісна

температура зображення після k -ої ітерації, λ - коефіцієнт швидкості збіжності процесу відновлення, $*$ - знак згортки функцій, F - оператор обмежень, що враховує апіорну інформацію в просторовій області. Оператор F приймає значення 0 або 1 у залежності від відповідності обчислених значень $T_{\alpha}^{k+1}(\vec{r})$ апіорним умовам.

У даному алгоритмі швидкість відновлення регулюється коефіцієнтом λ . Його максимальне значення обмежується величиною, перевищення якої приводить до процесу відновлення, що розходиться. Ця величина зв'язана з коефіцієнтом передачі апаратної функції приладу, що реєструє. Якщо апаратна функція нормована, то максимальне значення коефіцієнта λ дорівнює двом.

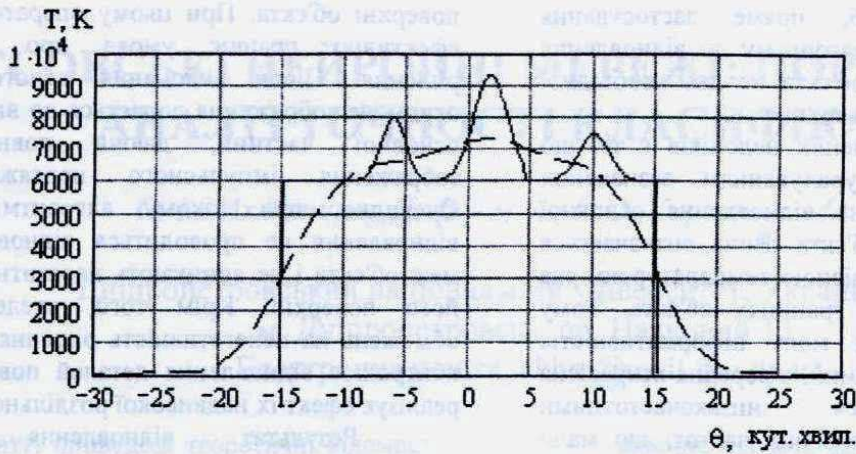
Найбільш очевидною апіорною інформацією є умова ненегативності відновленого зображення. Її застосування дозволяє значно поліпшити якість відновленого зображення, забезпечити виділення згладжених деталей.

У випадку відомого розміру відновлюваного об'єкта процедура відновлення його зображення обмежується в заданих розмірах, що також призводить до підвищення якості зображення. В ітераційному методі відновлення оператор F може відбивати облік і будь-якого іншого виду апіорної інформації.

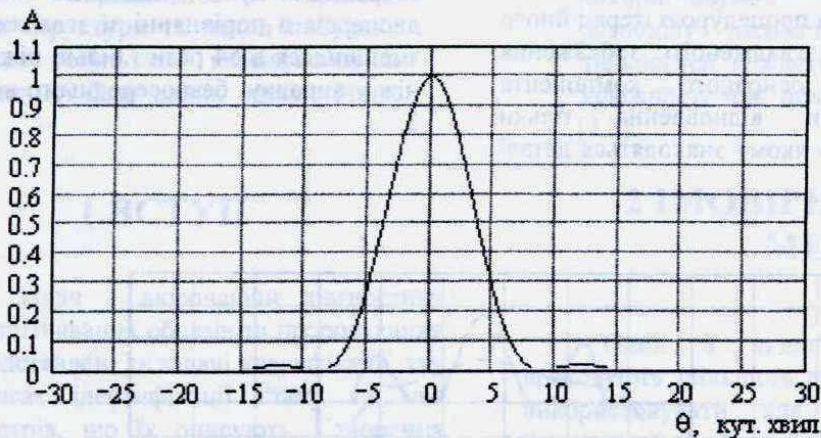
Пряме застосування нелінійного ітераційного методу з різними операторами обмежень, що контролюють покрокову процедуру відновлення, дозволяє успішно відновлювати широкий клас об'єктів. Однак при відновленні імпульсних протяжних об'єктів якість відновлення виявляється недостатньо високою. При будь-яких операторах обмежень у відновленому зображенні даних об'єктів спостерігаються паразитні коливання, що погіршують якість зображення. Крім того невисоким виявляється якість відновлення деталей поверхні об'єкта.

Виявити природу недоліків прямого застосування нелінійного ітераційного методу до відновлення зображення імпульсних протяжних об'єктів і визначити шляхи їх усунення дозволяє аналіз результатів математичного моделювання.

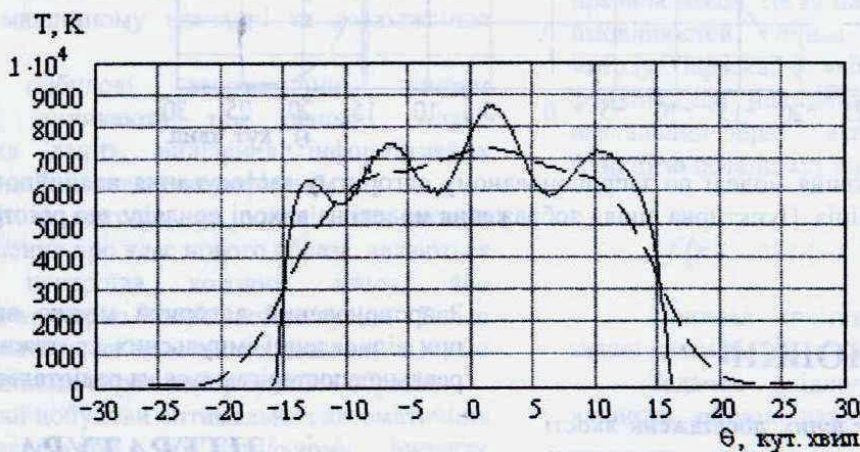
Як об'єкт моделювання виберемо зображення Сонця з кутовим розміром $32'$ і яскравісною температурою $6 \cdot 10^3$ K, на поверхні якого розміщені три яскравих активних утворення гаусового виду з кутовим розміром порядку $3'$ на рівні половинної потужності (мал. 1). Як діаграма напрямленості приладу, що реєструє - радіотелескопа використовується розрахункова ДН параболоїда з шириною на рівні половинної потужності, рівної $7'$ (мал. 2). Оскільки ширина ДН радіотелескопа істотно перевищує кутовий розмір деталей на поверхні моделі імпульсного протяжного об'єкта, то вид їх згортки - зображення на виході



Мал. 1. Модель імпульсного протяжного об'єкта в кутових координатах θ - суцільна лінія. Пунктирна лінія - зображення моделі на виході приладу, що реєструє.



Мал. 2. Нормована діаграма напрямленості приладу, що реєструє, у кутових θ координатах.



Мал. 3. Відновлене зображення моделі з оператором обмежень по відомому розміру об'єкта - суцільна лінія. Пунктирна лінія - зображення моделі на виході приладу, що реєструє.

радіотелескопа виявляється істотно згладженим (мал. 1).

Відновимо отримане згладжене зображення моделі об'єкта розглянутим ітераційним алгоритмом, у якому оператор обмежень контролює відомий заданий розмір об'єкта. Результат відновлення після 1000 ітерацій при максимальній збіжності процесу, що відповідає коефіцієнту $\lambda = 2$, приведений на мал. 3.

Оцінімо якість відновлення зображення моделі об'єкта як відношення дисперсій вихідного згладженого об'єкта щодо моделі об'єкта і відновленого зображення відносно моделі об'єкта. У даному випадку зменшення дисперсії відновленого зображення склало 4,6 рази. Аналогічні результати моделювання отримані при іншому операторі обмежень, що враховує невід'ємність відновленого зображення.

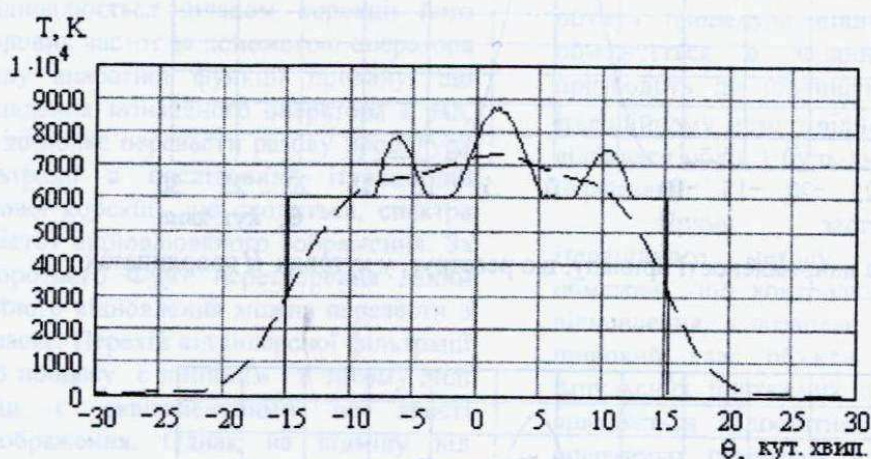
У такий спосіб, пряме застосування нелінійного ітераційного алгоритму до відновлення імпульсного протяжного об'єкта не дає необхідної якості відновлення його поверхні.

Причиною відзначених недоліків є те, що процес відновлення з урахуванням зазначених обмежень орієнтований на відновлення основної енергетичної складової об'єкта. Вона визначається високою середньою яскравісною температурою, яка сконцентрована в різких границях об'єкта. Тому отриманий результат має малу інформативність. Розмір об'єкта апріорі відомий, а середня яскравісна температура описується низькочастотними складовими спектра просторових частот, що мало спотворюються апаратною функцією. Даний параметр об'єкта можна з гарною точністю оцінити по зображенню на виході приладу.

Це дозволяє перед процедурою ітераційного відновлення відняти зі згладженого зображення згортку встановленого основного компонента зображення і провести відновлення тільки додаткового компонента, у якому знаходяться деталі

поверхні об'єкта. При цьому оператором обмежень ефективно працює умова про ненегативність рішення. Після виконання даного відновлення отримане зображення додається до виділеної раніше основної частини, даючи повне відновлене зображення імпульсного протяжного об'єкта. Очевидно, при такому алгоритмі ітераційного відновлення не проводиться відновлення відомих меж об'єкта і не виникають паразитні коливання на його поверхні. Крім того, введений оператор обмежень на ненегативність рішення безпосередньо контролює відновлення деталей поверхні об'єкта і реалізує ефект їх надвисокої роздільної здатності.

Результат відновлення згладженого зображення моделі по даному алгоритму при $\lambda = 2$ після 1000 ітерацій приведений на мал. 4. Відновлене зображення дуже близьке до вхідної моделі. Його дисперсія в порівнянні зі згладженим зображенням зменшилася в 54 рази і більш ніж у 10 разів менше, ніж у випадку безпосереднього відновлення на мал. 3.



Мал. 4. Відновлене зображення моделі по запропонованому алгоритму застосування нелінійного ітераційного метода - суцільна лінія. Пунктирна лінія - зображення моделі на виході приладу, що реєструє.

3. ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень якості відновлення зображення імпульсних протяжних об'єктів нелінійним ітераційним методом запропонований алгоритм відновлення, який дозволяє істотно підвищити якість відновлення. Дані результати підтверджені модельними розрахунками.

Запропонований алгоритм можна використовувати при відновленні імпульсних протяжних об'єктів, які реально спостерігаються на радіотелескопі.

ЛІТЕРАТУРА

Василенко Г.И., Тараторин А.М. *Восстановление изображений*. - М.: Радио и связь, 1986.