

**Научно-исследовательский радиофизический институт
Министерство образования Российской Федерации**

Препринт № 477 р

**ТОМОГРАФИЯ
ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПРОЕКЦИЙ. П.
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ 2-CLEAN DSA**

М.И.Агафонов

Нижний Новгород – 2003

Агафонов М.И.

ТОМОГРАФИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПРОЕКЦИЙ. II. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 2-CLEAN DSA

Препринт № 477 р – Нижний Новгород: НИРФИ, 2003, 11 с.

УДК 52-77 : 53.08; 519.711 : 621.391; 52-77 : 004.72; 004.93'1

Для сжатия, хранения, передачи по каналам связи видеоизображений, а также для реконструкции, сокрытия и распознавания информации предложен радиоастрономический метод томографии при ограниченном числе проекций – 2-CLEAN DSA. На его основе созданы два варианта информационно-телекоммуникационной технологии ИТТ 2-CLEAN DSA: 1) 2-CLEAN DSA VIDEO COMPRESSION – уплотнения видео данных в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$ с целью хранения и передачи их в упакованном виде с последующей реконструкцией при числе проекций $N \sim 0.1$ от количества, необходимого в классическом подходе, а также с возможностью синхронного изменения при необходимости параметров: числа проекций – N и их ориентации в пространстве – θ_i , что повышает уровень сокрытия информации от несанкционированного доступа; 2) вариант 2-CLEAN DSA VC FILTER – сокрытия, передачи, декодирования упакованных в виде проекций видеоизображений, аналогичен первому варианту, однако предусматривает введение перестраиваемого в полосе $\{0, \omega_b\}$ частотного интервала – $\Delta\omega_i$, что обеспечивает дополнительную степень защиты. Предложенная технология компьютерного моделирования (Information Computerized Technology) ICT 2-CLEAN DSA обеспечивает оптимизацию параметров при разработке стандартов уплотнения данных. Томографической системой и системой реконструкции изображений являются компьютеры. Технология может быть также использована для дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: радиоастрономия, малоракурсная томография, обратная задача, синтезированный луч, метод 2-CLEAN DSA, информационно-телекоммуникационная технология, сжатие и реконструкция видеоизображений, передача данных, распознавание образов, сокрытие информации, кодирование, дискретная математика, итерационные алгоритмы, нелинейные ограничения, компьютерное моделирование, обработка данных, дистанционный мониторинг.

© Научно-исследовательский радиофизический институт

Введение. Идея передачи проекций изображения, вместо передачи всей картины, возникла, вероятно, в начале 70-х годов XX века [1]. Достаточно быстро появились первые реализации [2, 3] на основании преобразования Радона. Для полного восстановления всех пространственных частот при классическом суммировании проекций, согласно [4], необходимо их количество, не менее $N \geq \pi D/\phi$, где D – диаметр области изображения, ϕ – желаемое пространственное разрешение в области D , которое связано соотношением $\phi = 1/\omega_b$ с установленной верхней граничной пространственной частотой, расположенной на u, v -плоскости по окружности с радиусом ω_b (b – boundary). Число проекций $N_{BR} = \pi D/\phi$ назовем числом Брейсуэлла–Риддла. В наших работах [5–8] получил развитие радиоастрономический подход к проблеме восстановления распределения яркости при ограниченном числе проекций, в [9, 10] приведены также результаты реконструкции по экспериментальным данным. Основными отличиями являются: введение синтезированного луча (Synthesized Beam, SB), эквивалентного отклику системы формирования на точечный источник (Summary Point Spread Function) (см. рис.1), а также введение процедуры чистки суммарного изображения от искажающего влияния откликов на боковики SB, которые расходятся в стороны в виде лучей от центрального максимума. Решается задача деконволюции для двумерной (2D) области [11].

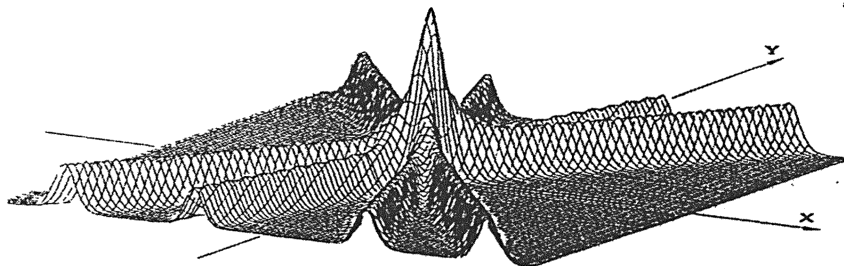


Рис. 1. Синтезированный луч, состоящий из ножевых лучей, соответствующих положениям четырех проекций (неравномерное распределение углов)

Чистка – достаточно хорошо известная в радиоастрономии процедура, которая представляет собой радиоастрономическую

реализацию итерационного алгоритма с нелинейными ограничениями для исключения откликов от боковых диаграмм направленности антенн. В случае синтезированного луча, изображенного на рис.1, удалению должны подвергнуться отклики в виде лучей вне центрального максимума. Возможность применения двух реализаций алгоритма чистки [12, 13] в томографической задаче и сходимость решений была исследована в [5]. Кроме того нами был предложен метод определения границ области допустимых решений для сложных вариантов восстановления [6] с помощью двух алгоритмов: ST-CLEAN [12] и TC-CLEAN [13].

Радиоастрономический подход к проблеме обобщен и компактно изложен в работе [11], где перечислен также персональный вклад исследователей в создание компонентов метода 2-CLEAN DSA, который является основой, предложенной в [11], информационно-вычислительной технологии реконструкции, распознавания и анализа изображений малоракурсной томографии ИВТ РРАИ МТ 2-CLEAN DSA. Было показано, что метод позволяет проводить 2D распознавание в широком спектре пространственных частот $\{\omega_x, \omega_y\}$, ограниченном только верхней частотой ω_c , при наличии лишь около 0.1 от числа проекций, необходимого при традиционном томографическом подходе. Полученные результаты позволили предложить к использованию новую информационно-телекоммуникационную технологию сжатия, сокрытия, передачи и хранения информации ИТТ 2-CLEAN DSA, которая может применяться как отдельно, так и в совокупности с другими известными методами.

Томографическая технология моделирования процесса уплотнения данных ICT 2-CLEAN DSA. В настоящей работе предложены два варианта технологии хранения и передачи видеоизображений: только со сжатием в широкой полосе пространственных частот и с дополнительным кодированием с помощью введения перестраиваемого фильтра. В качестве томографической системы, выполняющей преобразование видеоизображения в проекции, а также для выполнения процесса восстановления, использованы компьютеры. Вследствие цифрового подхода система не вносит каких-либо шумов, кроме незначительных шумов дискретизации. Метод обеспечивает стабильность реконструкции в условиях корректно смоделированного стандарта. Для

оптимизации параметров, уточнения необходимого числа проекций N , их углов в пространстве θ_i используется информационно-вычислительная технология (Information Computerized Technology, ICT) компьютерного моделирования ICT 2-CLEAN DSA [11]. С ее помощью могут быть выполнены все необходимые расчеты, предусмотрены варианты изменения значений параметров N и θ_i по установленному временному графику для повышения степени сокрытия информации, а также введен дополнительный параметр: фильтр пространственных частот с полосой $\Delta\omega_i$, синхронно перестраиваемой в заданные моменты t_i для повышения степени защиты. Технология ICT 2-CLEAN DSA позволяет создавать стандарты кодирования видеосигнала для требуемого класса видеоизображений. Введение спектральных ограничений существенно уменьшает необходимое количество проекций. Вопрос исследуется моделированием для каждого конкретного случая в отдельности. Условная схема реконструкции в области пространственных частот показана на рис.2.

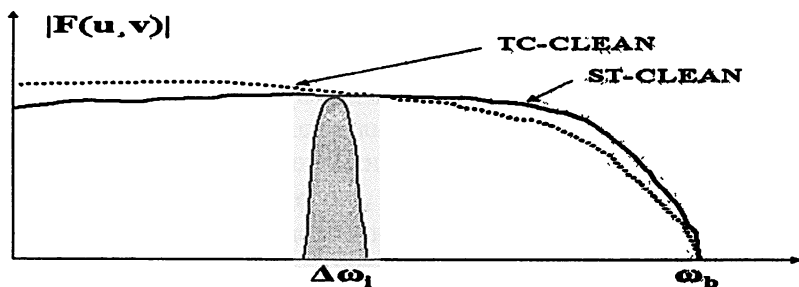


Рис. 2. Схема реконструкции решения в области пространственных частот:

- а) полная полоса пропускания $\{0, \omega_b\}$,
- б) введение фильтрации в полосе $\Delta\omega_i$

Небольшое смещение модуля спектра в высокочастотную область при использовании метода ST-CLEAN является иллюстрацией к методу определения области допустимых решений [6, 11], который необходим при проведении моделирования в сложных случаях. Разработанный при моделировании стандарт кодирования должен обеспечить однозначность реконструкции, гарантировать стабильность и выполнять реконструкцию каким-либо одним из алгоритмов. Основное различие между алгоритмами заключается в том, что компонентом

каждой итерации для ST-CLEAN является отдельный пик, или δ -функция, а для TC-CLEAN в качестве первого приближения используется гладкая область (одна или несколько) суммарного изображения, ограниченная уровнем приспособленного контура. Обособленные компоненты могут быть с успехом восстановлены с помощью алгоритма ST-CLEAN; восстановление изображения, имеющего различные протяженные структуры, должно быть выполнено с помощью TC-CLEAN. Фильтрация в интервале $\Delta\omega_i$ может при необходимости добавляться в структуру любого алгоритма.

Информационно-телекоммуникационная технология ИТТ 2-CLEAN DSA. Рис.3 иллюстрирует оба варианта предложенной информационно-телекоммуникационной технологии. Технология ИТТ 2-CLEAN DSA VIDEO COMPRESSION (рис.3а) предусматривает сжатие видеоизображений, передачу их в упакованном виде и реконструкцию в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$ при количестве проекций $N \sim 0.1$ от необходимого числа в классическом подходе. Защита информации обеспечивается сокрытием параметров N и θ_i , которые могут синхронно изменяться по заданному временному графику. Технология ИТТ 2-CLEAN DSA VC FILTER (рис.3б) с введением дополнительной фильтрации предназначена для сокрытия, хранения, передачи, раскодирования упакованных в виде проекций видеоизображений с синхронным изменением в условные моменты времени t_i , кроме параметров N и θ_i , положения частотного фильтра – $\Delta\omega_i$ в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$. Общие условия для каждого из вариантов технологии – неотрицательность сигнала $f(x,y) \geq 0$, финитность изображения в пространстве: $f(x,y) \neq 0$ в интервале $x \in (a,b)$, $y \in (c,d)$. Введение любых дополнительных ограничений способствует достижению требуемого качества реконструкции при меньшем количестве проекций.

В работе [11] было показано, что при восстановлении распределения яркости в широком спектре $\{0, \omega_b\}$ методом 2-CLEAN DSA выигрыш в числе проекций может достигать ~ 10 по сравнению с обычным томографическим подходом. Результат оценки необходимого количества проекций, положенный в основу настоящей работы и равный $N \sim 0.1 N_{BR}$ от числа проекций по Брейсуэллу–Риддлу, получен при тщательном исследовании процесса сходимости [5], выполненном

при осложняющих ситуацию обстоятельствах, в условии неравномерного распределения проекций: 4 проекции располагались в секторе 77° , а сектор 103° был совершенно пуст. Более равномерное распределение проекций обеспечивает улучшение качества восстановления.

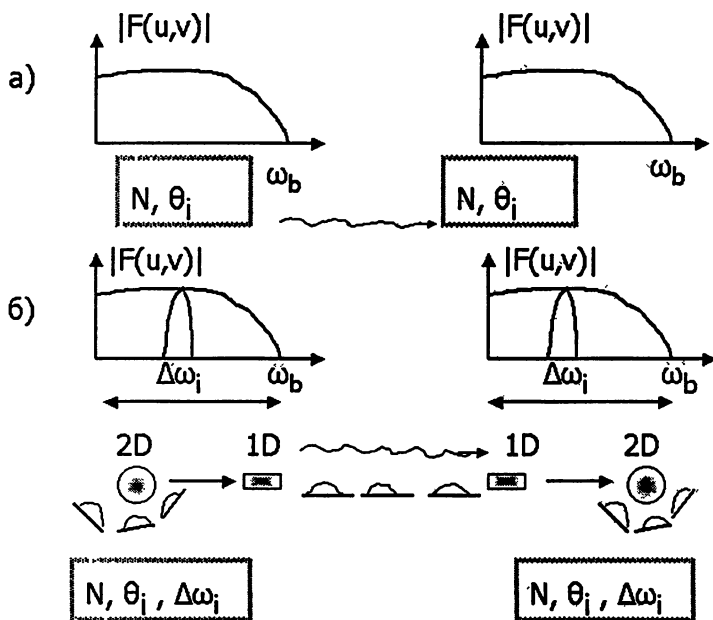


Рис.3. Схема информационно-телекоммуникационной технологии томографической реконструкции при ограниченном числе проекций ICT 2-CLEAN DSA:

- а) вариант 2-CLEAN DSA VIDEO COMPRESSION – реконструкция в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$; параметры уплотнения: число проекций – N , углы в пространстве, – θ_i ;
 б) вариант 2-CLEAN DSA VC FILTER – с возможностью синхронной перестройки фильтра $\Delta\omega_i$ в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$

Отметим, что большое изображение может подвергаться предварительной процедуре сегментации, разложению на отдельные фрагменты, которые после реконструкции вновь объединяются.

Ускорение может достигаться использованием параллельной схемы обработки. Пример схемы сегментации показан на рис.4.

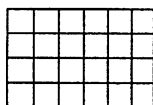


Рис.4. Пример схемы сегментации изображения

Использование в названии технологии словосочетания 2-CLEAN DSA не связано с необходимостью применения при каждой реконструкции обязательно двух алгоритмов для определения области допустимых решений (Determination Solution Area). Как уже отмечалось, разработанный стандарт реконструкции исключает проведение какого-либо исследования при реконструкции. Решение в процессе восстановления должно быть получено однозначно. Сочетание 2-CLEAN DSA является признаком отличия ИТТ технологии, ее установленным обозначением, характеризующим общий принцип подхода. Заметим, что при реконструкции технология допускает применение любого алгоритма, поэтому обозначение 2-CLEAN и с этой точки зрения полностью оправдано. Исследование границ области допустимых решений необходимо, но лишь на этапе моделирования при отладке стандарта. На рис.5. показана условная схема восстановления пространственных частот при широкой и узкой полосе.

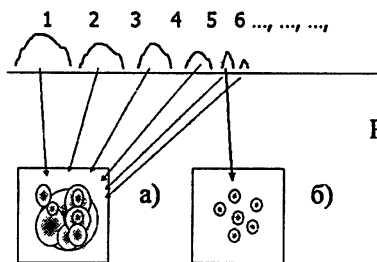


Рис. 5. Условная схема восстановления пространственных частот:
а) в широкой полосе $\{0, \omega_b\}$,
б) при установке фильтра $\Delta\omega_i$

При введении ограничения $\Delta\omega_i$ весьма привлекателен факт уменьшения необходимого для реконструкции количества проекций. Однако следует иметь ввиду, что двумерная информация не может быть восстановлена без априорного знания $\Delta\omega_i$. Только введение ограничения $\Delta\omega_i$ позволит энергии, содержащейся в одномерных профилях перераспределиться должным образом в компоненты на 2D плоскости, что имеет важное значение для сокрытия информации.

Отсутствие при реконструкции сведений об интервале $\Delta\omega_i$ даст ложный результат. Заметим, однако, что введение фильтрации накладывает существенные ограничения на используемый класс изображений.

Технология ITT 2-CLEAN DSA может быть также использована для уплотненной передачи данных при дистанционном мониторинге для выявления структурных изменений исходного изображения с распознаванием в пункте приема.

Выводы.

1. Предложена информационно-телекоммуникационная технология компрессии и передачи видеоизображений с использованием метода томографической реконструкции при ограниченном числе проекций ITT 2-CLEAN DSA. Технология позволяет проводить реконструкцию в широкой полосе пространственных частот $\{0, \omega_b\}$ при наличии лишь около 0.1 от количества проекций, необходимого при классическом томографическом подходе.
2. Информационно-телекоммуникационная технология 2-CLEAN DSA способна обеспечить несколько степеней защиты информации от несанкционированного доступа, благодаря наличию устанавливаемых параметров (количество проекций N , их углы в пространстве θ_i), значения которых необходимо знать при проведении процесса реконструкции. Усиление степени защиты достигается изменением указанных параметров по установленному временному закону, а также введением и перестройкой фильтра с полосой $\Delta\omega_i$.
3. Технология адаптируется к широкому кругу задач, благодаря наличию в своем составе двух алгоритмов чистки: ST-CLEAN и TC-CLEAN, а также, благодаря использованию при моделировании метода определения области допустимых решений указанными алгоритмами. Технология компьютерного моделирования ICT 2-CLEAN DSA позволяет проводить разработку стандартов передачи информации для конкретных классов видеоизображений. Отработанный с помощью моделирования стандарт компрессии предполагает однозначность реконструкции и использование для восстановления какого-либо одного из алгоритмов CLEAN. Выбор должен определяться спецификой задачи, исходя из структуры исходных видеоизображений.

Литература

1. Gordon R., Herman G.T. Reconstruction of pictures from their projections. *Comm. A.C.M.*, 1971, v.14, p.759-768.
2. Wee W.G. Hsieh T.-T. An application of the projection transform technique in image transmission, *IEEE Trans. System Man Cybernetics*, 1976, SMC-6, p.486-493.
3. Swith W.E., Barrett H.H. Radon transform and band with compression. *Opt. Lett.*, 1983, v.8, N7, p.395-397.
4. Bracewell, R.N., Riddle A.C. Inversion of fan-beam scans in radioastronomy. *Astrophys.J.*, 1967, v.150, p.427-434.
5. Агафонов М.И., Подвойская О.А. Восстановление двумерного распределения яркости итерационными алгоритмами при ограниченном количестве сканов ножевым лучом. *Известия ВУЗов – Радиофизика*, 1989, т.32, N6, с.742-752.
6. Агафонов М.И., Подвойская О.А. Восстановление двумерного распределения яркости с использованием двух вариантов алгоритма CLEAN при ограниченном числе проекций в радиоастрономии и томографии. *Известия ВУЗов – Радиофизика*, 1990, т.33, N10, с.1185-1187.
7. Agafonov M.I. Image reconstruction with few strip-integrated projections: enhancements by application of versions of the CLEAN algorithm. In the Book: *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*. ASP Conf. Ser., San Francisco, Vol. 125, 1997, p.202-205. Edited by G. Hunt and H.E. Payne.
8. Agafonov M.I. Determination of the permissible solutions area by image reconstruction from a few projections: method 2-CLEAN DSA. In the Book: *Astronomical Data Analysis Software and Systems VII*. ASP Conf. Ser., San Francisco, Vol. 145, 1998, p.58-62. Edited by R. Albrecht, R.N. Hook and H.A. Bushouse.
9. Агафонов М.И., Иванов В.П., Подвойская О.А. Радиоизображения Крабовидной туманности по данным лунных покрытий. *Астрономический журнал*, 1990, т.67, N3, с.549-560.
10. Агафонов М.И., Аслаян А.М., Гулян А.Г., Иванов В.П., Мартиросян Р.М., Подвойская О.А., Станкевич К.С. Радиоизображение Крабовидной туманности на частоте 750 МГц. *Письма в Астрономический журнал*, 1986, т.12, N4, с.275-280.
11. Агафонов М.И. Томография при ограниченном числе проекций. I. Радиоастрономический подход к проблеме и метод 2-CLEAN DSA. Препринт № 476 р. – Нижний Новгород: НИРФИ, 2003. –30с.
12. Hogbom, J.A., Aperture synthesis with a non-regular distribution of interferometer baselines. *Astron.Astroph, Suppl.Ser.*, 1974, v.15, N3, p.417-426.
13. Steer, D.G., Dewdney, P.E., Ito, M.R. Enhancements to the deconvolution algorithm "CLEAN". *Astron.Astrophys.*, 1984, v.137, N2, p.159-165.

Agafonov M.I.

**FEW PROJECTIONS TOMOGRAPHY. II.
INFORMATION TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY
2-CLEAN DSA**

Reprint № 477 R – Nizhny Novgorod: NIRFI, 2003, 11p.

Radioastronomical method of few projections tomography 2-CLEAN DSA has been suggested for compression, deposit, transmission of video images by communication channels, and also for information reconstruction, concealment and recognition. Two variants of Information Telecommunication Technology have been created on the basis of the method: 1) 2-CLEAN DSA VIDEO COMPRESSION allows compression of video images in a wide space frequency band $\{0, \omega_b\}$ for their packaging deposit, transmission and reconstruction, when the number of projections contains only $N \sim 0.1$ of the number needed for the usual tomographical approach, including the possibility of synchronized temporal changes of the parameters: the number of projections – N , their space angles – θ_i ; these are the parameters that increase the level of the information concealment from any unsanctioned access; 2) 2-CLEAN DSA VC FILTER used for concealment, transmission, decoding of video images packed in the projections is similar to the first variant, though it includes the location of the tuning in the band $\{0, \omega_b\}$ frequency range – $\Delta\omega_i$. Information Computerized Technology ICT 2-CLEAN DSA worked out earlier has been suggested for optimization of the parameters needed for the creation of the data compression using ITT 2 - CLEAN DSA. The computer is both a tomography system and the system for the images reconstruction. The technologies may be also used for a distance monitoring.

Key Words: radioastronomy, few projections tomography, inverse problem, synthesized beam, 2-CLEAN DSA method, information telecommunication technology, video images compression and reconstruction, data transmissions, pattern recognition, information concealment, encoding, discrete mathematics, iterative algorithms, non-linear constraints, computer simulation, data processing, contactless monitoring.

Агафонов Михаил Игоревич

Томография при ограниченном числе проекций. II.
Информационно-телекоммуникационная технология
2-CLEAN DSA

Подписано в печать 27.01.2003 г. Формат 60 x 84/16.

Бумага писчая. Объем 0,68 усл. п. л.

Тираж 100. Заказ 5526.

Отпечатано в НИРФИ

Нижний Новгород, ул.Большая Печерская, 25