

Р.М. МАРТИРОСЯН, А.Г. ГУЛЯН, В.А. САМАЯН, Г.А. ПИРУМЯН,
В.П. ЗАЛИНЯН

УЛУЧШЕНИЕ РЯДА ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА

Рассматриваются возможности улучшения чувствительности интерференционного радиотелескопа методом цифрового анализа данных наблюдения. Приведены способы узкополосной частотной и степенной фильтрации интерференционной гармоники (ИГ) принимаемого сигнала, а также накопления мощностей отдельных лепестков ИГ.

Ключевые слова: радиотелескоп, интерференционная гармоника, цифровой анализ.

Введение. В [1] приведены реализации некоторых функций интерференционного радиотелескопа с использованием метода цифрового анализа выходного сигнала. В настоящей работе рассматриваются две возможности применения цифровой технологии для указанной выше цели: частотная (узкополосная) цифровая фильтрация интерференционной гармоники принимаемого сигнала; накопление мощностей отдельных лепестков.

При обыкновенном двухантенном радиоинтерферометре выходной сигнал наблюдаемого космического радиоисточника, в зависимости от его пространственного положения, угловых размеров (точнее, от распределения радиояркости по источнику), характеристик радиоинтерферометра (длина волны, полоса приема, длина базы), является квазипериодической переменной функцией от времени определенной частоты повторения, известной как пространственная или интерференционная гармоника. Если на выходе радиометра (после детектора) включить узкополосный усилитель, настроенный на частоту ИГ (F) с полосой ΔF , то, как известно, чувствительность повышается пропорционально $\sqrt{\frac{\Delta F}{\Delta f}}$, где Δf - полоса принимаемого излучения [2]. Впервые такое предложение было реализовано в [3] по рекомендации С. Э. Хайкина - основателя радиоастрономии в СССР. Однако оно не нашло широкого применения из-за сложности практической реализации настраиваемого квазипериодического узкополосного усилителя и неустойчивости таких усилителей к кратковременным внешним помехам.

1. Цифровая фильтрация ИГ

Узкополосный цифровой частотный фильтр ИГ. При наличии современной вычислительной техники указанную выше задачу (фильтрация интерференционной гармоники) можно решить более простым и эффективным

образом, а именно, можно уже записанный на выходе детектора интерферируемый сигнал записать в память ЭВМ, а затем его фильтрацию осуществить методами цифрового анализа. Метод практически реализовался на примере наблюдения космического радиосточника Телец-А на длине волны $\lambda = 4,2\text{ м}$ с помощью радиоинтерферометра ИРФЭ с базой $D = 15 \lambda$ и эффективной поверхностью антенн 40 м^2 и 10 м^2 .

Полный аналоговый сигнал (радиосточника, галактического фона и шумов) зарегистрированного на выходе радиометра (рис.1а) оцифровывался 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) с временным разрешением $0,01\text{ с}$ и вводился в компьютер в виде последовательной записи данных в отдельный иницилируемый текстовый файл. По второму параллельному каналу записывались метки времени. Такая регистрация позволяла с большой степенью точности учитывать фазовый сдвиг при последующей обработке результатов измерений. Дальнейшая обработка данных производилась с помощью программы „Origin-6”, которая имеет встроенные функции Фурье анализа, расширенные математические возможности для построения узкополосных цифровых фильтров, настраиваемых на частоту гармоники. Процесс цифровой частотной фильтрации происходит по следующей примерной схеме. Из зарегистрированного после детектора аналогового сигнала (рис.1а) с помощью полинома N-й степени выделяется фоновое излучение, которое затем вычитывается. Далее для ИГ источника строится частотный спектр мощности и определяются параметры полосового фильтра F и ΔF .

Результаты цифровой фильтрации дали возможность выявить слабый полезный сигнал на фоне шумов и радиопомех. Почти незаметная интерференционная гармоника радиосточника Телец-А после цифровой фильтрации четко выделяется на уровне несравненно более сильного фонового излучения Галактики, шумов и помех (рис.1б). Даже далекие от центра боковые лепестки ИГ, которые вообще не заметны до фильтрации, тоже хорошо выделяются. Это свидетельствует о том, что радиосточники, имеющие на порядок меньшую интенсивность, чем Телец-А, можно наблюдать с помощью радиоинтерферометров, имеющих малые эффективные площади антенн.

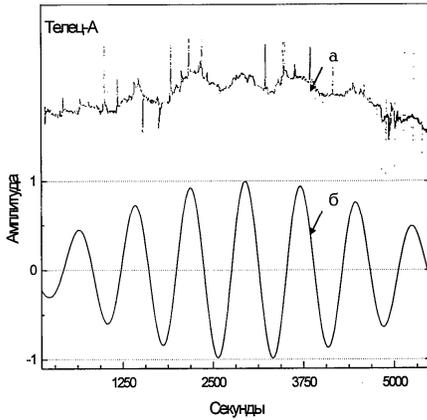


Рис. 1. ИГ радиосточника Телец-А до (а) и после (б) цифрового узкополосного частотного фильтра

Степенной цифровой фильтр. Степенной цифровой фильтр фактически усиливает переменную составляющую зарегистрированного после детектора сигнала космического радиоисточника, в данном случае - его пространственную гармонику. При этом чем больше ее амплитуда, тем больше она усиливается, соответственно улучшается избирательность системы.

Представим интерферированную запись космического излучения (сигнал дискретного источника, галактического фона и шумов) в виде цифровой последовательности во времени и введем ее в память ЭВМ. Умножим каждый член $P(t) \sim \{P_i(t)\}$ последовательности $P_i(t)$, соответственно, на степенной множитель, например, $\exp - \left\{ \frac{P_m - P_i(t)}{P_m} \right\}$ (как основание можно взять любое целое число), и запишем ее в виде новой последовательности во времени:

$$P(t) = P_i(t) \exp - \left\{ \frac{P_m - P_i(t)}{P_m} \right\}, \quad (1)$$

где P_m - член последовательности $P_i(t)$ с максимальным значением.

Очевидно, что в результате такого преобразования получится отфильтрованное значение переменной составляющей последовательности. Это хорошо видно на примере фильтрации интерференционной записи сигнала радиоисточника Лебедь-А (рис.2б), который, как известно, находится в области сильного фонового галактического излучения (рис.2а)

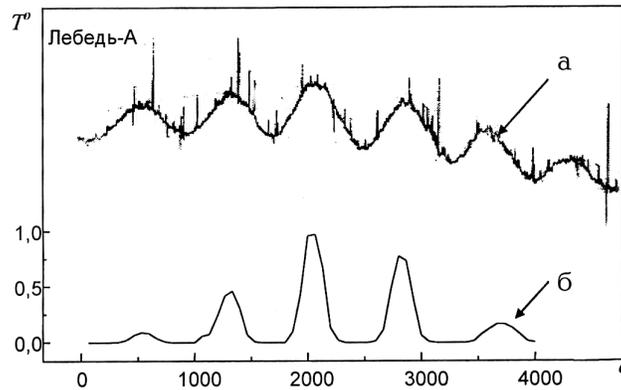


Рис. 2. ИГ радиоисточника Лебедь-А до (а) и после (б) степенного цифрового фильтра

2. Накопление мощностей отдельных ИГ

Впервые в радиоастрономии подобное накопление реализовалось в Бюраканской обсерватории фотографическим методом [3]. Позже авторы книги [4] писали о принципиальной возможности такого накопления. Однако этот метод тоже не нашел широкого применения из-за сложности практических

наблюдений и отсутствия в этот период технических возможностей для обеспечения наблюдений по широкой программе. При наличии высокоразвитой вычислительной техники эту задачу можно решить сравнительно просто. Если известны характеристики интерферометра и координаты радиисточника, то однозначно можно подсчитать время и скорость прохождения интерференционных лепестков по диаграмме направленности антенны радиотелескопа, т.е. за период наблюдений. Следовательно, если выходную интерференционную кривую, записанную в память ЭВМ в виде числовой последовательности с метками реального времени, усреднить по интервалам времени интерференционных лепестков, то, очевидно, получится выигрыш чувствительности пропорционально числу усредненных лепестков. Практически достаточно усреднить мощности нескольких центральных лепестков (рис.3а), которые находятся в пределах половины мощности диаграммы направленности, для которых отношение сигнал/шум наибольшее (рис.3б).

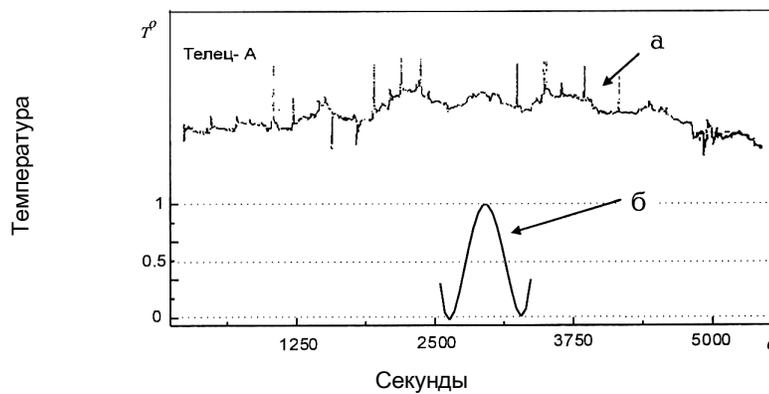


Рис. 3. Результаты интегрирования мощностей пяти центральных лепестков ИГ радиисточника Телец-А

В работе не приводятся очевидные математические выкладки для оценки величины выигрыша чувствительности предлагаемым методом. Он убедительно виден на примере результатов, полученных для радиисточника Телец-А, после усреднения центральных пяти лепестков его интерференционной гармоники (рис.3б).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мартirosян Р. М., Санамян В. А., Гулян А. Г., Пирумян Г. А., Манаселян Х.А.** О компьютерной реализации метода фазового переключения в радиоастрономии //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2003. - Т. 56, N3. - С. 514-519.
2. **Есепкина Н. А., Королков Д. П., Парийский Ю. Н.** Радиотелескопы и радиометры. – М.: ИЛ, 1961. - 236 с.
3. **Санамян В. А., Товмасын Г. М.** Радиоастрономия. - М.: ИЛ, 1961. - 488 с.
4. **Стейнберг Ж., Леку Ж.** Радиоастрономия.- М.: ИЛ, 1963. – 111 с.

Ин-т радиофизики и электроники НАН РА, Бюраканская астрофизическая обсерватория НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.10.2004.

**Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա. Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ, Վ. Ա. ՍԱՆԱՄՅԱՆ,
Հ. Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ, Վ. Պ. ԶԱԼԻՆՅԱՆ**

**ԹՎԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ
ՈՒՂԻՈՂԻՏԱԿԻ ՄԻ ՇԱՐՔ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԼԱՎԱՑՈՒՄ**

Քննարկված են դիտման արդյունքների թվային վերլուծության եղանակով ինտերֆերենցիոն ռադիոդիտակի զգայունության մեծացման հնարավորությունները, ինտերֆերենցիոն հարմունիկի (ԻՀ) թվային նեղշերտ հաճախային և աստիճանային ֆիլտրացման, ինչպես նաև վերջինիս առանձին թերթիկների հզորությունների կուտակման եղանակները:

**R. M. MARTIROSSYAN, A. G. GHULYAN, V. A. SANAMYAN,
H. A. PIROUMYAN, V.P. ZALINYAN**

**IMPROVEMENT of SOME CHARACTERISTICS for INTERFERENCE RADIOTELESCOPE by
DIGITAL ANALYSIS of RECEIVED SIGNAL**

A possibility of sensitivity improvement for an interference radiotelescope is, by digital observation data processing considered. Narrowband frequency and power-degree filtration methods of the interference harmonic (IH) of the received signal, as well as the power accumulation method for individual IH lobes are described.