

# APPLICATION OF THE FFT ALGORITHM IN THE STRUCTURE OF THE DIGITAL ANTENNA ARRAY TO IMPROVE THE SIGNAL-NOISE RATIO

Kondratieva S.G., Shmachilin P.A.

Moscow Aviation Institute

(National Research University)

A-80, GSP-3, 4, Volokolamskoe highway, Moscow, 125993, Russian Federation

Ph.: (+7 915) 0429422, e-mail: [evolventa89@gmail.com](mailto:evolventa89@gmail.com)

**Abstract** — This article discusses the possibility of time accumulation of a signal in the aperture of the digital antenna array using Fourier transform. This approach can increase the signal-to-noise ratio at the output of a digital beamforming.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА БПФ В СТРУКТУРЕ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ

Кондратьева С. Г., Шмачилин П. А.

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

кафедра «Радиофизики, антенн и микроволновой техники»

Волоколамское шоссе, 4, Москва, 125993, Россия

тел.: +7(915) 0429422, e-mail: [evolventa89@gmail.com](mailto:evolventa89@gmail.com)

**Аннотация** — Рассмотрена возможность использования схемы временного накопления сигнала в приёмно-передающих модулях цифровой антенной решётки на основе схемы преобразования Фурье и цифровой линии задержки. Такой подход может обеспечить повышение отношения мощности сигнала над мощностью шума на выходе схемы цифрового формирования диаграммы направленности в спектре сигнала.

### I. Введение

Повышение требований современных радиотехнических комплексов к антенным системам диктуют необходимость применения активных методов обработки сигнала как в приёмном, так и в передающем каналах. Одним из вариантов решения задачи конструирования такой системы может быть применение цифровой обработки сигнала на уровне антенно-полотна АФАР.

Применение методов цифрового синтеза диаграммы направленности дают возможность использовать нелинейные преобразования для повышения направленных свойств приёмных систем. Но такие алгоритмы достаточно чувствительны к шумам и помехам. В связи с этим возникает задача повышения отношения мощности сигнала к мощности шума (отношения с/ш) в полотне антенной решётки (АР).

Повышение отношения сигнал/шум (сигнал/помеха) на выходе антенной системы возможно за счёт пространственного, или временного накопления сигнала.

### II. Основная часть

Сигнал в приёмной цифровой антенной решётке (ЦАР) может быть преобразован в цифровую форму непосредственно в полотне АР, в её приёмно-передающих модулях (ППМ). При этом структура приёмного тракта ППМ состоит из последовательно включённых малошумящего усилителя (МШУ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и буферного регистра (РГ) рис. 1.

Буферный регистр необходим для накопления выборки цифрового сигнала для дальнейшей передачи её в схему цифрового диаграммообразования (ЦДО). При этом каждый элемент выборки представляет собой значение амплитуды входного сигнала в соответствующий момент времени.

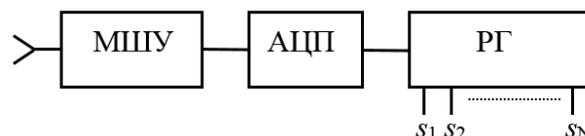


Рис. 1. Структура приёмного канала ЦАР.

Fig. 1. Digital arrays receiver channel structure

Особенностью цифровой обработки сигнала, в отличие от аналоговых методов, является возможность осуществлять разветвление (деление) сигнала на несколько каналов без потери его мощности в схеме деления. Данная особенность даёт возможность осуществить временное накопление цифрового сигнала в каждом из ППМ ЦАР за время формирования выборки цифрового сигнала. В этом случае требуется минимальная модификация приёмного цифрового канала ППМ ЦАР: необходимо буферное устройство формирования выборки цифрового сигнала заменить на цифровую линию задержки, либо сдвиговый регистр. Таким образом в регистре будет существовать скользящая выборка принятого цифрового сигнала, элементы которой можно суммировать с фазовыми сдвигами рис. 2.

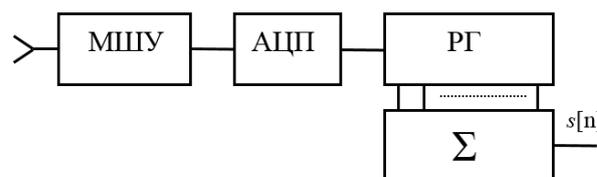


Рис. 2. Структура ЦАР с накоплением сигнала.

Fig. 2. Digital receiver channel structure with time accumulation of a signal

Для моногармонического сигнала один отсчёт сигнала с накоплением может быть получен в виде суммы элементов входной выборки с соответствующими фазовыми множителями, определяющими временную задержку каждого из элементов входной выборки:

$$s[n] = \sum_{i=1}^N s_0[i] \cdot e^{-j2\pi i \cdot dt}.$$

В случае, если входной сигнал имеет конечное число спектральных составляющих, то накопление может быть реализовано дифференцировано для каждой из частотных составляющих. В этом случае в качестве выходного сигнала ППМ с накоплением будет группа отсчётов для каждой из гармонических составляющих сигнала. Данное преобразование эквивалентно дискретному преобразованию Фурье (ДПФ).

$$S_m[n] = \frac{1}{dt} \sum_{i=1}^N s_0[i] \cdot e^{-j2\pi i \cdot m}.$$

Таким образом, на выходе ППМ ЦАР с накоплением сигнала в полотно решётки будет мгновенный спектр принятого сигнала рис.3.

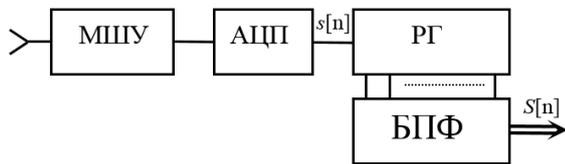


Рис. 3. Структура ППМ ЦАР с накоплением сигнала на основе схемы БПФ.

Fig. 3. Digital receiver channel structure with FFT

Такое представление сигнала на выходе ППМ очень удобно для дальнейшего цифрового диаграммообразования (ЦДО), способного скомпенсировать апертурную полосу пропускания (частотных ход луча) АР.

В этом случае может быть предложена следующая схема построения полотна ЦАР: аналоговый сигнал в приёмном канале ППМ проходит аналого-цифровое преобразование, и его отсчёты поступают на вход цифровой линии задержки (сдвигового регистра). Параллельно ко всем отводам линии задержки подключена схема быстрого преобразования Фурье (БПФ) или ДПФ (при литерной работе), на выходе которой формируется мгновенный спектр принятого сигнала. Схема ЦДО объединяет все выходы ППМ. В ней для каждой из частотных составляющих осу-

ществляется ЦДО. Таким образом, на выходе канала (луча) схемы ЦДО будет существовать мгновенный спектр принятого сигнала рис. 4.

Такой подход даёт возможность собрать когерентно сложить энергию N значений принимаемого сигнала и, следовательно, повысить отношение мощности сигнала к мощности шума в N раз.

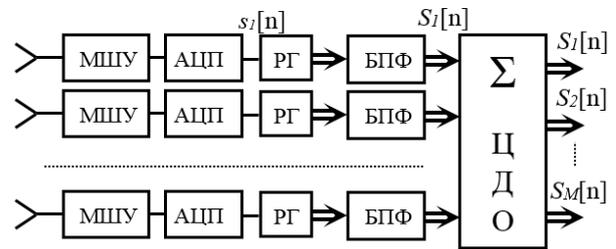


Рис. 4. Структура апертурной антенной решётки с цифровым формированием диаграммы направленности при использовании алгоритма накопления сигнала с помощью БПФ.

Fig. 4. Structure of digital beamforming in digital antenna array with FFT accumulation

### III. Заключение

Таким образом была показана возможность применения алгоритма и схемы БПФ (ДПФ) для сжатия принятого цифрового сигнала в ППМ ЦАФАР, обеспечивающее повышение отношения с/ш в N раз, где N — длина линии задержки, либо размер сдвигового регистра в ППМ ЦАР.

### IV. References

- [1] Voskresenskiy D.I., Stepanenko V.I., Filippov V.S., et. al. *Ustrojstva SVCh I anteny. Proektirovanie FAR. Ucheb. Posob. Dlja vuzov* [Microwave devices and antennas. Design of PAA. Tutorial for high schools]. Moscow, Radiotekhnika, 2003.
- [2] Voskresenskiy D.I., Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A. Digital beam forming by means of matrix Fourier transform method. *22nd Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2012)*. Sevastopol, 2012. pp. 455-456.
- [3] Evstropov G.A., Immoreev I.Ja. Cifrovye metody formirovaniya diagram napravlenosti priemnykh antennyh reshetok [Digital methods to form radiation patterns of receiving antenna array]. *Problemy antennoj tehniki*, 1989.
- [4] Daddzion D., Merseiro R. Cifrovaja obrabotka mnogomernyh signalov: perev. s angl. [Digital processing of multidimensional signals]. Moscow, Mir, 1988.
- [5] Grigor'ev L.N. *Cifrovoe formirovanie diagrammy napravlenosti v fazirovannykh antennyh reshetkah* [Digital forming of radiation pattern at phased antenna arrays]. Moscow, Radiotekhnika, 2010. 144 p.