

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТКЛИКОМ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Морской государственный университет имени адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

В работе рассмотрены цифровые устройства формирования отклика пространственного фильтра, предложено техническое решение по снижению вычислительных и аппаратных затрат.

Введение

Современное транспортное радиооборудование немислимо без применения антенн. Эффективность антенной техники во многом зависит от соответствия их возможностей и требований практики. Между ведущими разработчиками антенных систем ведется напряженная борьба за создание многофункциональных, малогабаритных, адаптивных и экономичных активных антенных решеток (ААР). На американских самолетах уже установлены ААР, однако данных технологический прорыв достигнут десятикратным увеличением стоимости по сравнению с традиционными антенными решетками пассивного типа. Состав функциональных задач антенной техники транспортного радиооборудования включает: преобразование электрического сигнала в электромагнитное поле, пространственную, энергетическую, временную, поляризационную избирательность, а также модуляционные преобразования, усиление и переизлучение. Антенные системы в совокупности с радиоэлектронным оборудованием (РЭО) носителя выполняют обзор окружающего пространства, поиск искомых и навигационных объектов, распознавание, опознавание, селекция, обнаружение опасных навигационных процессов и др.

Пространственная избирательность антенн является базовой функцией, используемой в режимах передачи и приема электромагнитного сигнала. Определение угловых координат местоположения исследуемого объекта является одной из самых распространенных задач различных режимов работы радиоэлектронных систем: в радиолокации, гидроакустике и радиосвязи. Рассматриваемые методы свободны от выбора волновых полей, поэтому далее все рассматривается применительно к гидроакустике.

Давно замечено, что задачи пространственной избирательности аналогичны задачам частотной избирательности, поэтому антенны являются пространственными фильтрами. Среди свойств антенн особое внимание уделялось характеристике направленности, как отклику пространственного фильтра. Получение множества таких откликов аналогично в частотной области алгоритму вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Различают: дискретные, непрерывные и комбинированные, аналоговые и цифровые пространственные фильтры.

Технические решения В данной работе рассматривается одна из реализации цифрового пространственного фильтра частотного типа [1]. Известный метод пространственного фильтра включает следующие основные этапы обработки сигналов:

- с N элементов антенной решетки сигналы проходят аналого-цифровое преобразование и поступают в N буферных запоминающих устройств (БЗУ), где происходит накопление Q отсчетов сигнала на интервале T_n ;
- Q выборок сигнала с n БЗУ поступают на N блоков БПФ, на выходе которых формируются частотные спектры по QN каналам;
- частотные спектры с каждого из N БПФ поступают на многоканальные БПФ формирования N частотно-пространственных спектров сигнала.

На рис. 1. и рис. 2. приведены два варианта реализации данного метода. Полученные на выходе устройств частотно-пространственные спектры могут использоваться непосредственно или с переводом их к пространственно-временному виду. В последнем случае требуется дополнительно N блоков БПФ и N БЗУ. Недостатком данных технических решений являются сложность конструкции и большой объем вычислительных затрат. В данной работе предлагается использовать свойство комплексной огибающей для повышения эффективности пространственной фильтрации путем сокращения вычислительных затрат и снижение сложности устройства.

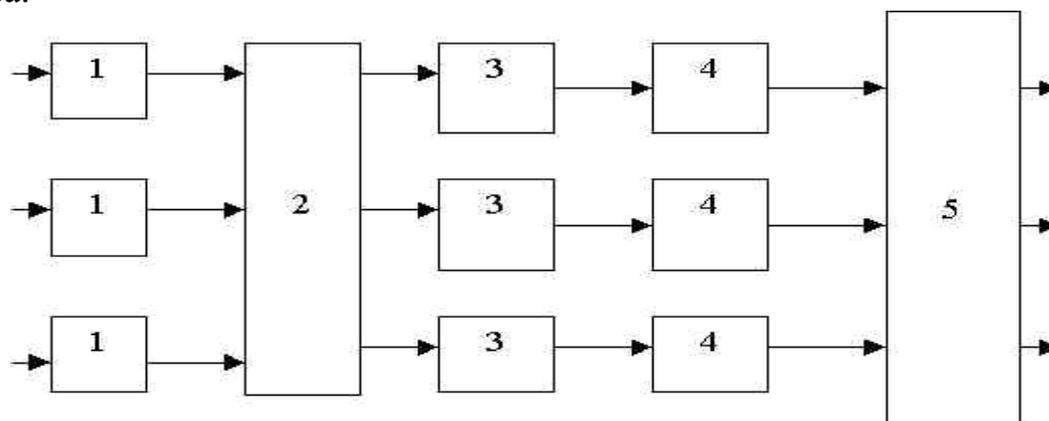


Рис. 1. Цифровой пространственный фильтр, где обозначены: 1- приемники; 2 - многоканальный АЦП; 3 - БЗУ; 4 - вычислитель БПФ; 5 – блок управления и формирования характеристики направленности с использованием многоканального БПФ

Эффективность

Известно, что частота дискретизации входного сигнала должна быть вдвое выше его верхней частоты [2].

В тоже время вся информация о входном сигнале содержится в его комплексной огибающей, наибольшая частота которой значительно меньше несущей частоты.

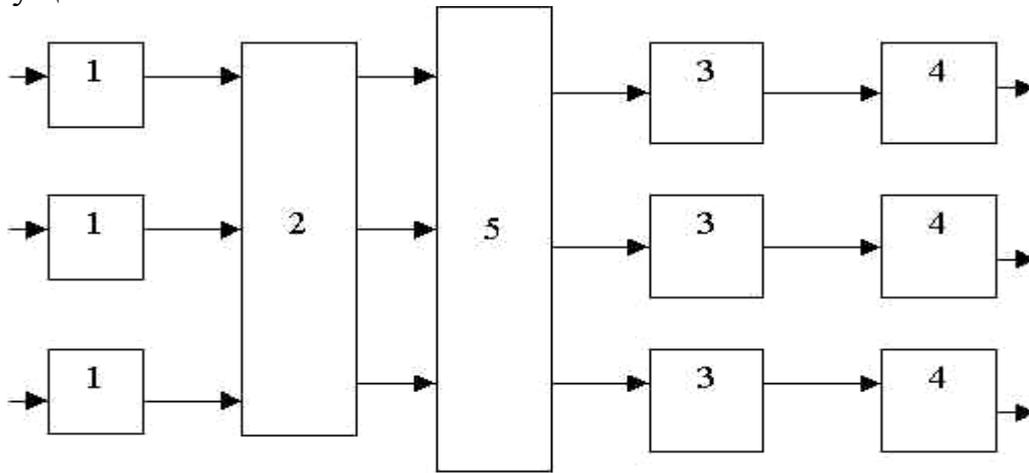


Рис. 2. Цифровой пространственный фильтр, где обозначены: 1- приемники; 2 - многоканальный АЦП; 3 - БЗУ; 4 - вычислитель БПФ; 5 – блок управления и формирования характеристики направленности с использованием многоканального БПФ

Частота дискретизации комплексной огибающей амплитудно-модулированных гармонических сигналов выбирается равной ширине полосы спектра входного сигнала, что значительно меньше частоты дискретизации входного сигнала. Это позволяет сократить вычислительные затраты. Так, например, алгоритм БПФ требует проведения числа вычислений, пропорционально $n \cdot \log_2 n$, где n – объем выборки [3]. Для оценки снижения вычислительных затрат воспользуемся тем, что частота дискретизации уменьшилась в $\left(\frac{2 \cdot f_0}{w} + 1\right)$ раз [3], тогда выигрыш составит

$$\eta = \frac{K \cdot \log_2 n}{\log_2 \left(\frac{1}{K+1} \right) + \log_2 n}, \quad (1)$$

где $K = (2 \cdot f_0 / w)$ - нормирующий коэффициент;

f_0 - верхняя частота спектра входного сигнала;

w - верхняя частота спектра комплексной огибающей входного сигнала.

Однако известно, что оператор формирования комплексной огибающей в общем случае не коммутирует с оператором задержки, при этом задержка является основным оператором формирования отклика (характеристики направленности) антенны. Физически это означает, что конечный результат будет разным, если сначала сформировать комплексную оги-

бающую, а затем выполнить операцию его сдвига, или сначала выполнить операцию его сдвига, а затем сформировать его комплексную огибающую [4]. Это свойство некоммутативности операций формирования комплексной огибающей не позволяло использовать её для формирования отклика (характеристики направленности) антенны. Поэтому операторы вычисления комплексной огибающей не нашли применения, о чем свидетельствует Л.К. Самойлов в своей монографии [1].

На рис. 3 изображена структурная схема устройства цифрового формирования отклика приемной антенны, где обозначены:

- 1 - приемники; 2 - комплексные демодуляторы; 3 - многоканальный АЦП;
- 4 - многоканальный БЗУ; 5 - многоканальный вычислитель БПФ; 6 - блок управления; 7 - генератор опорных сигналов; 8 - фазовращатель.

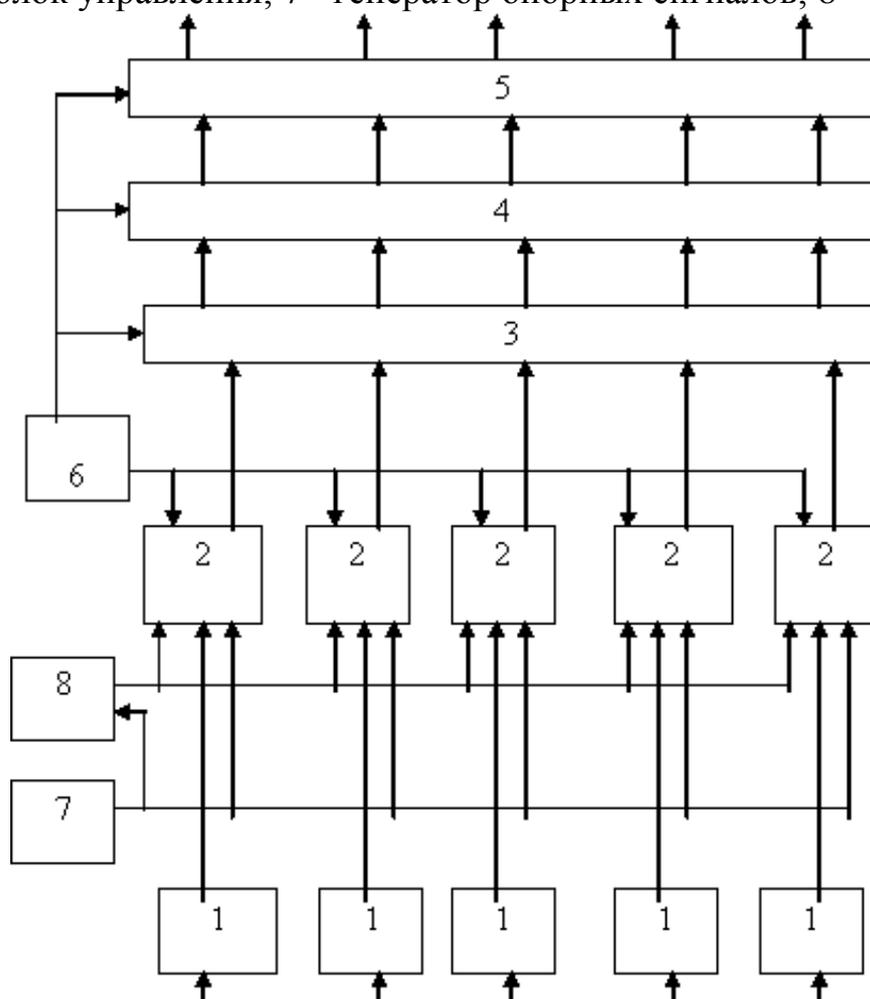


Рис. 3. Устройство цифрового формирования отклика антенны

Применение предлагаемого устройства обеспечивает требуемое для практики сокращение вычислительных затрат (см. формулу (1)) и уменьшение сложности устройства (сокращается количество сложных узлов –

вычислителей БПФ). С увеличением частоты несущей относительно ширины полосы спектра принимаемого сигнала эффективность заявляемого устройства увеличивается в соответствии с выражением (1) и составит 37 и более раз.

Преимущество такого построения пространственного фильтра особенно наглядно проявляются при необходимости наращивания числа пространственных каналов (например, до нескольких тысяч в ААР) аппаратуры наблюдения, а также при обработке высокочастотных сигналов (например, в диапазоне станций целеуказаний) совокупный выигрыш составит несколько порядков.

Заключение

Применение рассмотренных в работе технических решений позволит построить активные антенные решетки при существенном снижении вычислительных, массогабаритных и финансовых затрат, что позволит ликвидировать имеющееся отставание современной отечественной транспортной радиоэлектронной аппаратуры от американской и повысить конкурентоспособность экспортных самолетов, вертолетов и других объектов.

Список использованных источников

1. Самойлов Л.К. Электронное управление характеристиками направленности антенн. - Л.: Судостроение, 1987. – 280 с.
2. Справочник по гидроакустике/ А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, Е.А. Корепин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
3. Гольд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов / Под ред. Трахтмана А.М.. – М.: Сов. Радио, 1973.- 204 с.
4. Найт У.С., Придэм Р.Г., Кей С.М. Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах// ТИИЭР. 1981. Т. 69.№11. с. 84-156.