



# Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи

В.И. Слюсар, г. Киев

В последнее время за рубежом активно обсуждают проекты цифрового формирования диаграмм направленности (ДН) антенн с помощью так называемых цифровых антенных решеток (ЦАР). От традиционных фазированных ЦАР отличаются установкой аналого-цифровых (цифро-аналоговых) преобразователей в каждом приемном (передающем) канале с формированием требуемых ДН в цифровом виде с помощью спецвычислителя (рис. 1 и 2). При этом процесс диаграммообразования фактически сводится к взвешенному суммированию цифровых отсчетов напряжений сигналов.

В радиосвязи ЦАР имеют бесспорные преимущества по сравнению с традиционными антеннами. Прежде всего следует отметить возможность достижения высокой помехозащищенности линий связи, устойчивого их функционирования при многолучевом распространении радиоволн и воздействии активных помех искусственного происхождения.

Среди концепций реализации цифрового диаграммообразования в перспективных системах связи представляет интерес проект быстро развертываемой радиосети RDRN (Rapidly Deployable Radio Network) [1]. В его рамках предусмотрена разработка, демонстрация и экспериментальная проверка новой технологии

мобильной, оперативно развертываемой системы радиосвязи для применения в районах боевых действий или стихийных бедствий.

Указанный проект инициирован Управлением перспективных исследований (DARPA) Министерства обороны США и осуществляется как часть программы Global Mobile Information Systems (GloMo) лабораторией беспроводных коммуникаций и цифровой обработки сигналов (WDSP) Канзасского университета. Уже завершено изготовление и тестирование радиоприемников и цифровой диаграммообразующей схемы (ДОС) передатчика RDRN с рабочей полосой частот 1,24–1,3 ГГц.

Основными компонентами RDRN, помимо стационарных элементов, являются два типа мобильных узлов: удаленные узлы (Remote Nodes, RNs), обеспечивающие беспроводный ATM-доступ к конечным пользователям, и краевые узлы (Edge Nodes, ENs), которые обслуживают как доступные радиоточки, так и локальные вычислительные ATM-сети.

Все узлы используют полученную по спутниковой системе GPS информацию о взаимном расположении на местности. При этом согласно проекту расстояние от краевого до удаленного узла может составлять несколько десятков километров.

Архитектурно RDRN состоит из двух подсетей. Первая, именуемая orderwire-сетью, имеет узкую полосу частот с несущей 430 МГц и пропускной способностью 19,2 кб/с, а также обычные всенаправленные антенны. Она предназначена для передачи информации о конфигурации сети, местоположении узлов, и управления их компоновкой. Orderwire-сеть управляет работой другой, высокочастотной подсети (так называемой WATM-сети), которая использует технологию цифрового диаграммообразования и обеспечивает двучточечную связь между EN- и RN-узлами.

Наличие двух подсетей обусловлено начальной неопределенностью положения абонентов и удаленных узлов, что приводит к необходимости предварительной ориентации парциальных лучей цифровой диаграммообразующей схемы (ДОС) в заданных направлениях. Однако это является узким местом системы, поскольку при воздействии активных помех по низкочастотному каналу orderwire-сети возможен выход из строя соответствующего сегмента RDRN (отстройка от помех при используемом типе антенн невозможна).

Поэтому предпочтительнее было бы использовать многолучевость ДОС ЦАР, транслируя все координаты и управляющие сигналы через ту же антенную решетку. По всей видимости, такое решение будет воплощено на конечной стадии данного проекта. В первоначальном же его варианте цифровое диаграммообразование реализовано только на передачу, в то время как на прием каждый узел работает через ненаправленную антенну с частотным разделением каналов. В дальнейшем планируется также изучить возможность формирования в цифровом виде и приемных многолучевых ДН.

В качестве антенны в проекте выбрана конформная цилиндрическая ЦАР, состоящая из полосковых излучателей (рис. 3). При этом разработчики отказались от альтернативного варианта многосекционной кубической решетки, посчитав его более дорогостоящим и технически сложным. В реализованном прототипе RDRN предусмотрено одновременное формирование цифровым способом до четырех парциальных лучей с обеспечением множественного доступа с временным разделением каналов в пределах каждого луча. При этом обеспечивается работа как минимум двух пользователей на луч.

Время диаграммообразования в режиме передачи составляет всего 100 нс. Пропускная способность для прототипа системы составляет 1 Мб/с. Для двухточечной связи краевых узлов в пер-

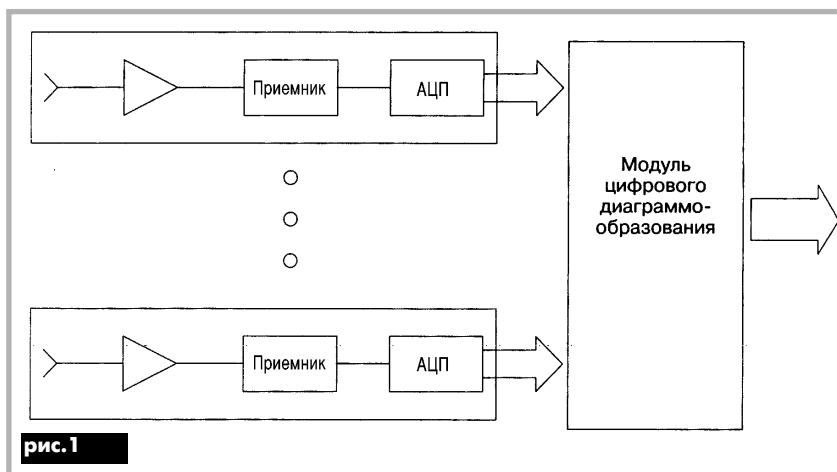


рис. 1

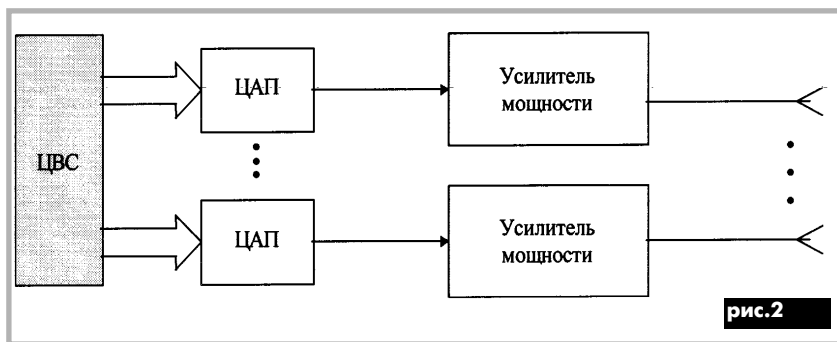


рис. 2

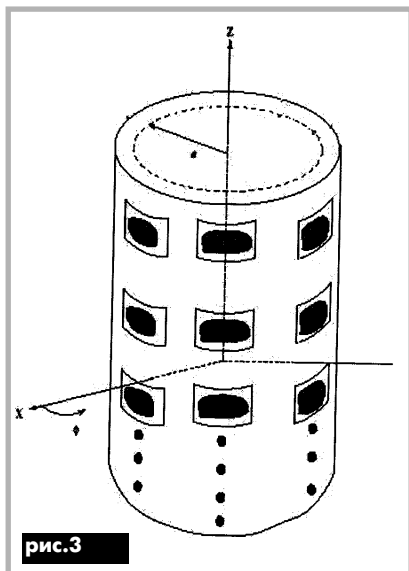


рис.3

спективе можно увеличить пропускную способность до 10 Мб/с.

Использование адаптивных приемопередающих ЦАР, по мнению разработчиков проекта, позволяет реализовать одновременный прием множества сигналов в широком пространственном секторе с последующим измерением параметров каждого из них. Цифровое суммирование сигналов при такой пространственно-временной обработке обеспечивает наращивание мгновенного динамического диапазона до величин, принципиально недостижимых в аналоговой технике. Это является предпосылкой для реализации высокой помехозащищенности [2]. (Например, в ультразвуковой ЦАР достигнут динамический диапазон 150 дБ, а в гидроакустической ЦАР [3] – около 200 дБ).

Высокой помехоустойчивости систем связи с ЦАР способствует также цифровое формирование высокоидентичных частотных фильтров в приемных каналах с предельно малым разбросом их амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик.

Как отмечено в [4], ЦАР является более совершенной пространственно-избирательной системой, в которой предельно полно можно реализовать адаптивные методы обработки сигналов. С помощью ЦАР возможно проведение программной реконфигурации радиосетей с устойчивым сопровождением движущихся потребителей отдельными лучами ДН (рис.4).

В результате создаются условия для эффективного решения таких сложных задач, как: подавление мешающих сигналов, возникающих вследствие многолучевого распространения радиоволн, а значит, существенное снижение глубины замираний; повышение интенсивности полезных сигналов за счет ориентации максимумов ДН антенны в направлениях источников сообщений, в том числе движущихся;

улучшение отношения сигнал/помеха путем формирования глубоких "провалов" ДН в направлениях источников мешающих сигналов (рис.5);

максимальное использование отведенной полосы частот за счет работы множества абонентов на одной и той же несущей при пространственном разnose потребителей сообщений,

решение проблемы электромагнитной совместимости.

Относительно технических деталей реализованного прототипа радиосети, следует обратить внимание на то, что в качестве аппаратуры обработки на удаленных узлах использовали портативные ЭВМ Toshiba Tecra 700CT с тактовой частотой процессора 120 МГц, к которым подключали модули с PCI-расширением.

На первом этапе исследований прототипа RDRN проверена возможность взаимодействия RN-узлов по сети Internet с реализацией протоколов TCP/IP, доступа по ftp, telnet, видео- и телеконференций. Отработано основное программное обеспечение, работающее в операционной системе Linux. При этом в алгоритмах обработки сигналов для простоты не учитывалось взаимное влияние каналов ЦАР.

Среди других разработок, предусматривающих реализацию технологии цифрового диаграммообразования в системах мобильной связи, необходимо указать проект TSUNAMI (Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Mobile Infrastructure), осуществляемый консорциумом фирм во главе с ERA Technology Ltd (Великобритания) [4].

К настоящему времени в рамках проекта изготовлен и опробован демонстратор восьмиканальной ЦАР с преобразованием сигналов на промежуточную частоту. При этом в отличие от RDRN изначально была заложена возможность цифрового диаграммообразования как

на прием, так и на передачу в диапазоне частот 1710 – 1880 МГц.

Среди многочисленных технологических новшеств, нашедших применение в проекте, заслуживает внимания схемное решение передающей ЦАР, базирующееся на цифровом диаграммоформирователе DBF 1108 от ERA Technology. Согласно [4], каждое такое устройство способно обрабатывать сигналы с выходов антенной решетки, содержащей до 128 каналов, проводя вычисления в комплексной форме с темпом синтезирования ДН антенны 250 нс.

В ходе полевых испытаний проекта TSUNAMI были подтверждены основные преимущества цифровых адаптивных антенн, такие как увеличение дальности передачи, снижение влияния замираний, эффективное подавление помех.

Цель второго, трехлетнего, этапа работ (TSUNAMI-2) – развертывание адаптивной антенны в составе действующей базовой станции сотовой связи DCS-1800 и проверка качества сопровождения подвижных источников сообщений при воздействии помех для отработки элементов мобильных систем связи третьего поколения UMTS.

Специалисты расценивают полученные к настоящему времени результаты как обнадеживающие. Всестороннюю апробацию прошла система цифровой калибровки антенной решетки, устраняющей неизбежные технологические разбросы в параметрах отдельных каналов и антенных элементов. В качестве процедуры обработки использовался известный в спектральном оценивании метод MUSIC [5], являющийся по своим характеристикам отнюдь не самым лучшим. При этом мобильный адресат устойчиво сопровождался на фоне помехового сигнала вплоть до углового расстояния между ними, равного полуширине главного луча цифровой ДН. В целом испытания подтвердили улучшение качества связи по сравнению с одиночной антенной.

В заключение следует отметить, что несмотря на всю свою экзотичность, рассмотренные здесь проекты наглядно подтверждают тезис о том, что именно реализации концепции цифрового диаграммообразования суждено стать основой для построения глобальных систем радиосвязи в XXI веке. Высокая технологическая и теоретическая готовность соответствующих разработок делает их широкомасштабное внедрение вопросом ближайших 10 – 15 лет.

#### Литература

1. <http://www.iitc.ukans.edu/RDRN/Overview.html>
2. <http://www.atl.com/news/>
3. <http://www.primenet.com/~trisy/>
4. <http://www.era.co.uk/tsunami/tsunami2.htm>
5. Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения/ Пер. с англ.- М.: Мир, 1990.- 584 с.

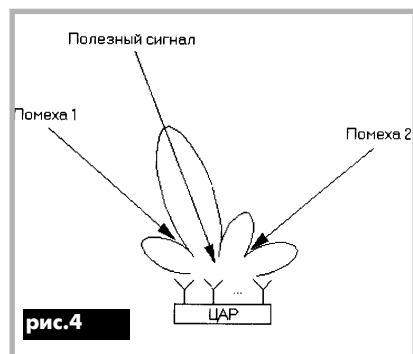


рис.4

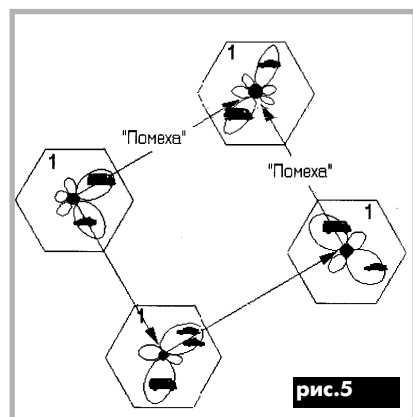


рис.5