

ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ:


Будущее рождается сегодня

Технологии цифровой обработки сигналов играют определяющую роль в современных системах связи. Цифровое диаграммообразование (ЦДО), или формирование диаграммы направленности системы цифровыми методами, – одна из наиболее значимых среди них. Данная технология уже стала базовой в перспективных радиолокационных системах [1, 2] и ультразвуковом диагностическом оборудовании [3]. Но в области мобильной связи ее внедрение несколько задержалось. Однако в последние годы, вследствие развития вычислительной техники, возник бум в проектировании связных систем с цифровым формированием луча.

Достоинства систем с цифровым диаграммообразованием известны достаточно хорошо [1, 3]. Но в связных задачах традиционные преимущества этой технологии приобретают определенную специфику. Так, в антенных решетках базовых станций сотовых сетей ЦДО значительно повышает помехоустойчивость мобильных телекоммуникаций [4, 5]. Ведь известно, что производительность цифровых систем связи резко снижается из-за межсимвольных помех, ошибочных бит, а также из-за фединга (замирания) мощности не совпадающих по фазе сигналов, пришедших от множества переотражателей. Благодаря ЦДО работа радиоканалов при многопутном распространении радиоволн впервые в истории связи становится надежной.

Выбор частотных планов в сотовых сетях серьезно ограничивают межканальные помехи – одновременное попадание сигналов от нескольких передатчиков с близкими значениями несущих на входы приемников. Гибкое управление ориентацией и количеством провалов в цифровых диаграммах направленности (ДН) для режекции помех снимает эту проблему, и на территории действия сотовой сети резко сужаются зоны неустойчивого приема, а дальность эффективной работы базовых станций возрастает на 20–200% в зависимости от природных условий, аппаратных средств и программного обеспечения. Ожидается, что такое расширение зоны покрытия устойчивой связью компенсирует затраты на реализацию систем с ЦДО и даже позволит снизить цены на услуги связи [6].

ЦДО обеспечивает прецизионную селекцию сигналов по направлению прихода, в том числе в пределах одного луча ДН. В результате возрастают число работоспособных каналов и емкость сети. Продвинутое системы с адаптивными цифровыми антенными решетками (ЦАР) позволяют множеству пользователей работать на од-



ном частотном канале за счет учета их пространственного разнесения. Благодаря "интеллектуальной" антенной системе (Smart Antenna) базовые станции могут формировать "заказные" лучи приема/передачи сигналов персонально для каждого мобильного пользователя. При этом в реальном масштабе времени синтезируется модель окружающей среды, учитывающая взаимное положение абонентов и источников помех, на основе которой строится стратегия приема/передачи.

В. Слюсар

Среди проектов ЦДО в системах мобильной сотовой связи прежде всего отметим TSUNAMI [4, 5] и RDRN [5]. В рамках первого этапа проекта TSUNAMI (Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Mobile Infrastructure) консорциум фирм во главе с ERA Technology (Великобритания) [4] изготовил и испытал демонстратор приема-передающей восьмиканальной ЦАР в частотном диапазоне 1710–1880 МГц. По завершении в 1999 году второго этапа (TSUNAMI-II) система с адаптивной ЦАР работала в составе базовой станции действующей сотовой связи стандарта DCS-1800 в районе Бристоля. Проверка качества сопровождения мобильных абонентов при воздействии стационарных источников помех подтвердила преимущества технологии цифрового формирования луча.

В проекте TSUNAMI использован специализированный модуль цифрового диаграммообразования DBF 1108 компании ERA Technology, позволяющий обрабатывать комплексные выходы 128 каналов с временем синтезирования диаграммы направленности ЦАР 250 нс. Испытания показали необходимость тщательно выдерживать идентичность амплитудно- и фазочастотных характеристик каналов ЦАР. Так, разброс коэффициентов усиления каналов 0,5 дБ при фазовой ошибке 3 не позволяет подавить помеху в восьмизлементной решетке более чем на 30 дБ [7].

В эксперименте по устойчивому сопровождению мобильного корреспондента на фоне помех требуемое качество связи сохранялось лишь при угловых расстояниях между адресатом и источником помехи свыше половины ширины главного луча ДН (заданные в эксперименте отношения сигнал/шум теоретически допускали угловые расстояния менее четверти ширины луча). Столь скромные результаты объясняются недостаточной идентичностью характеристик приемных каналов, отсутствием учета их взаимного влияния, а также тем, что при спектральной обработке сигналов использовали известный метод MUSIC* [5, 8].

* Метод MUSIC неудовлетворительно работает при наличии нескольких когерентных (коррелированных) источников – как при многопутном распространении радиоволн. Резко отрицательно на его функционировании сказываются корреляция полезных сигналов и шумов, разброс характеристик приемных каналов антенной решетки и их взаимное влияние. На это указано, например, в работе А. Manikas и др. Evaluation of Superresolution Array-Techniques as applied to Coherent Sources. – <http://skynet.ee.ic.ac.uk/papers/AM97IJE.pdf>.

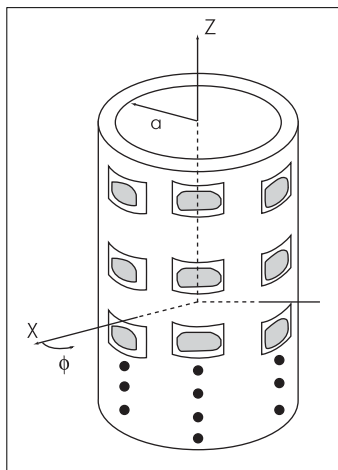


Рис. 1. Передающая всенаправленная антенна проекта RDRN

Проект RDRN (Rapidly Deployable Radio Network) инициировалось Управлением перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DARPA). В рамках проекта лаборатория беспроводных коммуникаций и цифровой обработки сигналов (WDSP) Канзасского университета (США) занимается разработкой, демонстрацией и экспериментальной проверкой технологии ЦДО для быстро развертываемых радиосетей, рассчитанных на применение в районах боевых действий и иных чрезвычайных ситуаций.

В проекте RDRN, в отличие от TSUNAMI, ЦДО реализовано только на передачу и в полосе рабочих частот 1,24–1,3 ГГц с перспективой перехода на 5,3–5,8 ГГц. ДН формируется с помощью сложного набора весовых коэффициентов, время диаграммообразования – 100 нс.

Передающая всенаправленная антенна представляет собой цилиндрическую ЦАР с вертикально расположенными восьмиэлементными линейками прямоугольных излучателей (рис. 1). Альтернативная многосекционная кубическая ЦАР была отвергнута из-за дороговизны и сложности реализации. В изготовленном прототипе RDRN предусмотрено одновременное формирование в цифровом виде до четырех парциальных лучей ЦАР и обеспечен множественный доступ посредством временного разделения каналов в пределах каждого луча. В результате с одним парциальным лучом могут работать минимум два пользователя.

В схеме общей компоновки системы RDRN (рис. 2) помимо стационарных элементов можно выделить два типа мобильных узлов: удаленные (Remote Nodes, RNs), обеспечивающие радиокontakt с конечными пользователями по стандарту ATM, и краевые (Edge Nodes, ENs), обслуживающие связь стационарных элементов с удаленными узлами. Допустимое расстояние от краевого до удаленного узла – несколько десятков километров.

Функционально система RDRN включает две подсети. Первая – Orderwire Net – предназначена для управления компоновкой и режимами работы узловых подсистем. Она же передает информацию о местоположении узлов на основе данных от спутниковой системы позиционирования GPS. Эта подсеть основана на традиционных всенаправленных антеннах и работает в узкой полосе с несущей 430 МГц и пропускной способностью 19,2 Кбит/с. Фактически она управляет работой другой, высокочастотной подсети. Эта так называемая WATM-сеть базируется на технологии ЦДО и обеспечивает двухточечную связь между краевыми и удаленными узлами с пропускной способностью 10 Мбит/с. Такая организация системы RDRN вызвана тем, что местоположение сетевых элементов узлов – неопределенное априори, поэтому для максимизации отношения сигнал/шум необходима предварительная ориентация лучей цифровых ДН.

Сеть Orderwire – достаточно узкое место проекта RDRN: используемый в ней тип антенн уязвим для активных помех, и постановка преднамеренных помех позволяет нарушить работоспособность сегментов RDRN-сети. Но в принципе, подсеть WATM – самодостаточная структура, и при умелом использовании многолучевых ЦАР позволяет транслировать координаты узлов через ту же антенную решетку, что и основной информационный поток.

Еще один серьезный недостаток проекта – прием сигналов WATM-сети через ненаправленные антенны с частотным разделением каналов. Поэтому разработчики системы изучают возможность ЦДО многолучевых диаграмм направленности и в антеннах WATM-приемников [5].

В ходе испытаний специалисты Канзасского университета подтвердили способность прототипа RDRN к сквозному взаимодействию с другими сетями проекта GloMo (Global Mobile Information Systems) по протоколу TCP/IP. Развитие концепции RDRN отражено на сайте www.ittc.ukans.edu/RDRN.

По большому счету, проекты TSUNAMI и RDRN – лишь первые, хотя и довольно успешные попытки практического освоения технологии цифровых антенных решеток. Они позволили выявить обширный круг проблем, без решения которых применение ЦДО малоэффективно. И вопросов здесь пока больше, чем ответов. Не случайно еще задолго до завершения TSUNAMI-II компания ERA Technology инициировала новый, более продвинутый проект "Солнечный луч" – SUNBEAM (Smart UNiversal BEAMforming) [7].

Основная цель SUNBEAM – отработка вопросов ЦДО в широкой полосе частот с возможностью полной мультистандарной поддержки протоколов связи. В частности, если в проекте TSUNAMI-II эта технология интегрирована в систему стандарта DCS 1800, SUNBEAM ориентирован на поддержку более широкополосных протоколов UMTS (Universale Mobile Telephone Service) с полосой частот до 5 МГц. Такая нацеленность проекта сразу же потребовала пересмотра традиционных подходов к построению приемопередающих средств и привела к выбору основополагающей концепции программно реконфигурируемых радиомодулей Software Radio (SR).

Идеализированная структурная схема типовой архитектуры Software Radio представлена на рис. 3. Процессор цифровой обработки сигналов (DSP) программно реализует гибко перестраиваемые схемы модуляции, протоколы обработки сигналов в режимах приема и передачи данных и т.п. Широкополосный "идеальный" циркулятор "прием-передача" тщательно согласован с антенной, усилителем мощности в режиме передачи и входом аналого-цифрового преобра-

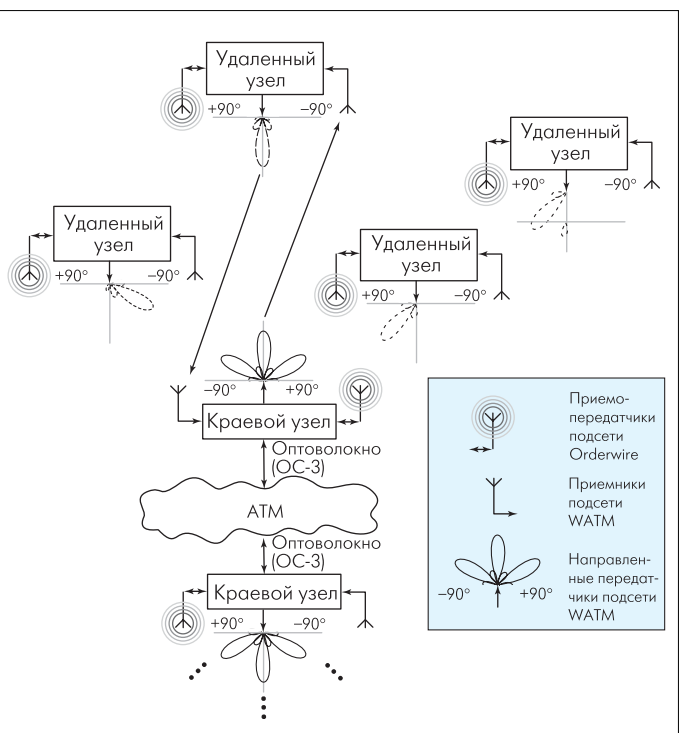


Рис. 2. Схема общей компоновки системы RDRN

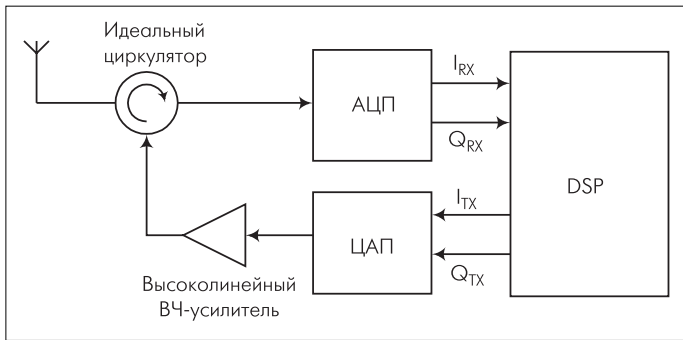


Рис. 3. Идеализированная структурная схема типовой архитектуры Software Radio

зователя (АЦП) – в режиме приема. Он должен заменить традиционные для радиосвязи диплексоры, рассчитанные на фиксированную частоту несущей. При переходе к многостандартной широкополосной связи с мультислотными несущими диплексоры неприменимы. Суперлинейный усилитель обеспечивает необходимое усиление сигнала при низкой эмиссии мощности в соседние каналы.

Основные требования к техническим характеристикам базовой станции с архитектурой Software Radio

Рабочий диапазон частот	100–2200 МГц (перекрывает диапазон несущих PMR, сотовой, мобильной, спутниковой связи и UMTS)
Динамический диапазон приемника	0–120 дБ
Излучаемая мощность	25 Вт на каждую несущую
Развязка соседних каналов по мощности	-75 дБ
Подавление помех по зеркальному каналу приемника	-60 дБ
Полоса частот сигналов	5 МГц (для UMTS); предусмотрена возможность расширения до 10 МГц для японской системы связи третьего поколения

К характеристикам идеальной базовой станции с SR-архитектурой и ее основным узлам специалисты выдвигают достаточно жесткие требования (см. выше). Так, антенная решетка, образованная вертикальными подмассивами излучателей, должна иметь азимутальное ЦДО и полосу пропускания более пяти октав с потерями коэффициента усиления 0 дБ во всем диапазоне. В циркуляторе необходим достаточный уровень развязки во всей полосе рабочих частот. При частоте входного сигнала до 2,2 ГГц требуется 20-рядный АЦП с частотой дискретизации 20 МГц (в четыре раза превышает ширину спектральной полосы сигналов). К слову сказать, такого рода АЦП пока еще только разрабатываются [9].

Аналоговый фильтр на входе АЦП должен обеспечивать подавление сигналов на краях полосы 15 МГц до уровня -60 дБ на всех несущих. Реализация такого полосового фильтра с возможностью настройки в диапазоне от 100 МГц до 2,2 ГГц – также трудноразрешимая проблема. Потому в обозримом будущем системы с архитектурой SR смогут работать лишь при снижении номинала несущей посредством цифрового синтезирования.

Необходимая разрядность ЦАП – 14 бит с частотой выборки 20 МГц. При этом после ЦАП следует увеличить номинал несущей и усилить мощность сигналов. Идентичность характеристик при-

емных каналов должна быть не хуже 0,3 дБ по коэффициенту усиления и 3° по фазе.

DSP поддерживает функции демодуляции/детектирования сигналов, быстрой АРУ (например, методами упреждения), компрандирования голосовых сообщений, коррекции ошибок в данных и др. Но поскольку реализация на традиционных DSP строго синхронной обработки сигналов в многоканальных решетках достаточно сложна, предпочтительнее использовать программируемые матрицы логических элементов типа FPGA, например фирмы Xilinx.

Большинство изложенных требований – ориентир на отдаленную перспективу. Задача же проекта SUNBEAM – поиск более рациональных архитектурных решений и возможности уже в ближайшие годы снизить требования к базовым станциям для внедрения технологии ЦДО.

В соответствии с этой концепцией предложен цифровой приемный модуль однополосной системы связи с ЦДО (рис. 4) [7]. Отметим, что если для передающих средств требование линейности достаточно ново, то приемники с высоколинейной передаточной характеристикой – необходимый элемент всех современных связных систем, в том числе с частотной модуляцией. Поэтому переход от стандартного приемника к приемному каналу версии SUNBEAM проще, чем для передатчика, и в основном сводится к изменению операций детектирования сигналов и каскадов АРУ. В альтернативной схеме цифрового приемника (рис. 5) DSP дополнительно производит расквадратурирование сигналов без паразитного постоянного смещения и частотную коррекцию для компенсации ухода частоты гетеродина.

Для сравнительно узкополосных приложений с ЦДО притягательна архитектура приемника прямого преобразования (рис. 6). Она достаточно проста (требуется лишь один сигнал гетеродина, исключен фильтр промежуточной частоты), а следовательно, потенциально очень дешевая. Предусмотренная в ней селекция каналов связи посредством цифровой фильтрации в DSP квадратурных составляющих сигналов точнее аналоговых прототипов.

Однако архитектуру приемников прямого преобразования используют сегодня достаточно ограниченно, что связано с рядом проблем. В частности, прецизионное расквадратурирование сигналов должно быть широкополосным и не нуждаться в настройке. Кроме того, чувствительность приемника серьезно ограничена возможностью появления сигнала смещения постоянного тока в центре спектральной полосы, а его трудно устранить в большинстве модуляционных форматов. Постоянная составляющая присутствует в спектре принятых сигналов и из-за слабой развязки между гетеродином и антенной в эфир транслируется гетеродинирующий сигнал.

При переходе к широкополосной связи проблемы реализации приемника SR-архитектуры значительно возрастают. Так, существенно ужесточаются требования к динамическому диапазону и частоте дискретизации АЦП. Затруднена или даже невозможна предварительная фильтрация радиосигналов, поскольку фильтр должен

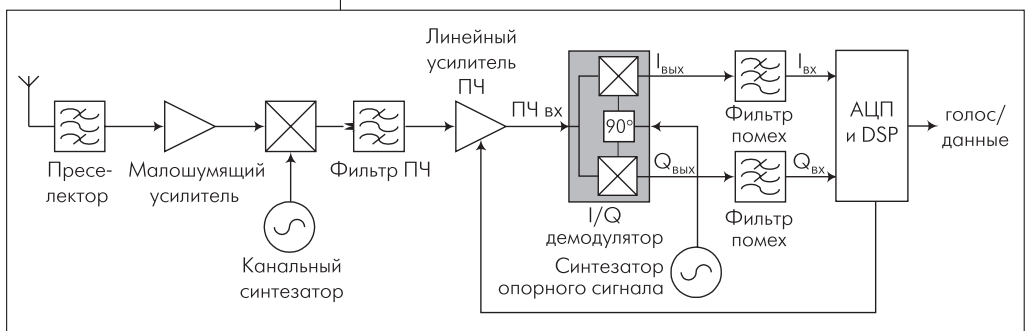


Рис. 4. Цифровой приемный модуль однополосной системы связи с ЦДО

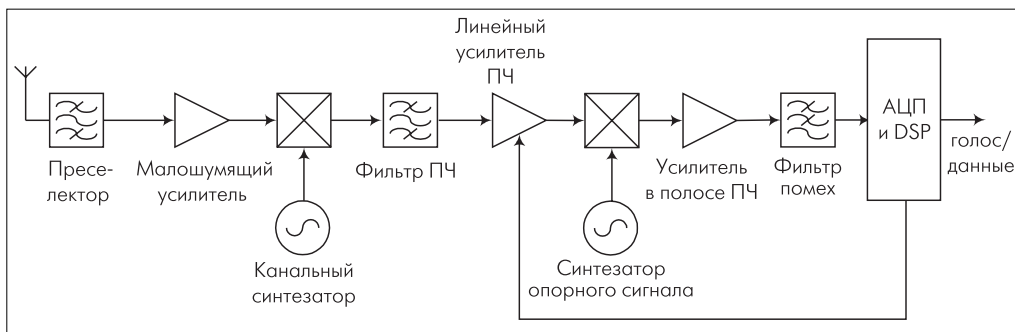


Рис. 5. Альтернативная схема цифрового приемника проекта SUNBEAM

быть настроен на все представляющие интерес диапазоны частот. Применение набора переключаемых фильтров приводит к чрезмерному увеличению массогабаритных показателей.

Один из подходов к решению данной задачи в рамках проекта SUNBEAM иллюстрирует приемник, показанный на рис. 7. Основное его отличие от узкополосных схем (см. рис. 4–6) – отсутствие преселекторного фильтра, вместо преселектора помехи по зеркальному каналу должны подавлять смесители антенной решетки. Кроме того, без преселектора на вход малошумящего усилителя (МШУ) и смесителя попадают абсолютно все сигналы из антенного элемента. Следовательно, МШУ и смеситель должны иметь очень высокий линейный динамический диапазон, чтобы избежать перегрузки приемного тракта и искажений полезных сигналов помехами, например от соседних антенн на общей мачте антенной решетки.

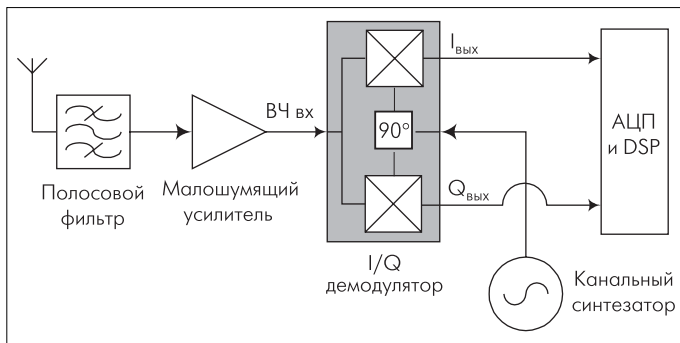


Рис. 6. Архитектура приемника прямого преобразования с ЦДО

Другая особенность универсального мультистандартного приемника (см. рис. 7) – перестраиваемые по частоте фильтры помех (anti-alias) перед АЦП. Помимо своих непосредственных функций они могут селективировать каналы связи, подавлять просачивающиеся в приемник сигналы передатчика, следовательно, значительно уменьшать требуемый динамический диапазон АЦП.

Передающие сегменты широкополосной ЦАР в соответствии с концепцией SR должны передавать сигналы с любым типом модуляции. Это вполне осуществимо, если формировать модулированный сигнал в комплексном виде, по квадратурным составляющим. С учетом этого условия, в рамках SUNBEAM предложены схемы одноканального передатчика с линейным усилителем мощности (рис. 8а) и с линеаризованной характеристикой (рис. 8б). В первом варианте используется преобразование с повышением частоты и усиление мощности ре-

зультирующего сигнала непосредственно на частоте несущей. Обе операции должны быть предельно линейными. Сигналы перед подачей на вход передатчика такого класса подвергаются неадаптивному предварительному искажению в полосе модулирующих частот.

Передатчик на рис. 8б – это, по сути, система с корректируемой обратной связью. Линейный

выходной сигнал формируется в ней за счет высококачественной комбинации нелинейных компонентов. На практике такой подход основывается на так называемой Декартовой петле (Cartesian loop) линеаризации (рис. 9). Отличительная ее особенность – обеспечение обратной связи в квадратурных составляющих. Преимущество архитектуры Декартовой петли – возможность линеаризации существенно нелинейных мощных усилителей классов С и АВ. Глубина подавления нелинейных компонент ограничена в основном непредсказуемым рассеиванием мощности сигнала несущей. При этом практические результаты тестирования передатчиков с Декартовой петлей в системах DAMPS и TETRA подтвердили устойчивое достижение глубины подавления нелинейных гармоник на уровне ниже -30 дБ [7].

В принципе, архитектуры передатчиков, изображенных на рис. 8 и 9, применимы и в базовых станциях широкополосной связи с ЦДО. Однако их использование ограничено главным образом из-за проблем с линейным диапазоном каналов в широкой полосе. Поэтому более предпочтительна архитектура, приведенная на рис. 10, особенно с учетом того, что в базовой станции SR-класса частоты каналов, форматы модуляции и ширина диапазона рабочих частот должны динамически реконфигурироваться. Все элементы станции, кроме усилителя мощности (УМ), относительно легко выполнить на стандартной элементной базе. УМ предлагают реализовать на основе метода упреждающей линеаризации (рис. 11). Разработанный в рамках проекта TSUNAMI компанией Wireless Systems (Великобритания) усилитель мощности такой структуры для частоты 1,8 ГГц обеспечивает глубину подавления нелинейных компонент -75 дБ.

Проект SUNBEAM предусматривает анализ одночастотного (однотональная несущая) и многочастотного подходов к построению передающей системы адаптивной ЦАР, являющихся развитием базовой схемы (см. рис. 10). Многочастотный вариант изучается более тщательно, поскольку он обеспечивает мультистандартность и широкополосность системы связи. В многочастотной архитектуре необходима тесная интеграция собственно передатчика с калибровочной

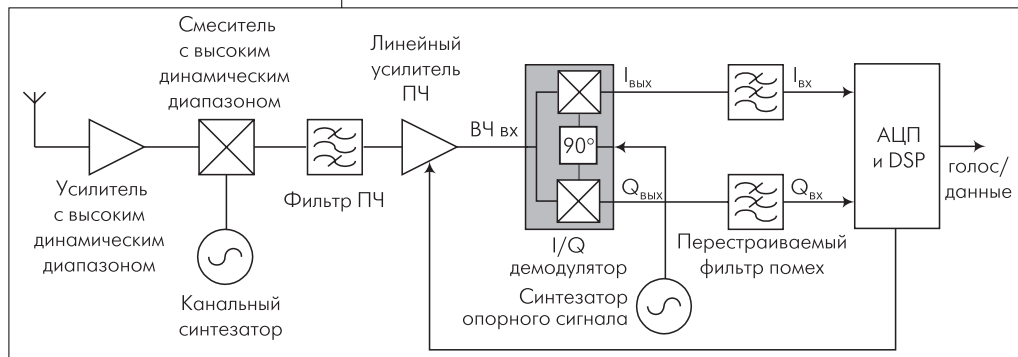


Рис. 7. Широкополосный приемник для систем с ЦДО (проект SUNBEAM)

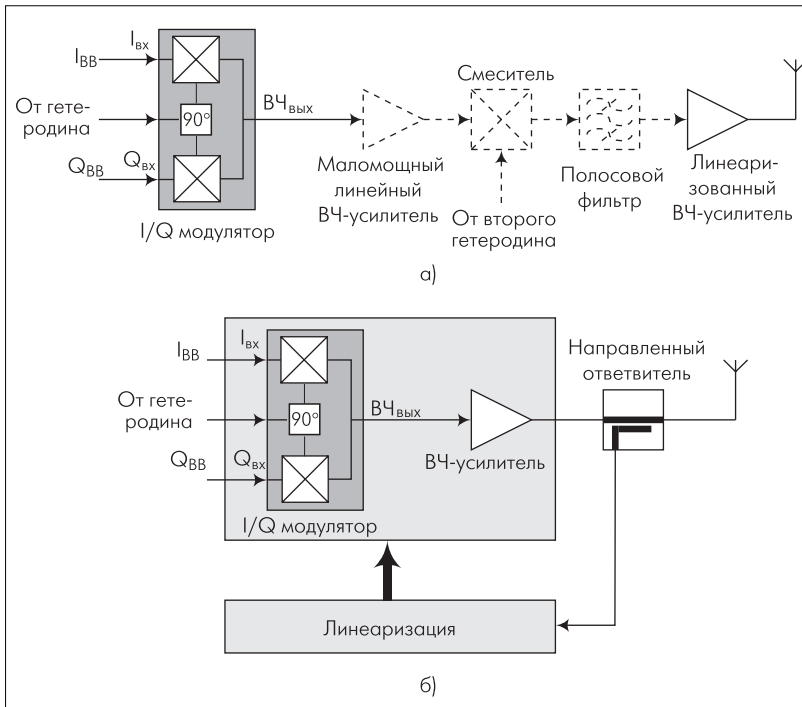


Рис. 8. Одноканальные передатчики с линейным услителем мощности (а) и с линеаризованной характеристикой (б)

системой, аналогичной используемой для выравнивания характеристик приемников. При этом калибровка передатчиков в каждом из частотных диапазонов должна быть независимой, чтобы ошибки установки коэффициентов усиления в передающих каналах ЦАП не превысили 0,3 дБ по мощности, а фазовая погрешность составляла не более 3° во всей рабочей полосе частот. Именно такие показатели обеспечивает метод упреждающей линеаризации, что подтвердили испытания упомянутого усилителя мощности от Wireless Systems. Столь жесткие требования к УМ гарантируют, что даже при изменяющихся режимах эксплуатации базовой станции с ЦАП мощность выходных сигналов будет поддерживаться калибрующей системой на заданном уровне.

Стремление выжить в конкурентной борьбе вынуждает отдельных участников SUNBEAM проводить собственные проекты по освоению технологии ЦДО. Так, Antenna Processing Laboratory – подразделение французской компании Thomson CSF Communications – в кооперации с другими европейскими фирмами разрабатывает адаптивную цифровую антенную решетку для мобильной связи в рамках двухлетнего проекта ADAMO (Adaptive Antenna for MObils) [10]. В качестве антенной решетки для базовой станции создается

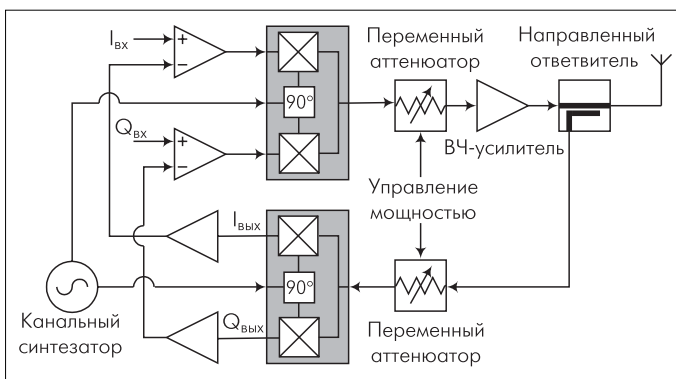


Рис. 9. Схема Декартовой петли линеаризации

шестипанельная ЦАП с четырьмя вертикально расположенными элементами в каждой панели (рис. 12). Ширина луча в азимутальной плоскости – 70° по уровню -3 дБ, коэффициент усиления четырехэлементной панели 30 дБ, уровень первых боковых лепестков не превышает -12 дБ. Уступая по масштабности проекту SUNBEAM, ADAMO ориентирован на более продвинутые стандарты связи HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network) с полосой пропускания 23,5 Мбит/с на канал и центральными несущими 5,2 ГГц (Hiperlan/1) или 17,2 ГГц (Hiperlan/2) [11, 12], которым отводится роль будущего европейского стандарта для высокопроизводительных локальных радиосетей (www.etsi.org). По сравнению с SUNBEAM, ADAMO создает задел на более отдаленную перспективу, поэтому их нельзя противопоставлять друг другу.

Из проектов, непосредственно конкурирующих с TSUNAMI и SUNBEAM, отметим проект SFIR (Spatial-Filtering for Interference Reduction) [13], в рамках которого в 1997–1999 годах вели работы исследовательская группа мобильных коммуникаций технического университета Вены в кооперации с Alcatel Telecom (Штутгарт). Целью проекта была разработка демонстратора адаптивной ЦАП для стандартов GSM/DCS-1800

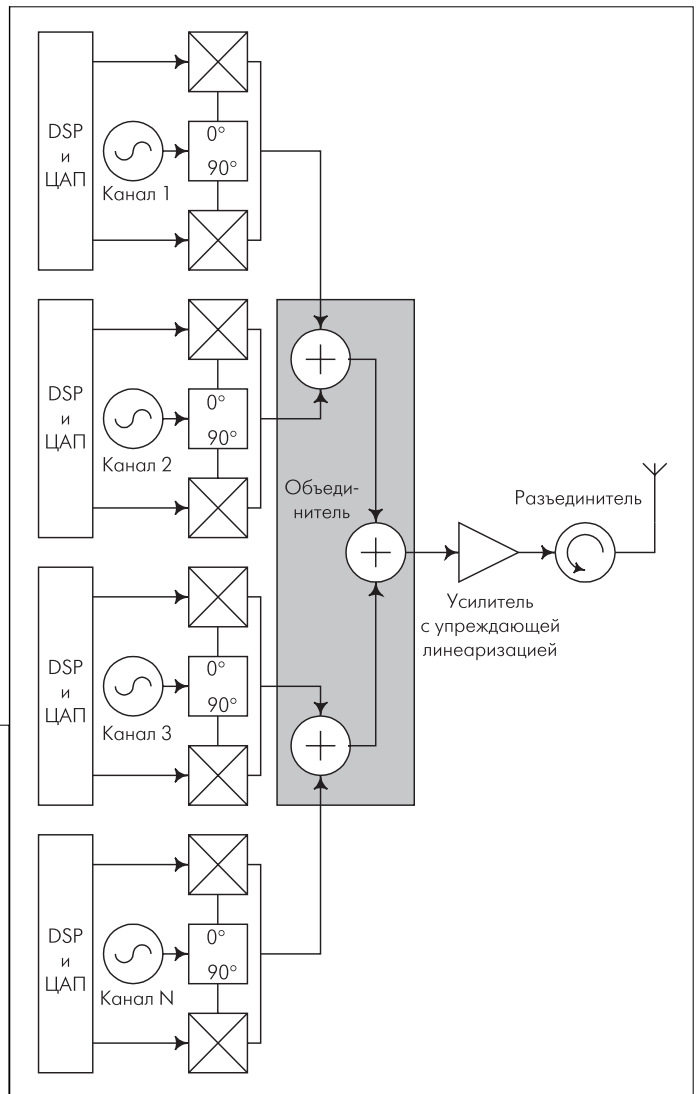


Рис. 10. Широкополосный передатчик для базовых станций класса SR

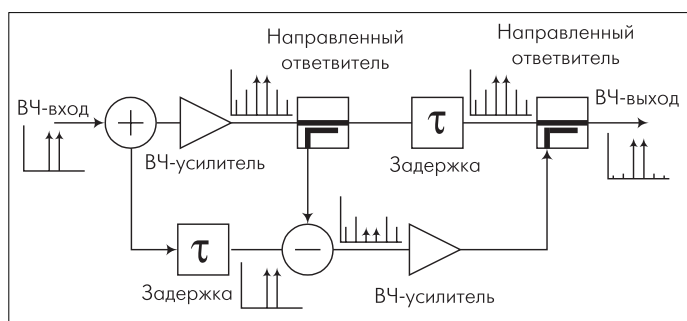


Рис. 11. Метод упреждающей линейризации

и UMTS, в том числе процессора пространственно-временной обработки сигналов в реальном масштабе времени АЗР. Центральная частота рабочего диапазона демонстратора ЦАР – 2,45 ГГц. Антенная решетка представляет собой линейку из девяти полосковых излучателей прямоугольной формы. Среди особенностей обработки сигналов – цифровое расквადрирование, взвешенное цифровое диаграммообразование на прием и передачу сигналов, система цифровой коррекции характеристик приемных каналов в рабочей полосе.

Следует остановиться и на достаточно экзотических проектах использования ЦДО в многоканальных антенных решетках. Это – разработка квазистационарной системы спутниковой связи компании Mitsubishi Electric (Япония) [14] и проект HALO-Network фирмы Angel Technologies Corporation (США) [15] со стратосферной базовой станцией мегаполисной радиосети, размещаемой на специальном самолете Proteus калифорнийской фирмы Scaled Composites.

По проекту Mitsubishi Electric, основу квазистационарной системы связи составят три спутника на эллиптической орбите с апогеем 42000 км и наклоном орбиты 45°. Каждый спутник оснащен плоской активной антенной решеткой S-диапазона (2,6 ГГц) с ЦДО, формирующей 160 узких цифровых лучей, обеспечивающих покрытие всей сухопутной территории Японии с поддержкой до 100 тыс. каналов двухсторонней связи (пять миллионов абонентов). Антенна изготовлена из материала на основе кевлара толщиной 2 мм и плотностью 300 г/м². Ожидаемый размер развернутой ЦАР – 45х45 м. Коэффициент усиления 16-элементного квадратного фрагмента такой антенны 19,3 дБ. Кроме задачи мобильной коммуникации, данная квазистационарная система ориентирована и на персональную связь военного назначения.

По проекту HALO (High Altitude Long Operations), ЦАР должна заменить антенную решетку с механическим вращением полотна, устанавливаемую на барражирующем в стратосфере самолете (рис. 13). Предполагается, что на высоте 18–20 км на круговой траектории диаметром 10–15 км постоянно находится самолет Proteus. Он охватывает услугами широкополосной цифровой связи одновременно сотни тысяч наземных пользователей на площади радиусом 120–150 км (рис. 14). Это – территория большого мегаполиса с близлежащими городами-спутниками. Самолет



Рис. 12. Антенная решетка базовой станции в проекте ADAMO

Proteus изготовлен из легких высокопрочных композиционных материалов и способен летать в стратосфере в течение 15 часов с бесперебойной работой бортового источника электропитания мощностью 40 кВт. Экипаж – два человека. В дальнейшем планируются однопилотный и даже беспилотный варианты. Для круглосуточного функционирования HALO-сети предполагается задействовать три самолета, барражирующих поочередно в течение восьми часов. При этом один самолет находится в резерве, другой – в готовности к немедленному взлету. Время достижения заданной высоты составляет 10–15 минут.

Приемопередающая антенная решетка диаметром 18 футов размещается под фюзеляжем, рабочий диапазон – 38–40 ГГц. Наземные приемники оснащены небольшими антеннами, автоматически отслеживающими положение стратосферного носителя. Пропуск-



Рис. 13. Самолет Proteus с приемо-передающей ЦАР

ная способность каналов связи в обоих направлениях превышает 25 Мбит/с. Во время испытательного полета Proteus в 1998 году в Калифорнии был продемонстрирован устойчивый радиообмен со скоростью 51,8 Мбит/с на дальности 56 км от наземной станции. При этом общий объем переданной за 8 часов полета информации превысил 1,5 Тбит. На сегодня Angel Corporation предлагает двухнаправленную связь (10 Мбит/с), включая услуги Интернета, за 1000 долл. в месяц на одного IP-адресуемого абонента.

ЦАР, по мнению разработчиков, позволит отказаться от множества подвижных механических сочленений и сократит потери в аналоговом тракте. Однако ее реализация в миллиметровом диапазоне представляется пока дорогостоящей. Поэтому Angel Corporation намерена исследовать возможности реализации адаптивной ЦАР в диапазоне 2 ГГц для нужд стандарта PCS (Personal Communications Services).

По мнению разработчиков, концепция HALO-Networks имеет серьезные преимущества перед существующими наземными и спутниковыми телекоммуникационными системами, а также выгодно отличается от альтернативных проектов на базе стратосферных ди-

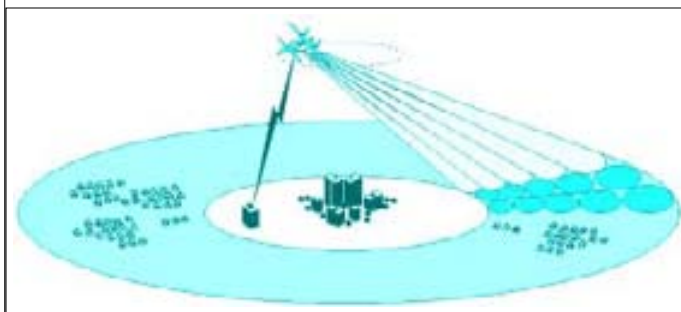


Рис. 14. Формирование HALO-сети

рижаблей [16]. По сравнению со спутниковыми аналогами HALO-Proteus несет больше полезной нагрузки, а его энергоустановка (40 кВт) позволяет излучать сигналы почти на порядок большей мощности (энергоёмкость спутников составляет всего 2–5 кВт). К тому же стратосферный носитель находится на 30–40 тыс. км ближе к Земле, чем спутник. Это сокращает задержки в прохождении сигналов, например видеоконференций, высокой четкости. Глобальная спутниковая система связи стоит свыше десяти миллиардов долларов и, охватывая весь земной шар, расходует около двух третей своих ресурсов на обслуживание безлюдных поверхностей океанов и пустынь, отводя крупному мегаполису такую же ёмкость каналов связи, что и малонаселенным участкам Земли. Контракт на развертывание HALO-системы для обслуживания 30 крупнейших городов США оценен в 1998 году в 760 млн. долларов.

HALO-система свободна от большинства проблем, стоящих перед наземными системами связи. По существу, один стратосферный носитель покрывает площадь, для обслуживания которой понадобилось бы установить сотни ретрансляционных вышек и наземных базовых станций.

Стратосферные системы на базе дирижаблей (компаний SkySat и SkyStation) сталкиваются с серьезными технологическими проблемами, связанными с оптимизацией конструкции двигательной установки, летательного аппарата и программного обеспечения для барражирующих полетов на больших высотах. Применение дирижабля требует обременительных сертификационных мероприятий со стороны Федерального управления авиации (FAA), причем соответствующая законодательная база пока отсутствует. Наконец, в отличие от малоподвижного дирижабля, HALO-Proteus может развивать достаточную скорость для поддержания заданной траектории при сильном ветре. В ближайшей перспективе Angel Corporation намерена охватить HALO-инфраструктурой окрестности Лос-Анджелеса, а также территорию от Сан-Диего до Сан-Франциско.

Рассмотренные проекты относятся к числу наиболее интересных и далеко не исчерпывают перечня всех работ по освоению технологии ЦДО, ведущихся за рубежом. Обширное число этих работ свидетельствует о переломе в сознании разработчиков, их устремлении внедрять ЦАР в мобильные системы связи. При необходимой финансовой поддержке это создает серьезные предпосылки для превращения ЦДО в базовую технологию связи XXI века.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. – Киев: Изд-во "КВЦ", 2000.
2. Корнеева Т. М. Фазированные антенные решетки. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1998, № 5–6, с. 37–40.
3. Слюсар В.И. Ультразвуковая техника на пороге третьего тысячелетия. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1999, № 5, с. 50–53.
4. Слюсар В.И., Заблоцкий М.А. Цифровые антенные решетки в зарубежных системах мобильной связи. – Зв'язок, 1999, № 1.
5. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи. – Радиоаматор, 1999, № 8.
6. Marc Goldberg, Michael Lynd. Tutorial on Smart Antennas. – <http://news.wirelessdesignonline.com/design-features/19980127-92.html>.
7. Peter Kenington, Philip Brown. SUNBEAM. RF Architectures and Components for Software Radio Adaptive Antenna Base-Station. – WSIL. Doc. AC347/WSI/A62/DS/P/008/b1, 14 December 1998. – <http://www.project-sunbeam.org>.
8. <http://www.era.co.uk/tsunami/>.
9. Слюсар В.И. Быстродействующие АЦП: достижения и перспективы. – Известия Вузов. Сер. Радиоэлектроника, 2000, т. 43, № 3.
10. ADAMO. Project Overview. – http://www.tcc.thomson-csf.com/our_act/tech/antenna/.
11. ETSI HIPERLAN/1 standard – technical data. – <http://www.etsi.org/technicalactiv/hiperlan1.htm>.
12. Harmonised radio frequency bands for high performance radio local area networks (HIPERLANs) in the 5 GHz and 17 GHz frequency range. – <http://www.ero.dk/doc98/Official/HTML/TR2206E.htm>.
13. Alexander Kuchar. Project SFIR: Real-Time Smart Antenna Processing for GSM/DCS1800. – <http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/projects/SFIR/welcome/en/>.
14. Quasi-GEO Satellite Communication System. – Mitsubishi Electric Technology Showcase, 1999, № 1, http://www.mitsubishi.com/ghp_japan/.
15. James N. Martin, Nicholas J. Colella. HALOTM Network. The Cone of CommerceTM. – <http://www.broadband.com/>.
16. Зайцев А. Стратостаты в сети. – Компьютерра, 1997, № 30.

Садам Хусейн скупает Sony PlayStation 2

для военного суперкомпьютера

Согласно ставшей известной информации ФБР, таможи и военной разведки, за последние 2–3 месяца в Багдад отгружено около 4 тыс. игровых консолей. Однако дело не в том, что мстительный Хусейн решил лишить детишек Европы и США рождественского подарка.

По мнению спецслужб, из компонентов этой суперсовременной игровой приставки можно собрать вполне приличный военный суперкомпьютер. Правительство Японии еще в начале лета причислило PlayStation 2 к изделиям, использующим технологии военного стратегического значения, и пыталось ограничить их экспорт. В частности, предполагалось, что приставка может быть использована в системах наведения ракет. Расчеты, опубликованные в онлайн-газете WorldNetDaily (шт. Орегон), показывают, что из 12–15 PlayStation 2 можно соорудить систему управления беспилотным самолетом. Более мощная система на базе приставок могла бы рассчитывать траектории баллистических ракет и моделировать применение различных видов оружия массового поражения.

www.netoscope.ru

Программный радиоприемник 0,5–9 ГГц фирмы Sony

Computer Science Laboratories фирмы Sony создала прототип программного радиоприемника SOPRANO (Software Programmable and Hardware Reconfigurable Architecture for Network - перепрограммируемая и аппаратно-переконфигурируемая архитектура для сети). Модуляции/демодуляции сигнала и ряд других базовых функций радиоприемника выполняются программно. В результате один приемник сможет поддерживать различные протоколы радиосвязи.

Диапазон работы – 0,5–9 ГГц – охватывает все цифровые стандарты мобильной связи действующего и следующего (третьего) поколений, а также диапазоны Bluetooth и беспроводных локальных сетей. Для приемника выпущена ИС преобразования частот на основе технологии мультипортового прямого преобразования (Multiport Direct Conversion). Чип размером 2,4x1,8 мм выполнен по 0,5-мкм GaAs-технологии биполярных транзисторов. ИС содержит три амплитудных детектора и переключателя фаз. Ток потребления в пиковом режиме – 3 мА.

www.netoscope.ru