

Алексей Силин

Технология Software Defined Radio

Теория, принципы и примеры аппаратных платформ

Технология Software Defined Radio (SDR) — относительно новое слово в области разработки беспроводных устройств. О ней много говорят, особенно за рубежом, но мало кто видел реально работающие образцы, выполненные в соответствии с этой архитектурой. Тем не менее, за рубежом сейчас ведутся активные исследования и разработки по реализации коммерческой элементной базы. К сожалению, применительно к России этого сказать нельзя — на данный момент у нас даже нет устоявшегося словосочетания, которым переводится Software Defined Radio.

Введение

Суть технологии Software Defined Radio заключается в том, что базовые параметры приемопередающего устройства определяются именно программным обеспечением, а не аппаратной конфигурацией, как мы привыкли видеть в классических конструкциях. Таким образом, это словосочетание можно перевести, к примеру, как «радио, определяемое программным обеспечением», но можно пойти дальше и сократить до двух слов: «программное радио», но с этим вариантом следует быть осторожным и в контексте стараться подчеркивать, что, несмотря на упоминание эпитета «программный», мы имеем дело именно с аппаратным обеспечением, параметры которого определяются программно.

Вообще, идея SDR совсем недавно выглядела бы откровенно фантастично. Представьте себе: вы набираете определенный код на конфигурационной панели, и устройство из приемопередатчика Bluetooth превращается в ZigBee-систему. Замечу, что речь идет не только о радиочастотных параметрах системы — виде модуляции, мощности высокочастотного сигнала параметров приемника (чувствительность, избирательность, подавление гармоник), что, в общем-то, можно сделать при помощи коммутации соответствующих узлов прибора, но и о протокольной части! То есть в приведенном мною примере мы наблюдаем полное перерождение аппаратуры, которая ранее могла выполнять только одну жестко заданную функцию.

Приведенный мной пример немножко утрирован, поскольку кроме таких межстандартных беспроводных систем на данный момент активно развиваются программно реконфигурируемые устройства SDR. Одним из приоритетных направлений

активно работают военные (по понятным причинам), но не только они. Это направление имеет высокую степень коммерциализации, благодаря чему оно получило активное развитие. В совсем недавнем прошлом беспроводные радиосистемы имели такую конструкцию, что устройство поддерживало один или два типа сигнала, и между собой могли связываться только однотипные устройства. Это являлось и является сильным ограничением и усложняет организацию связи между разнотипными устройствами. В связи с этим постоянно ощущалась потребность в радио с гибкой архитектурой, которая могла бы изменяться при помощи программного обеспечения. Так появилось словосочетание Software Defined Radio (реже можно встретить термин Software Radio — «программное радио»), в которых вид модуляции передатчика управляет встраиваемым микроконтроллером. Очевидно, что и приемник для демодуляции сигнала также использует программные средства. Другим важным фактором использования систем SDR стала замена большинства аналоговых компонентов и СБИС трансиверами (либо приемниками) с максимально высокой степенью программируемости. Это верно для множества узлов устройства для беспроводного интерфейса, для подсистем модулирования и кодирования, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

В чем же преимущество архитектуры SDR для конечного потребителя? Во-первых, при использовании SDR можно существенно упростить техническое обеспечение международного roaming, увеличить число поддерживаемых сервисов и добиться более высокой гибкости устройств связи. Во-вторых, с точки зрения операторов мобильной связи SDR — это мощный инструмент для добавления дополнительных сервисов и услуг. И, наконец, в-третьих, производители абонентских терминалов и базовых станций получают множество преимуществ благодаря высокой масштабируемости и гибкости решений, возможности использования одной и той же аппаратной конфигурации для реализации множества различных разнотипных устройств. Благодаря этому проще достигнуть высокой надежности решений, а также обеспечить существенную экономию средств на этапе как проектирования и производства, так и на всех этапах жизненного цикла устройства.

Как видно, уже неоднократно упоминалась такая характеристика, как гибкость. Давайте подробнее разберемся, что же она означает на самом деле. Главным образом под гибкостью понимают спо-

аппаратная платформа SDR может быть легко перепрограммирована для поддержки каких-либо новых набирающих популярность стандартов беспроводного обмена данными. Отмечу, что архитектуру SDR планируется использовать как базовую для аппаратного обеспечения мобильной связи третьего поколения 3G.

Технология цифровой обработки данных в последнее время очень активно развивается, благодаря чему стоимость цифровых решений постоянно снижается. При этом цифровая обработка обеспечивает большую скорость и более проста в обслуживании, чем традиционные аналоговые подсистемы. Поэтому вполне понятным является стремление заменить как можно больше аналоговых блоков и узлов приемопередающей аппаратуры цифровыми. Таким образом, упрощенная архитектура SDR-радио выглядит так, как показано на рис. 1.

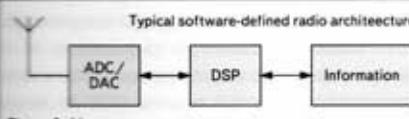


Рис. 1. Упрощенная архитектура типового Software Defined Radio

Она содержит блоки аналого-цифрового, цифро-аналогового преобразования, антенну, цепи обработки цифровых сигналов и другие вспомогательные блоки. Как правило, помимо цифрового сигнального процессора, радио с архитектурой SDR содержит микроконтроллер. Рассмотрим подробнее каждый из блоков для случая приемника с архитектурой SDR. Одним из самых важных узлов такого SDR-устройства является аналого-цифровой преобразователь. В реальности АЦП напрямую подключается к антенне, то есть преобразовывает непрерывный во времени сигнал в дискретную двоично-кодированную форму. Очевидно, что характеристики АЦП будут во многом определять и параметры устройства в целом. Поэтому следует обратить внимание на такие важные параметры аналого-цифровых преобразователей, как отношение «сигнал — шум», разрешение (число бит за выборку), динамический диапазон при отсутствии паразитных составляющих и, наконец, параметр, крайне важный для автономных систем — рассеиваемая мощность и наличие режимов энергосбережения.

Другой, не менее важный компонент архитектуры Software Defined Radio — цифровой сигнальный процессор. Именно он обеспечивает гибкость системы и используется главным образом для проведения расчетов, необходимых для выполнения алгоритма обработки сигнала. Традиционно ЦСП использовались для выполнения функций пред-модуляционной обработки и обработки сигнала после детектирования (в приемниках). Однако в последнее время они используются в основном в трансиверах с расширенными коммуникационными возможностями для детектирования, коррекции, демодуляции, синтеза частот и фильтрации каналов. Преобразование Фурье — одна из наиболее распространенных функций, выполняемых ЦСП (чуть ли не в каждом коммуникационном устройстве). Широко также используется быстрое преобразование Фурье (БПФ).

Однако идеальное устройство SDR в настоящее время не может быть реализовано по причинам чрезмерно высокой стоимости такой системы и достаточно ощущимых ограничений технологий.

использующихся в основе систем SDR (например, имеющиеся на данное время цифровые сигнальные процессоры обладают недостаточным быстродействием для реализации одновременно всех функций радио). Поэтому на данный момент существует несколько реализаций беспроводных платформ, в большей или меньшей степени отвечающих факторам архитектуры SDR.

Исторически одной из первых таких реализаций была система SPEAKeasy, которая стала успешным проектом по использованию коммуникационных систем на базе технологии Software Defined Radio в военном оборудовании США. Система испытывалась в США в 1970 году. SPEAKeasy позволяла цифровой аппаратной платформе общего назначения осуществлять связь с другими системами в широких диапазонах частот, видов модуляции, методов кодирования данных и варьирования других параметров. Комерческие реализации систем SDR подразделяются на платформы для реализации базовых станций и на устройства и терминалы потребительской категории. Как правило, производительность последних составляет 1 млн. операций в секунду (виду постоянного совершенствования и удешевления ЦСП это значение постоянно растет) и они в первую очередь ориентированы на работу от автономных источников питания (батареи, аккумуляторы).

заменяется программной обработкой цифрового сигнала. Если говорить подробнее об особенностях аппаратного обеспечения устройств мобильной телефонии, то нужно отметить, что с точки зрения рынка сегодня более экономичным вариантом является использование не ЦСП, а более быстрых и гибких микросхем ASIC, которые используют жестко заложенные логические блоки для выполнения арифметических операций. Другим очень подходящим и привлекательным компонентом для использования в системах SDR являются программируемые логические микросхемы ПЛИС, в которых можно программировать межсоединения и логические функции уже после этапа производства устройства. И, наконец, отмечу, что хотя микросхемы ASIC обеспечивают лучшую производительность при низкой стоимости, их программируемость снижается с ростом их степени интеграции, что иногда является довольно ощутимым ограничением. Поэтому некоторые устройства SDR, требующие поддержки большого количества различных стандартов беспроводной связи, могут требовать использования в своем составе нескольких микросхем ASIC. Либо в таких случаях можно использовать связку ЦСП и ПЛИС, в зависимости от особенностей и требований конкретного приложения.

Архитектура сотового телефона SDR

Рассмотрим примерную архитектуру сотового телефона, выполненного на базе технологии SDR. Трансиверы SDR реализуют свои функции путем запуска соответствующих модулей и блоков программного обеспечения на аппаратной платформе общего назначения. Аналоговая часть аппаратного обеспечения для выполнения таких функций, как, например, подстройка частоты, фильтрация, модуляция и демодуляция, заменяется программным кодом, который реализует эти функции в «цифре». Такое перераспределение позволяет одному радиоустройству перепрограммировать свои смесители и фильтры для поддержки большого количества схем модуляции, что позволяет работать ему во множестве различных диапазонов частот.

Рассмотрим обычный двухрежимный сотовый телефон (рис. 2), который представляет собой типовое устройство второго поколения. Например, в Северной Америке такой телефон может работать в сетях двух видов — устаревшей аналоговой AMPS и современной европейской, например, GSM. Поддержка различных типов сетей осуществляется простым переключением соответствующих передатчиков и приемников. Такая архитектура не является масштабируемой, поскольку для добавления поддержки еще одной сети требуется дополнять аппаратное обеспечение.

В аналоговом режиме исходящие сигналы выходят из аналогового сигнального процессора и подаются на последовательность функциональных блоков такой же конструкции, какие применяются в большинстве радио- и телевизионных станций — древней супергетеродинной архитектуры. Из сигнального процессора несущая модулируется сигналом и передается на промежуточную частоту (IF, Intermediate Frequency), а затем повышается до более высокой частоты RF (Radio Frequency), после чего усиливается и подается на антенну.

В обратном направлении аналоговый приемник понижает принятый аналоговый сигнал в двух каскадах, выбирает соответствующий канал и затем подает его на сигнальный процессор для демодуляции. Цифровой трансивер работает

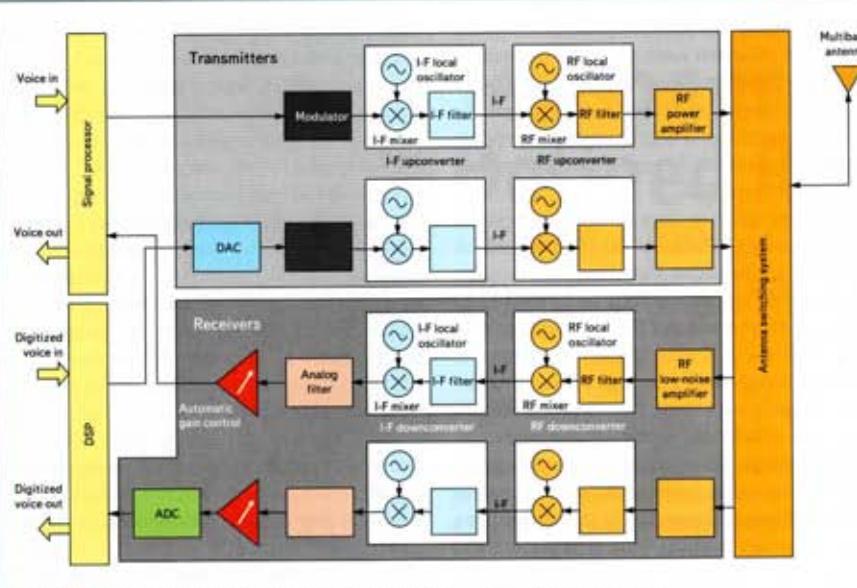


Рис. 2. Архитектура двухрежимного сотового телефона, способного работать в двух различных сетях, одной аналоговой и одной цифровой

аналогичным образом — за исключением того, что вместо аналогового используется цифровой сигнальный процессор. При этом могут также использоваться операции декомпрессии, шифрования и фильтрации.

В сущности, двухрежимный сотовый телефон имеет конфигурируемые функции с множеством программных ядер, которые активируются и деактивируются при необходимости. Технология SDR предлагает более элегантное решение, использующее программируемые цифровые сигнальные процессоры, которые сначала загружают и затем запускают те функциональные блоки, которые необходимы для реализации поддержки конкретного стандарта.

Первым шагом на пути преобразования традиционного сотового телефона к системе SDR является преобразование как можно большего числа узлов из аналоговых в цифровые. То есть все аналоговые baseband-цепи должны быть заменены на цифровые. На стороне передатчика это означает преобразование в цифровой вид речи как можно ближе к микрофону, все операции обработки далее (скажем, фильтрация, модуляция) выполняются цифровыми цепями. Аналогичные преобразования требуются и в приемной части телефона. Здесь стоит задача преобразовать входной радиочастотный сигнал в цифровую форму как можно ближе к антенне для дальнейшей обработки в программируемых устройствах и затем преобразовать его обратно в аналоговую форму как можно ближе к динамику телефона.

Следующим шагом является использование аналого-цифровых и цифро-анalogовых преобразователей для того, чтобы достичь программируемости на высоких частотах. Как видно (рис. 3), SDR-трансивер требует меньше половины всего аппаратного обеспечения традиционного сотового телефона. Вместо дублирования цепей передачи и приема программируемое радио SDR имеет всего одну цепочку, параметры которой настраиваются в соответствии с конкретными требованиями. Все функции определяются программно, поддерживается множество стандартов при использовании одного приемника и передатчика. Приемник имеет аналоговый оконечный каскад, при этом выход ПЧ преобразуется в цифровую форму и затем подвергается обработке в ЦСП. Выбор канала

осуществляется переключением фильтров, эту операцию реализует ЦСП.

Можно выделить четыре компонента, параметры которых являются критически важными для систем SDR и фактически определяют их характеристики: это АЦП, ЦСП, фильтры и радиочастотные усилители. АЦП представляет собой наиболее критичный компонент в системе SDR, поскольку его быстродействие влияет на то, насколько близко антенна должна быть к самому АЦП. Среди наиболее важных характеристик самого АЦП необходимо выделить его скоростные параметры, разрешение и линейность. Если рассматривать АЦП с невысокой стоимостью (а только такие могут использоваться в массовой про-

дукции), то разрешение таких приборов в среднем достигает 100 млн выб./с. Это достаточное значение для того, чтобы оцифровать сигнал промежуточной частоты, но явно недостаточно для оцифровки высокочастотного радиосигнала. Прямой путь реализации Software Defined Radio — использовать архитектуру прямого преобразования, к которой аналоговые цепи напрямую понижают радиочастотный сигнал, пропуская этап промежуточной частоты (рис. 4). Такая архитектура позволяет поддерживать более широкий диапазон частот и полос пропускания за счет прямого преобразования и отсутствия каскадов промежуточной частоты.

Затем этот сигнал оцифровывается при помощи аналого-цифрового преобразователя, после чего требуемый канал может быть выбран путем подключения соответствующего фильтра. Такая функциональность может быть реализована в цифровом сигнальном процессоре. Однако существуют некоторые конструктивно-технологические проблемы в реализации такой архитектуры на микросхемах, что несколько сдерживает это направление.

Как уже отмечалось выше, другим важным компонентом устройств SDR является ЦСП. Несмотря на постоянный рост производительности, для некоторых систем может оказаться более выгодным использование параллельной обработки цифровых данных несколькими ЦСП. Однако такой подход приводит к увеличению размеров, веса, рассеиваемой мощности и стоимости, поэтому прибегать к нему стоит лишь в случае крайней необходимости.

И, наконец, фильтры. Они критически важны в системах SDR, поэтому необходимо тщательно подходить к их выбору. Неплохим решением является использование отдельных микросхем цифровых фильтров. Эти устройства могут осуществлять функции фильтрации сигнала при низкой сложности и небольшой стоимости. В отличие от варианта

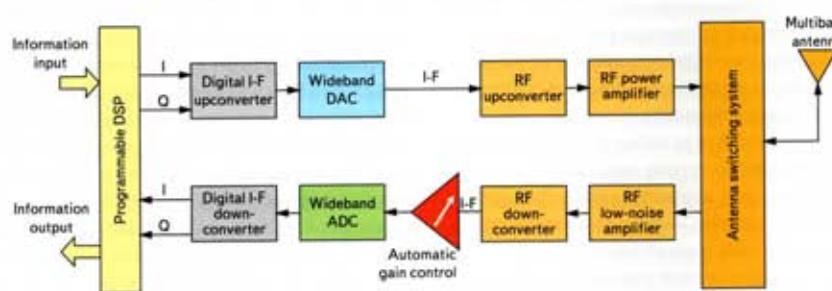


Рис. 3. Архитектура сотового телефона на базе SDR

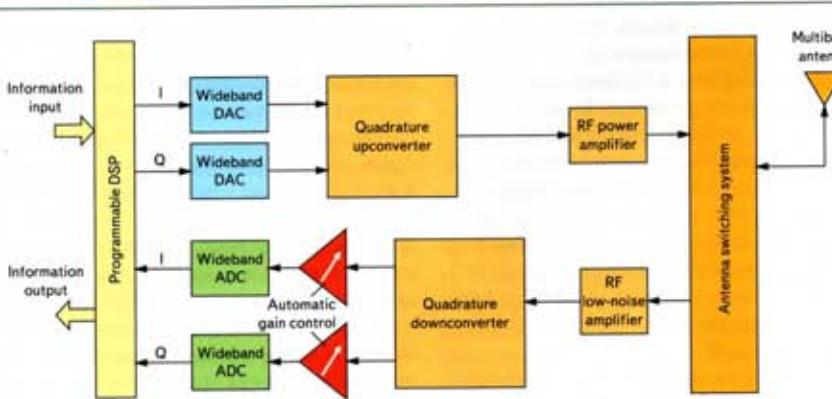


Рис. 4. Архитектура сотового телефона с прямым преобразованием



Рис. 5. Вид платформы SDR формата FFM фирмы Lyrtech

реализации функций фильтрации на ЦСП, этот вариант не является программируемым, но, тем не менее, поскольку частотные диапазоны для стандартов сотовой телефонии являются фиксированными, их использование в конструкциях сотовых телефонов SDR вполне оправдано.

Примеры аппаратных платформ для систем с архитектурой SDR

Как же реализовать многопrotокольный беспроводной интерфейс на базе SDR? Ответов много, но самым очевидным и наиболее логичным является использование модульной архитектуры построения системы. Такой выбор, во-первых, связан со сложившимся техническим менталитетом, если так можно выразиться, инженерно-научных кадров мира, поэтому модульная архитектура сегодня является наиболее очевидным этапом дальнейшего развития систем SDR. Вы, наверное, уже задаетесь вопросом: «А имеет ли эта статья практический смысл, скорее всего, все сказанное автором существует пока только на бумаге и широким массам недоступно?» Спешу на него ответить: вовсе нет. Целью этой статьи как раз является рассказать об элементной базе, которая вам понадобится для разработки устройства архитектуры SDR, к чему мы и переходим.

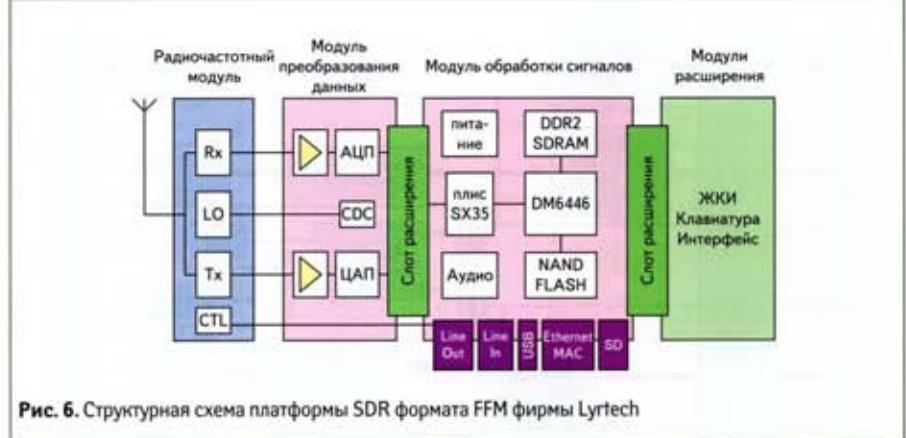


Рис. 6. Структурная схема платформы SDR формата FFM фирмы Lyrtech

Одним из основных компонентов, без которого нам не обойтись — программируемые логические микросхемы ПЛИС и цифровые сигнальные процессоры DSP для обработки цифровых сигналов. Эти компоненты широко распространены и имеют невысокую стоимость, поэтому при грамотном и тщательном проектировании мы можем получить довольно недорогое универсальное многопротокольное радио на базе архитектуры SDR. Для таких систем (которые получили название SFF — Small Form-Factor) характерны высокие требования к производительности подсистемы цифровой обработки сигналов и высокая сложность алгоритмов (по вполне понятным и очевидным причинам). Использование связки DSP+ FPGA позволяет применять традиционный подход к проектированию, снизить стоимость системы и время разработки.

Примером такой платформы SFF может служить система с модульной архитектурой построения фирмы Lyrtech (рис. 5), выполненная на базе компонентов фирм Texas Instruments (цифровой сигнальный процессор) и Xilinx (ПЛИС). Как можно догадаться из созерцания внешнего вида этой системы, она выполнена по модульной архитектуре. Платформа содержит: радиочастотный модуль, модуль преобразования данных, модуль цифровой обработки сигналов и необязательные дополнительные модули расширения (рис. 6). Радиочастотный модуль представляет собой плату беспроводного интерфейса, обеспечивающую прием

и передачу радиосигналов в некотором рабочем диапазоне. Его упрощенная структурная схема приведена на рис. 7. Модуль преобразования данных служит для аналого-цифрового (для приемной части) и цифро-аналогового (для передающей части) преобразования сигналов и содержит микросхемы АЦП и ЦДП с предварительными буферными усилителями. Его структурная схема показана на рис. 8. Модуль цифровой обработки (рис. 9) является самым сложным в этой платформе и содержит следующие узлы: управление питанием платформы, узел цифровой обработки данных на базе DSP и необходимую ему периферию (SDRAM и память NAND Flash), а также интерфейсные узлы (контроллер MAC Ethernet, USB, интерфейс с картами памяти типа SD, линейные вход и выход). Платы расширения могут представлять собой контроллеры клавиатуры, жидкокристаллического дисплея, устройств человеко-машинного интерфейса. Итак, можно сказать, что рассматриваемая платформа содержит узлы для полной цепочки обработки сигнала, начиная от антенн (которые также присутствуют в этой платформе) и кончая цепями обработки сигналов. Этот набор может быть использован для создания одно- или многопротокольных радиосистем для военных и коммерческих приложений, включая системы общественной безопасности (например, TETRA или APCO). Военные могут использовать эту платформу в тактических системах связи (например, MILCOM), коммуникационных шлюзах и радиостанциях и автомобильных

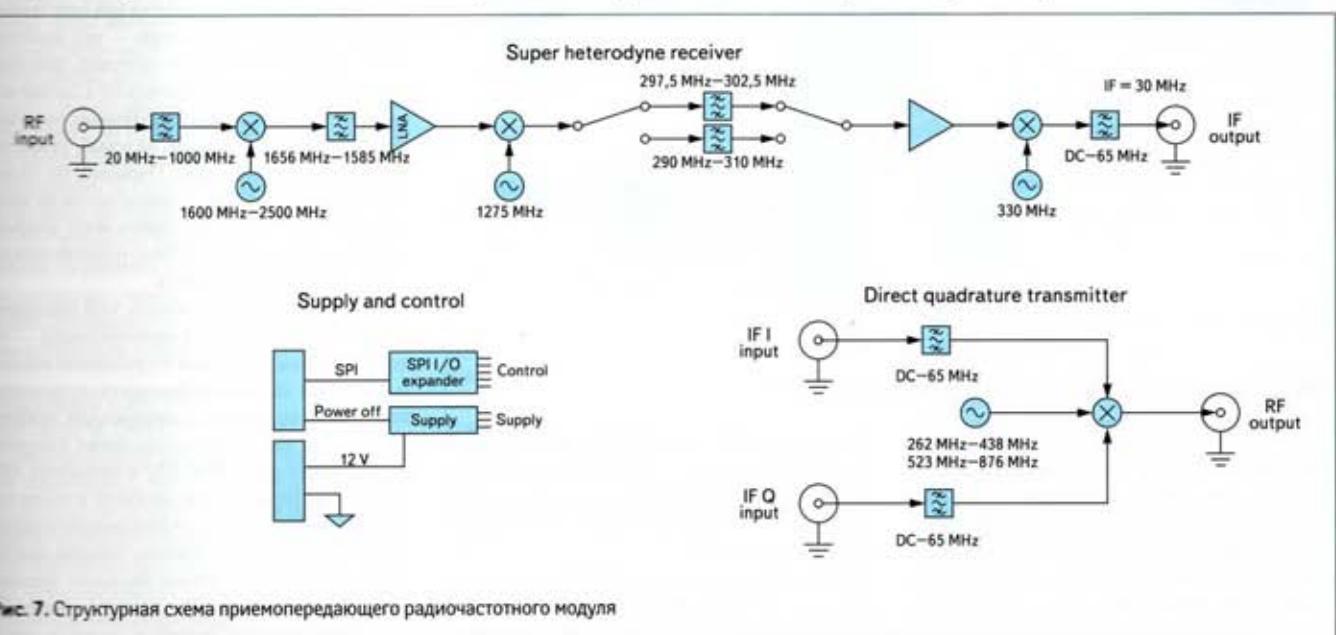


Рис. 7. Структурная схема приемопередающего радиочастотного модуля

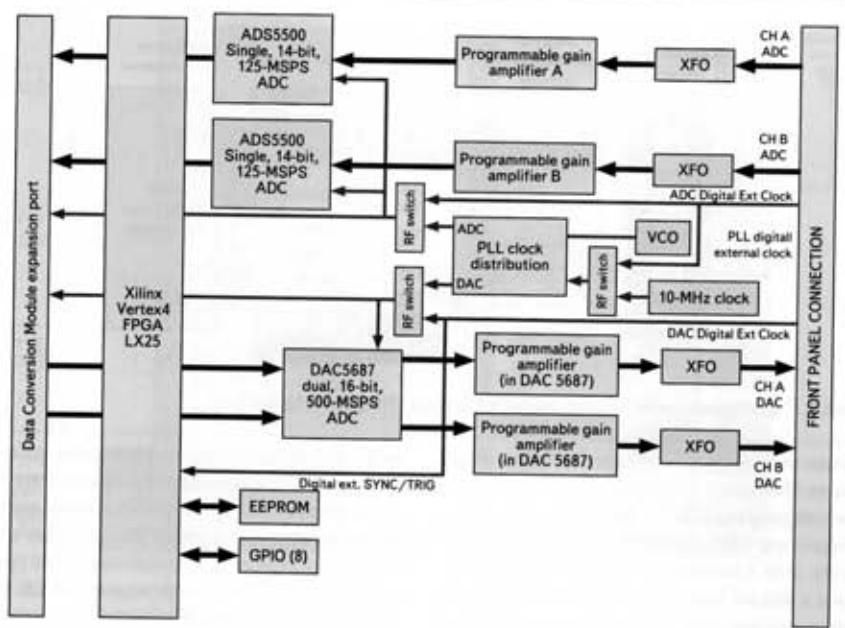


Рис. 8. Структурная схема модуля преобразования данных

вариантов платформ и их конфигураций. Еще одним важным фактором является то, что эта платформа интегрируется с инструментами на базе моделей Simulink, благодаря чему разработчики имеют возможность использовать системы C/HDL или MATLAB Simulink для быстрой проверки концепции опытной системы и оптимизации ее параметров с целью обеспечения минимума стоимости и др. Пример такого алгоритма работы проиллюстрирован на рис. 10.

Давайте посмотрим «наизнеку» платформы SFF SDR фирмы Lyttech. В его основе используются: цифровой медиа-процессор (DMP) на базе системы-на-кристалле производства Texas Instruments — TMS320DM6446, содержащий:

- DSP-ядро VLIW C64x+ (594 МГц);
- RISC-ядро ARM926EJ-S (297 МГц);
- богатый набор периферии (последовательные порты, USB, EMAC и DDR2 EMIF).

В качестве ПЛИС используется микросхема Virtex-4 SX35 фирмы Xilinx, АЦП TI ADS5500 (с производительностью 125 MSPS и разрешением 14 бит), ЦАП TI DAC5687 (производительность 500 MSPS, разрешение 16 бит, два канала с интерполяцией). Используемый радиомодуль позволяет регулировать ширину полосы пропускания от 5 до 20 МГц, при этом передатчик может работать в диапазоне частот от 200 до 930 МГц, а приемник — от 20 до 928 МГц. В модуле беспроводного интерфейса используется микропотребляющий микроконтроллер MSP430, имеется собственная подсистема энергосбережения. Система-на-кристалле использует оперативную память SDRAM типа DDR2 объемом 128 Мбайт и Flash-память типа NAND объемом также 128 Мбайт.

Большим преимуществом модульной архитектуры построения любой электронной системы является то, что в этом случае разработчик получает гораздо большую гибкость, чем при использовании единой архитектуры — он может заменить различные модули, достигая, таким образом, оптимальных результатов. Давайте вспомним, что наиболее ярким примером электронного устройства с модульной архитектурой может служить персональный компьютер. Как мы знаем, в его основе лежит материнская плата и набор модулей — плат расширения, которые позволяют осуществлять гибкое конфигурирование компьютера. То же самое и в рассматриваемой платформе SDR. Применительно к ней добавляется еще одно преимущество модульной архитектуры — при необходимости можно самостоятельно изготовить требуемый модуль расширения и использовать его в составе всей системы. Если у нас изменятся требования, мы можем быстро заменить этот модуль на новый, удовлетворяющий новым требованиям. Очевидно, что эта возможность дает неоспоримые преимущества на этапах модернизации оборудования, период между которыми в современных условиях быстрого развития технологий стремительно сокращается.

Еще одна полезная возможность этой платформы разработки, которая меня заинтересовала — это мощная система управления потребляемой мощностью, дающая широкие возможности оптимизации конструкции по критерию максимальной экономии энергии. Эта подсистема осуществляет измерение потребляемого тока ПЛИС, DSP и процессора ARM (напоминаю, что последние два входят в состав системы-на-кристалле) и выдает информацию о распределении нагрузки на подсистему питания каждым из указанных узлов в режиме реального времени! Это дает нам огромные возможности — например, мы можем варьировать битрейт и следить за энерго-

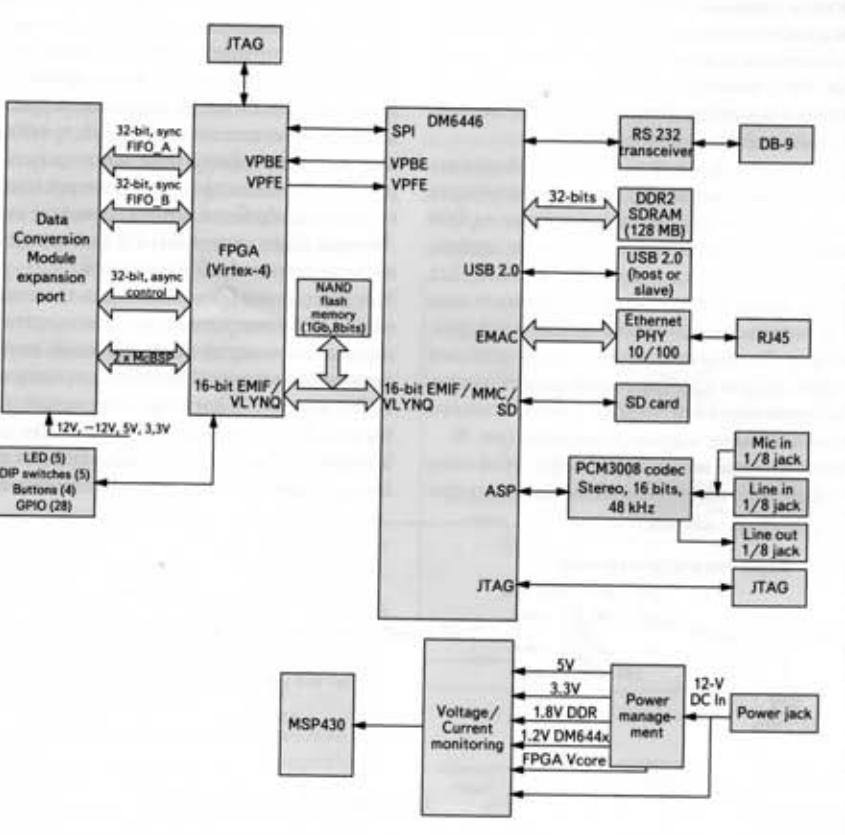


Рис. 9. Структурная схема модуля цифровой обработки сигналов

станциях связи. Наиболее интересный нам — коммерческий сектор применения платформы SFF SDR — представлен устройствами чтения меток бесконтактной радиочастотной идентификации RFID, абонентским оборудованием WiMAX и Wi-Fi. Конечно, здесь примерами применения могут быть любые широкополосные беспроводные системы данных, а также базовые станции мини- и микро-форма-

та. Вообще же области применения систем SFF SDR поистине безграничны — на их основе можно реализовать практически любую беспроводную систему, которая оптимально удовлетворяет поставленным перед ней требованиям. Большим плюсом этой платформы является тот факт, что она может быть использована для быстрого прототипирования и проверки различных

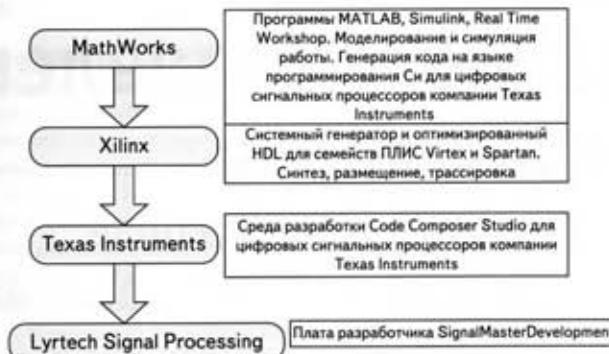


Рис. 10. Процесс разработки на базе платформы SDR фирмы Lyrtech

потреблением, выбирая компромисс между скоростью обмена данными и потребляемой мощностью. Или еще вариант — мы можем экспериментировать с распределением выполнения различных функций между DSP и ПЛИС, выбирая такую конфигурацию, при которой энергопотребление будет ниже. При распределении задач нужно руководствоваться тем, что высокопроизводительный DSP лучше использовать для сложной обработки сигналов, а всю работу по управлению сетевыми операциями и приложениями пользователя возлагать на ARM-процессор общего назначения. Система-на-кристалле DM6446 имеет полный набор периферии, необходимой для устройства Software Defined Radio. Итак, два основных фактора, которые интересуют разработчика портативной аппаратуры — стоимость и рассасываемая мощность. Поэтому помимо собственно контроля распределения энергопотребления по подсистемам устройства становится важным мониторинг загруженности процессора. Очевидно, что для приложений, не требующих высокой производительности, можно выбрать более дешевый и менее производительный процессор, либо можно снизить тактовую частоту, что также снизит общую потребляемую мощность.

Разработчики систем с использованием ПЛИС знают, что существует два подхода к проектированию внутренней структуры ПЛИС: написание программы на языке C/VHDL и разработка на уровне принципиальной схемы внутренней структуры. Часть инженеров-разработчиков может предпочитать первый способ работы, другая часть — второй. Этот вариант поддерживается пакетом разработчика. Проектирование структуры ПЛИС при помощи принципиальной электрической схемы поддерживает повторное использование IP-блоков. В среде Simulink это осуществляется при помощи использования S-функций для DSP и «черных ящиков» для ПЛИС. С другой стороны, разработчик может интегрировать его схемные алгоритмы с низкоуровневым кодом с использованием программного инструмента для встраиваемых процессоров Embedded Coder от Mathworks.

Будущее систем Software Define Radio

На международной конференции по твердотельной электронике 2007 (International Solid State Circuit Conference 2007) компания IMEC [6] представила прототип микросхемы — широкополосного SDR-трансивера с кодовым называнием SCALDIO. Многорежимная платформа SDR обладает широкими возможностями программирования и может работать со всеми текущими и буду-

щими стандартами сотовой телефонии, WLAN, WPAN, а также стандартами радиовещания и определения местоположения на любой частоте в диапазоне от 174 МГц до 6 ГГц. Уникальная архитектура многорежимного трансивера SDR характеризуется рассеиваемой мощностью и площадью чипа, сравнимыми с современными однорежимными радио, и обладает хорошим сочетанием параметров и невысокой стоимостью, поэтому можно предположить, что эти микросхемы будут приняты на вооружение производителями мобильных устройств в объемах массового производства.

Современные многорежимные терминалы имеют ограниченную гибкость вследствие поддержки только двух или трех стандартов и страдают повышенным энергопотреблением, а также требуют большого количества «обвязочных» компонентов. IMEC же предложила микросхему с гораздо большей гибкостью и довольно низким энергопотреблением, способную работать со всеми текущими и любыми будущими стандартами, что очень важно для таких систем и не может оставаться незамеченным разработчиками.

Входные каскады SDR имеют высокую степень интеграции, их конструкция оптимизирована с точки зрения экономии пространства и достижения максимально низкой стоимости. Микросхема реконфигурируемого входного каскада выполнена по технологии 130 нм и использует одноканальный источник питания с выходным напряжением 1.2 В. Активная площадь чипа составляет всего 7.7 мм². В зависимости от конфигурации оконечного каскада системы SDR рассасываемая мощность может находиться в диапазоне от 60 до 120 мА, что сравнимо с энергопотреблением традиционного однорежимного радио.

Оконечные каскады SDR-трансивера включают в себя полностью конфигурируемый приемник прямого преобразования, передатчик и два синтезатора частот. Прямое преобразование используется для обеспечения полной реконфигурируемости во всем диапазоне частот от 174 МГц до 6 ГГц. Параметры каждого блока могут регулироваться в широком диапазоне значений при помощи цифрового управления. При помощи использования различных наборов таких конфигураций могут точно подстраиваться под значения, требуемые конкретным стандартом (например, частота несущей, ширина канала, коэффициент шума, линейность, параметры фильтрации). Кроме того, динамически подгружая различные конфигурации, можно добиться

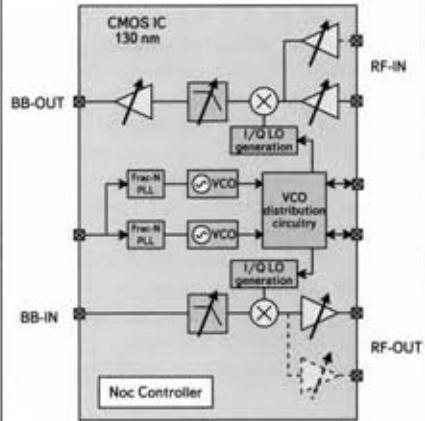


Рис. 11. Блок-схема реализованного трансивера SDR на базе решений компании IMEC

существенной экономии энергопотребления. Еще одним очень важным достижением инженеров компании IMEC является реализация полностью конфигурируемых фильтров, что дает поистине безграничные возможности при проектировании SDR-устройства на базе этого чипа. Блок-схема реализованного на базе описанной концепции трансивера показана на рис. 11.

Заключение

Нельзя сказать, что технология Software Defined Radio является молодой, поскольку военные уже давно используют ее в своей аппаратуре. С коммерческой же точки зрения технологию можно считать довольно молодой и быстроразвивающейся. Компоненты для цифровой обработки сигналов, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования совершенствуются и дешевеют с каждым днем, что постоянно приближает выход технологии SDR в массы. Как было показано в этой статье, сложность конструкции традиционных трансиверов существенно выше, чем у SDR, не говоря уже об отсутствии у первых какой-либо гибкости, так необходимой в современных условиях быстро изменяющихся стандартов. Поэтому тотальный переход к архитектуре SDR неизбежен, это лишь вопрос времени.

Подробную актуальную информацию о технологии SDR, о текущих достижениях и планах развития на будущее можно найти на сайте некоммерческой международной организации — Форума SDR [7], среди членов которого академические организации, представители военных организаций, производителей электронных компонентов и конечных устройств, провайдеров услуг связи и многие другие.

Литература

- Mitola II J., Zvonar Z. Software Radio Technologies. New York: IEEE Press, 2001.
- Mitola II J. Software Radio Architecture: Object-oriented Approaches to Wireless System. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- Special issue of IEEE Personal Communication, Aug. 1999.
- Special issue of IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 4, April 1999.
- Special issue of IEEE Communications Magazine, Feb. 1999.
- Сайт компании IMEC (www.imec.be)
- Форум SDR (www.sdrforum.org)