

# Фронт-енд SDR: возможности и проблемы

Розл Шифорст, Фокке Хоэксема и Корнелис Сламп  
Университет Твенте, кафедра электротехники,  
Лаборатория сигналов и систем,  
Номер счета 217 - 7500 AE Энсхеде - Голландия  
Телефон: +31 53 489 4037 Факс: +31 53 489 1060  
R.Schiphorst@el.utwente.nl

Перевел: Остапенко А.И.

**Ключевые слова:** Мобильная связь, фронтальные архитектуры приемника, программноопределяемое радио(SDR)

## Аннотация

*В последние 10 лет показатели использования мобильной телефонии значительно возросли. Побочным эффектом этого феномена является отставание процессов стандартизации от возникновения новых мобильных систем. Таким образом концепция программно-определяемого радио становится потенциальным прагматическим решением: она направлена на создание гибких радио систем, которые являются мультисервисными, мультистандартными, многополосными, перестраиваемыми и повторно программируемыми..*

*Во-первых, этот документ представляет собой глобальный обзор SDR. Кроме того, он рассматривает несколько интерфейсных архитектур SDR. Целью данного проекта является создание представления о проектировании функциональных частей SDR, реализуемых стратегий быстрого прототипирования. Основной упор делается фронт-енде SDR. Технологический план принимается во внимание для оценки нескольких архитектур.*

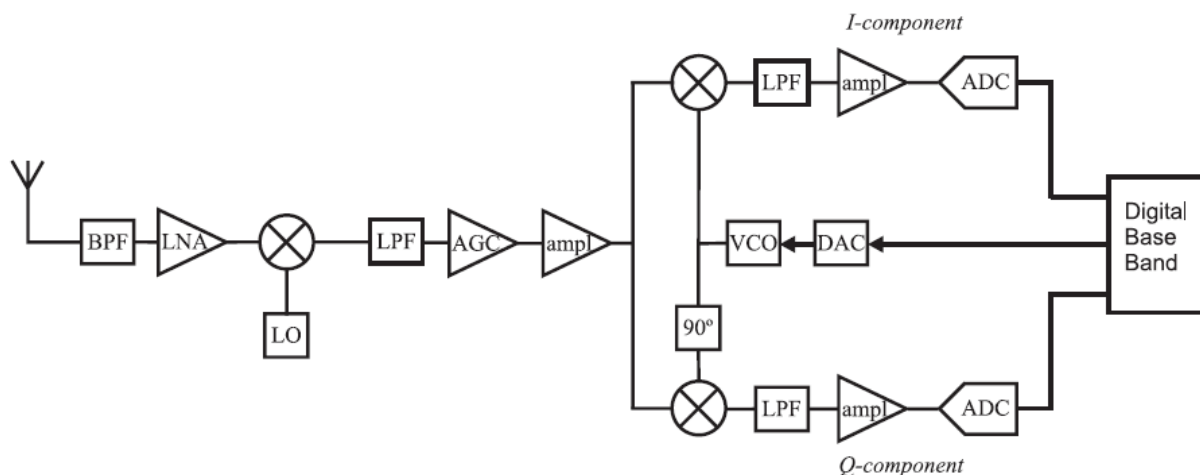
## 1. Введение

С начала 1980-х годов использование сотовых мобильных систем сильно выросло. В настоящее время мобильная связь стала основным бизнесом во всем мире. Побочным эффектом столь быстрого роста является избыток аналоговых и цифровых мобильных стандартов, таких как TACS, GSM, DCS-1800, IS-95 CDMA и т. д. Каждая крупная страна имеет свой собственный стандарт(ы). Попытки определить уникальный международный вариант, в результате часто просто создает новые, дополнительные стандарты. Кроме того, новые стандарты, такие как UMTS представляют из себя не единое образование, а целый кластер субстандартов.

Большое количество стандартов - это проблема не только для производителей, но и потребителей. Производители должны разработать новый телефон для каждого стандарта. Это приводит к дополнительным затратам на разработку и разделению рынка множеством мелких частей. Это также невыгодно для потребителя, потому что они не могут использовать свои мобильные телефоны везде, где они хотят. Единый общемировой стандарт имеет свои преимущества, но конкуренция между азиатскими, европейскими и американскими отраслями промышленности, делает его введение очень проблематичным.

Именно по этой причине, концепция программного радио становится потенциальным прагматическим решением. Внедрение программного обеспечения в пользовательский терминал, даст ему способность динамически адаптироваться под радио среды, в которых находится устройство[1, 2]. Помимо вопросов стандартизации, следует также рассмотреть концепцию программного радио, как средство, чтобы заставить пользователей, поставщиков услуг и производителей быть более независимыми от существующих стандартов. Преимущества такого подхода в том, что воздушные интерфейсы, в принципе, могут быть адаптированы для конкретных потребностей, конкретных услуг и конкретного пользователя. А так же для любой среды и времени. Для производителя, такой единый дизайн подходит для распространения во всем мире и потребители так же смогут использовать свои телефоны в любой стране[3].

В связи с аналоговой природой воздушного интерфейса, программное радио всегда будет иметь аналоговый интерфейс. В идеальном программном радио, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) расположены непосредственно после антенны. Подобная реализация не возможна из-за энергии, которую такое устройство будет потреблять и ряда других физических ограничений



**Рисунок 1: Архитектура гетеродинного приемника**

Первые серьезные попытки построить SDR были сделаны в контексте военных приложений (см., например, [5]). В последние несколько лет вырос интерес к гражданскому применению SDR. Это подтверждает длинный список коммерческих компаний, которые объединили свои усилия по стандартизации таких систем в некоммерческой организации «SDR форум» [6]. Кроме того, несколько консорциумов активно участвует в исследованиях в этой области. Примером является проект SORT, финансируемый Европейским Союзом Расширенных Коммуникационных Технологий и Программных услуг (PKTP) [7].

SDR будет иметь один или несколько из следующих свойств [8]:

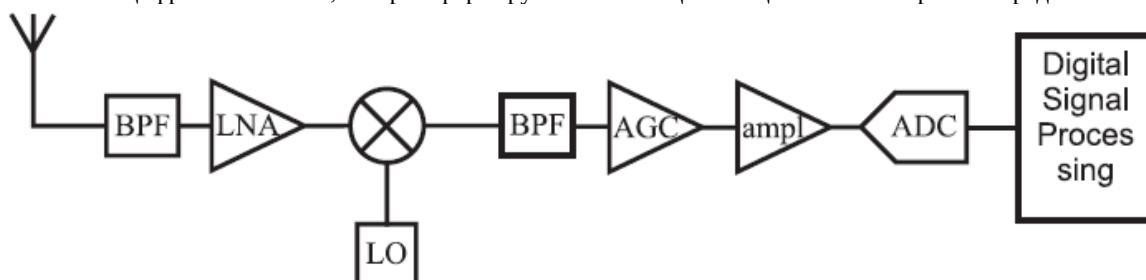
- гибкая архитектура трансивера, которая может контролироваться и перестраиваться с помощью изменения программного обеспечения;
- радио функции, которые в основном вычисляются по цифровой обработке сигналов;
- перепрограммирование (возможность загрузки нового программного обеспечения) через беспроводную связь;
- поддержка нескольких режимов и стандартов.

Перепрограммирования может быть использовано для изменения:

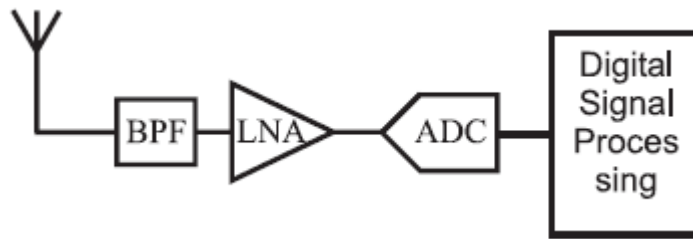
- полосы частот и полосы пропускания канала;
- схемы модуляции и кодирования;
- Радиоресурсов и протоколов управления мобильностью;
- пользовательских приложений.

## 2. Архитектура фронт-енда

В настоящее время, в мобильной связи в основном используется архитектура гетеродинного приемника (рис.1). Она имеет несколько аналоговых каскадов для выбора одного пользовательского канала. На этом шаге обычно применяются цифровые сигналы, которые формируются с помощью специальных аппаратных средств.



(а) архитектура используемого программного радио



(б) архитектура идеального программного радио

**Рисунок 2: 2 архитектуры фронт-енда**

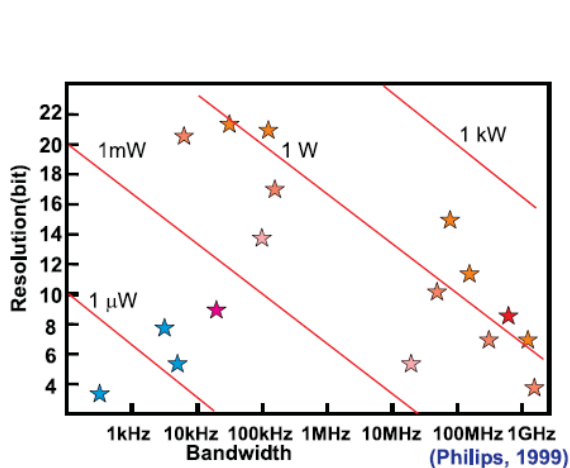
На рис. 1 показано, что сигнал принимается с помощью антенны. Затем происходит его фильтрация с помощью полосового фильтра (BPF) и усиление при помощи усилителя вносящего в сигнал минимальные шумы (LNA). Далее, полоса сигнала переносится в более низкий диапазон частот, путем умножения с сигналом от гетеродина (LO). Фильтр нижних частот (LPF) выделяет группу разностных компонент сигнала. После в дело вступает блок аналоговой регулировки усиления (AGC). Он нужен для нормализации мощности сигнала до оптимального уровня, который сможет корректно обработать аналогово-цифровой преобразователь (ADC). На следующем шаге выделяется один канал из принятой полосы частот. Первый сигнал умножается на генератор, управляемого напряжения (VCO). Его контролирует цифровой блок управления (ЦБУ). А цифро-аналоговый преобразователь (DAC) используется для преобразования цифрового управляющего сигнала от блока ЦБУ. После умножения сигнала на частоту VCO, он фильтруется LPF и, наконец, преобразуется ADC. Структура на рис.1 имеет такой вид, из-за того, что некоторые стандарты мобильной связи используют метод квадратурной модуляции. То есть, когда из сигнала извлекается фазовая (I) и квадратурная (Q) компоненты. Эти два потока бит передаются в блок цифровой обработки, который также управляет выбором канала.

Преимуществом этой архитектуры является подтверждение ее работоспособности на практике и низкое энергопотребление. К недостаткам можно отнести фиксированные узкополосные пассивные компоненты, которые не могут работать в системах, где нужна большая ширина спектра сигналов и есть необходимость работы в нескольких режимах. А ведь перестройка частоты необходима для работы с различными стандартами, у которых есть определенные отличия в характеристиках. К ним относится несущая частота, полоса пропускания, схемы модуляции и передаваемая мощность[9]. Возможность программно-определяемого радио для поддержки разных сигналов в основном определяется [10]:

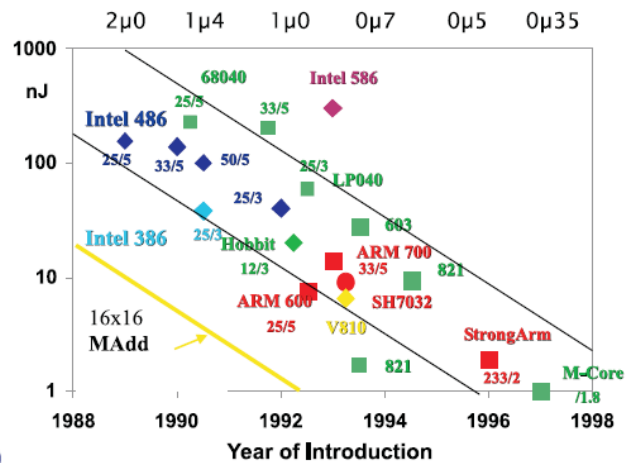
- максимальной ширины полосы сигнала (W);
- диапазоном частот и пропускной способностью;
- A / D-преобразователем частоты дискретизации (более 2 Вт);
- максимальный динамический диапазон;
- требованиями для блока цифровой обработки сигналов (DSP) включающие в себя промежуточные частоты, модуляцию, демодуляцию, кодирование, и декодирование.

На рисунке 2 показаны две структуры программно-определяемого радио. Рисунок 2 (а) показывает, реально используемую архитектуру. На первом этапе структура ничем не отличается от гетеродинного приемника. Затем, сигнал преобразуется в цифровой вид с помощью A/D конвертора. Этот вариант структуры более гибкий, но требует для каждого стандарта свою приемную часть. На рисунок 2(б) представлена архитектура идеального программно-определяемого радио. A/D конвертор помещается непосредственно после антенны, для того что бы максимизировать возможность перестройки системы. Но такая архитектура нереализуема, так как требует A/D конверторов, которые имеют частоту дискретизации более чем 2ГГц (с разрешением в несколько битов).

На рисунке 3 показаны несколько коммерчески доступных A/D преобразователей. Существует компромисс между разрешением, пропускной способностью и мощностью. Экстраполируя текущие характеристики A/D преобразователя, получим, что A/D преобразователь для SDR будет потреблять около 1кВт. А это слишком большая цифра для мобильной связи. Кроме того, для цифровой обработки будет требоваться несколько тысяч MIPS. На данный момент не существует DSP или других процессоров, которые способны обеспечить несколько тысяч MIPS на приемлемом уровне мощности (типичный уровень мощности для мобильных телефонов составляет около 10 мВт.).



(a) Commercial available A/D converters in 1999



(b) Roadmap digital signal processors: instruction-energy consumption for several processors

### Рисунок 3: технологический план

Прогресс в А / D преобразователей по отношению к потребляемой мощности идет медленно, около 1,5 бит в 8 лет [4] на том же уровне мощности (на той же частоте выборки). С другой стороны, прогресс в цифровой области движется очень быстро, уменьшается потребление энергии и постоянно растут возможности обработки. На рисунке 3(б) показаны данные о потреблении энергии на примере нескольких процессоров. В основном это связано с уменьшением размеров используемых и разрабатываемых устройств. Таким образом, в ближайшем будущем можно ожидать появление достаточных вычислительных мощностей, но быстрых А / D преобразователей. По этой причине идеальное программное радио для радилюбителей (рис. 2 (б)) останется утопией еще в течении длительного времени и других решений не потребуется.

### 3.Итоги

Целью данного проекта является поиск архитектуры, гибкой и реализуемой. Возникают важные вопросы, такие как:

- что принесут новые стандартны (например, другие типы модуляции, интеллектуальные антенны)?
- какую архитектуру выбрать?
- как разделить аналоговую / цифровую части ?
- как разделить гибкость (ASIC / FPGA / DSP)?
- что должно быть реализовано на аппаратном уровне и что на программном?

Ответы на эти вопросы зависят от технологического плана: тенденция заключается в реализации все большего и большего количества функций в цифровом виде. Кроме того, архитектурное решение зависит от аналоговых и цифровых технологий, поэтому подход от аналоговых и цифровых точек зрения имеет важное значение.

### Подтверждение

Это исследование проводится в сотрудничестве с ICDL(Integrated Circuit Design Laboratory ) университетаТвенте. Кроме того, это исследование проводится при поддержке программы по изучению встраиваемых систем и программного обеспечения(PROGRESS) из голландской организации по научным исследованиям NWO, голландского министерства экономики и технологическую основе STW.

### Ссылки

- [1] J. Mitola, "The software radio architecture," *IEEE Communications Magazine*, pp. 26–38, May 1995.
- [2] J. Mitola, *Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering*, Wiley, 2000.
- [3] R. Schiphorst et al., "The exploration of the softwaredefined radio concept by prototyping transmitter and receiver functions on a digital signal processor," *PROGRESS 2000 Workshop on Embedded Systems, Utrecht, The Netherlands*, 2000.
- [4] R.H. Walden, "Performance trends for analog-todigital converters," *IEEE Communications Magazine*, pp. 96–101, February 1999.
- [5] D.W. Lackey, R.J. Upmal, "Speakeasy: The military software radio," *IEEE Communications Magazine*, pp.56–61, May 1995.

- [6] "Software defined radio forum, a forum on open architecture reconfigurable wireless technology," <http://www.sdrforum.org/>.
- [7] "Ac315: Sort - software radio technology," <http://www.ifn.et.tu-dresden.de/~sort/welcome.html>.
- [8] E. Buracchini, "Sort and swradio concept," *4th ACTS Mobile Communications Summit (AMOS), Sorrento, Italy*, 1999.
- [9] H. Tsurumi and Y. Suzuki, "Broadband rf stage architecture for software-defined radio in handheld terminal applications," *IEEE Communications Magazine*, pp. 90–95, February 1999.
- [10] J. E. Gunn, "A low-power dsp core-based software radio architecture," *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 7, no. 4, pp. 574–589, 1999.