



Московский Авиационный  
(Национальный Исследовательский  
Институт  
Университет)

---

# *«Программно- Определяемые Радиосистемы»*

*Серкин Фёдор  
Борисович*

*Кафедра 408 –  
«Инфокоммуникации»*

---

## Литература:

1. Скляр Б., «Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение», «Вильямс», Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2003.
2. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н., «Цифровая обработка сигналов», «Радио и связь», Москва, 1990.
3. Максфилд К., «Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы», «Додэка-XXI», Москва, 2007.
4. «IEEE 1012 Standard for Software Verification and Validation», IEEE, New York, 2005.
5. Tuttlebee W., «software defined radio. Enabling technology», WILEY, New York, 2002.

---

Содержание курса:

- I. Введение в ПОР.
- II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.
- III. Реализация на жесткой и программируемой логике.
- IV. Программируемое радио.

### III. Программируемое радио.

---

#### Основные определения

Многорежимное ПОР (Multimode) -> несколько стандартов связи.

Многодиапазонное ПОР (Multiband) -> несколько частотных диапазонов.

Radio Front End – аналоговая обработка.

Radio Back End – аппаратура для связи аналоговой и цифровой частей.

Digital Front End – аппаратная реализация алгоритмов ЦОС для сигналов на выходе.

### III. Программируемое радио.

---

Основные характеристики входного сигнала

Действительный сигнал

Низкая мощность – до -107 дБм

Большой динамический диапазон – до 15 дБм

Узкополосный спектр с несущими частотами от 0.8 до 6 ГГц.

Основные характеристики выходного сигнала для цифровой части

Комплексный сигнал (I/Q – компоненты)

Полоса сигнала до 40 МГц

### III. Программируемое радио.

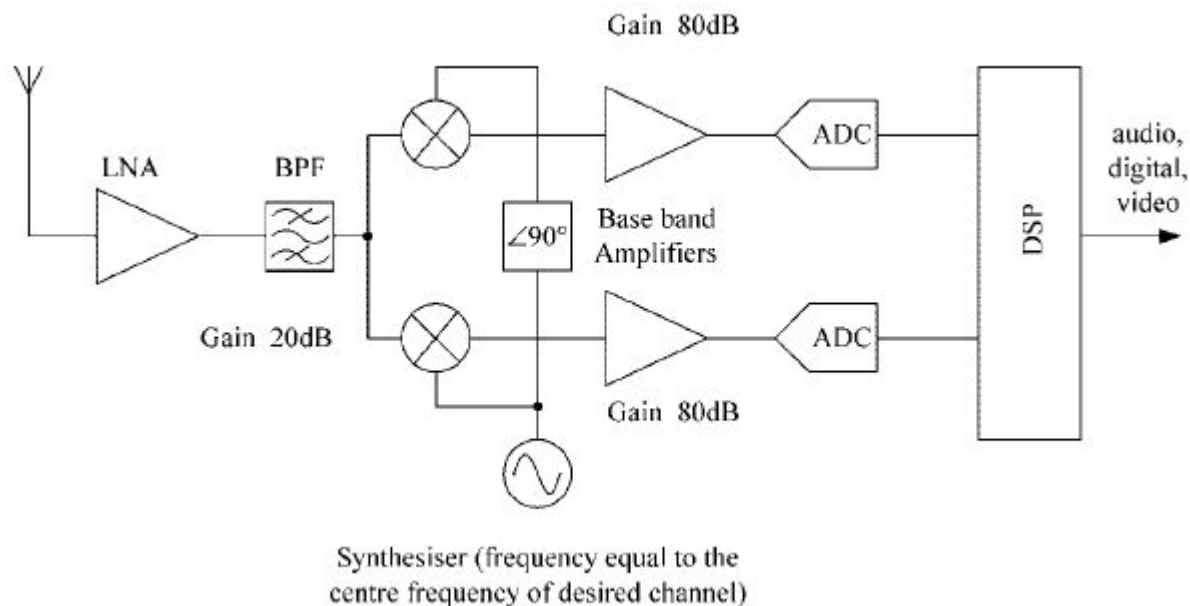
---

#### Требования к ВЧ-части приемника

- Сигнал должен находиться выше шумов для обеспечения хорошей BER
- Высокомощные сигналы не должны перегружать компоненты приемника
- Высокомощные сигналы в соседних каналах не должны влиять на производительность
- Возможность реализовать алгоритм в виде интегрированной схемы с минимальным количеством компонентов
- Низкое энергопотребление

# III. Программируемое радио.

## Прямой перенос (Direct Conversion)



### Преимущества:

- 1) Низкая сложность
- 2) Подходит для реализации на ИС
- 3) Простые требования к фильтрам
- 4) Подавление зеркального канала сделать проще

### III. Программируемое радио.

---

#### Прямой перенос (Direct Conversion)

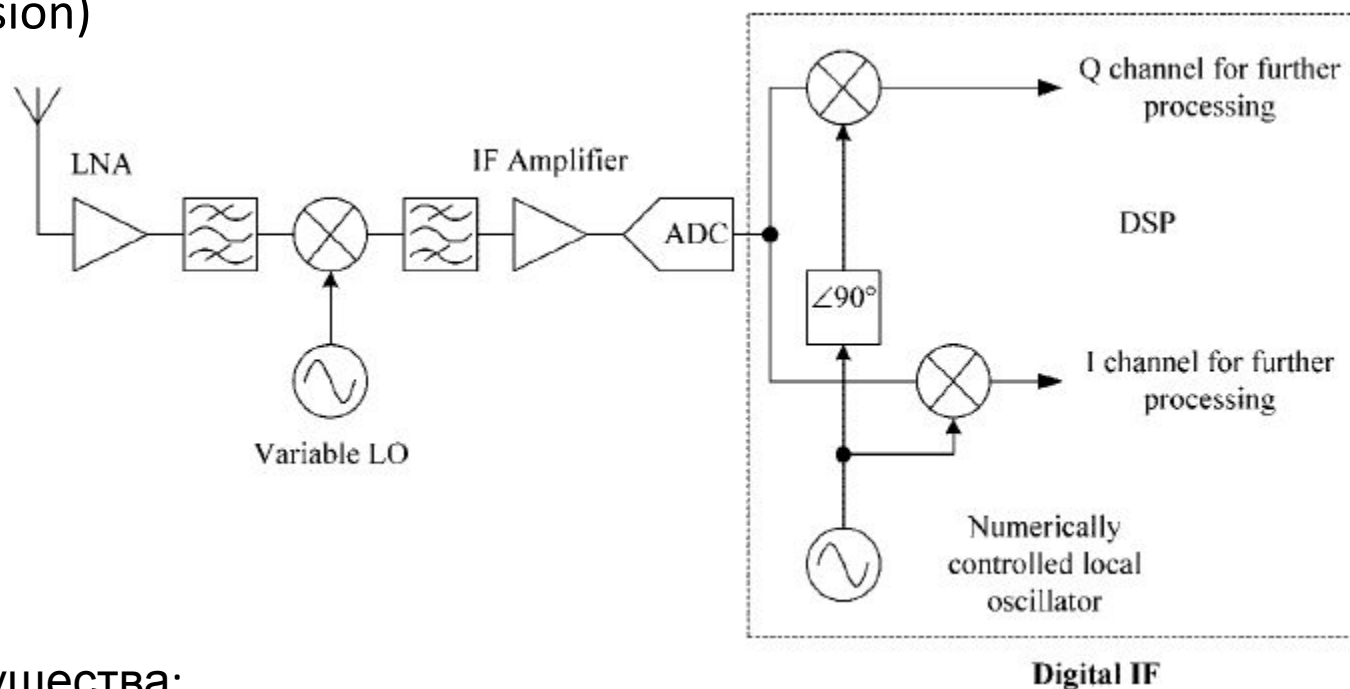
Недостатки:

- 1) Требуется генератор частоты, компоненты которого аккуратно сбалансированы по амплитуде и фазе во всей области частот приемника.
- 2) Сигналы на смесителях должны быть сбалансированы и работать в достаточно широком частотном диапазоне.
- 3) Протекание составляющей генератора через смеситель и МШУ будет излучаться с антенны и отражаться обратно в приемник. Этот сигнал будет варьироваться в зависимости от характеристик среды, где установлена антенна. Этот изменяющийся во времени сдвиг постоянной составляющей (DC offset) вызванный самосмешиванием (self-mixing) является проблемой.
- 4) Большая часть усиления приходится на 1 частотный диапазон, создавая потенциал для нестабильности.



# III. Программируемое радио.

## Супергетеродинный приемник (Superheterodyne receiver; Multiple Conversion)



Преимущества:

- 1) Хорошая избирательность
- 2) Усиление разделено между несколькими компонентами, работающими в разных частотных диапазонах
- 3) Перенос с несущей осуществляется на некоторую фиксированную частоту. Сбалансированные сигналы требуется обеспечивать только для этой фиксированной частоты.

### III. Программируемое радио.

---

Супергетеродинный приемник (Superheterodyne receiver; Multiple Conversion)

Недостатки:

- 1) Высокая сложность
- 2) Может понадобиться несколько сигналов генераторов
- 3) Требуются специализированные ППФ.

### III. Программируемое радио.

---

#### Архитектура с низкой ПЧ (Low IF Architecture)

##### Преимущества:

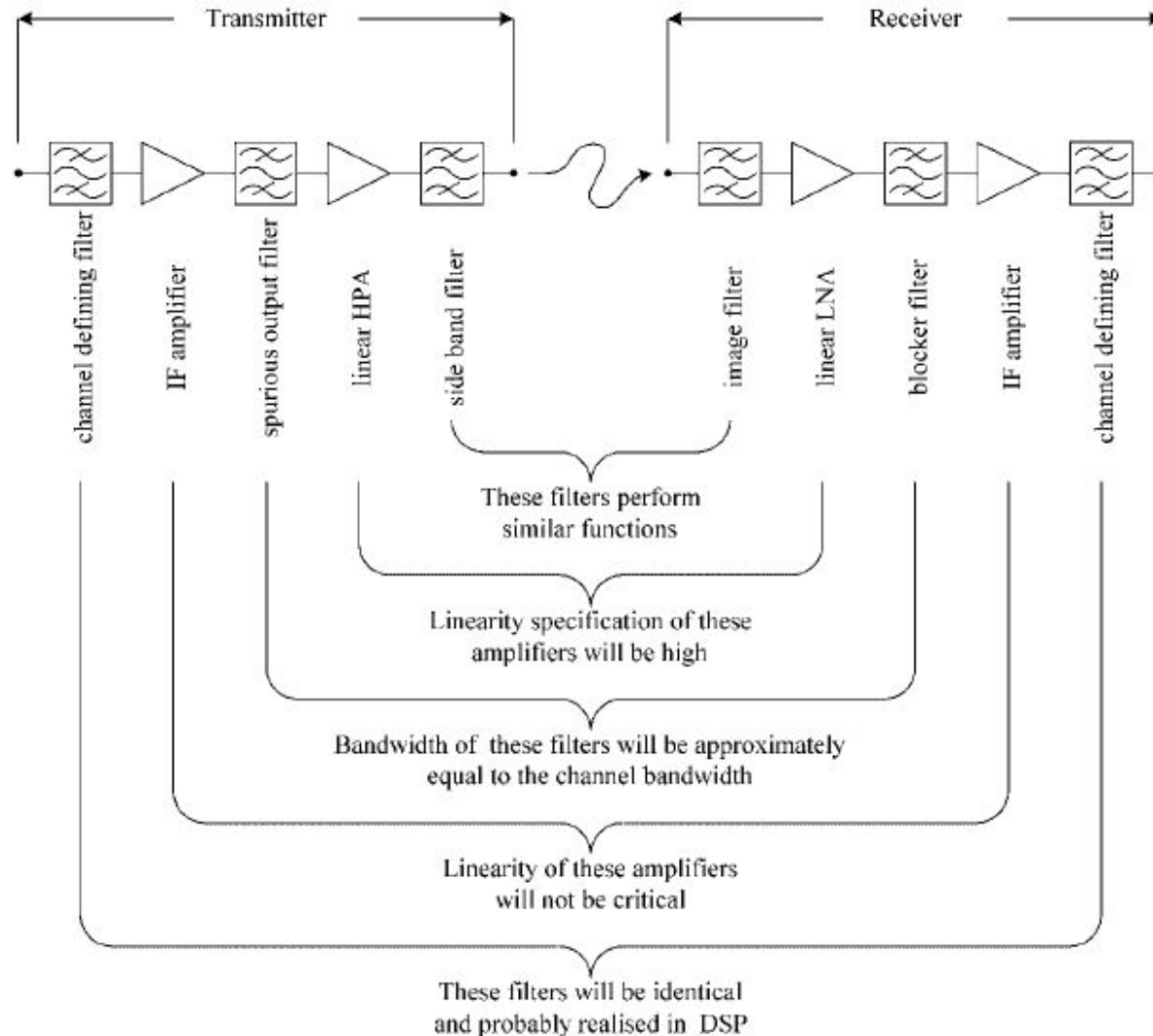
- 1) Проблемы постоянной составляющей схемы с прямым переносом решаются, сохраняя большинство преимуществ этой схемы.
- 2) Меньшая сложность, чем супергетеродинный приемник, но большая, чем схема с прямым переносом

##### Недостатки:

- 1) Требуется лучшее подавление зеркального канала, чем в схеме с прямым переносом.

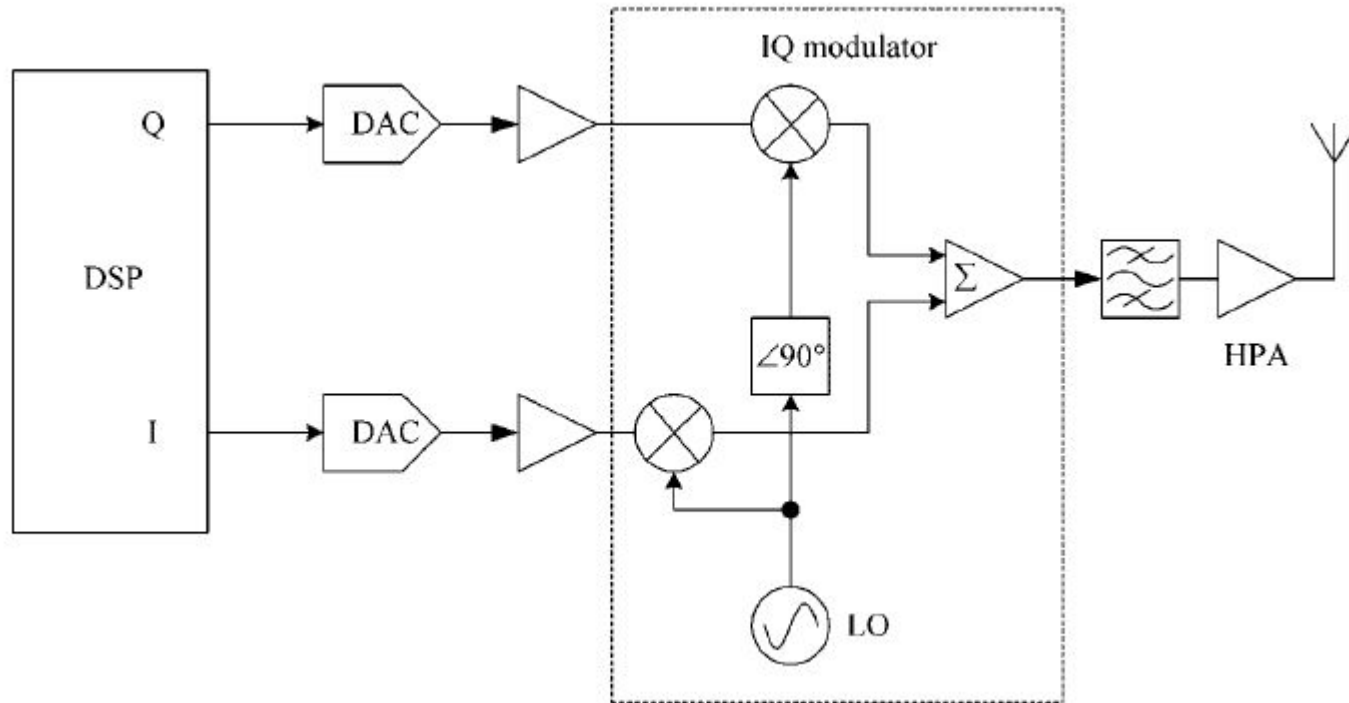
# III. Программируемое радио.

## Фильтры передатчика и приемника.



### III. Программируемое радио.

Прямой перенос в передатчике.



Преимущества:

- 1) Низкая сложность
- 2) Подходит для реализации на ИС
- 3) Простые требования к фильтрам
- 4) Проблемы связанные с зеркальным каналом решать проще, чем в других схемах

### III. Программируемое радио.

---

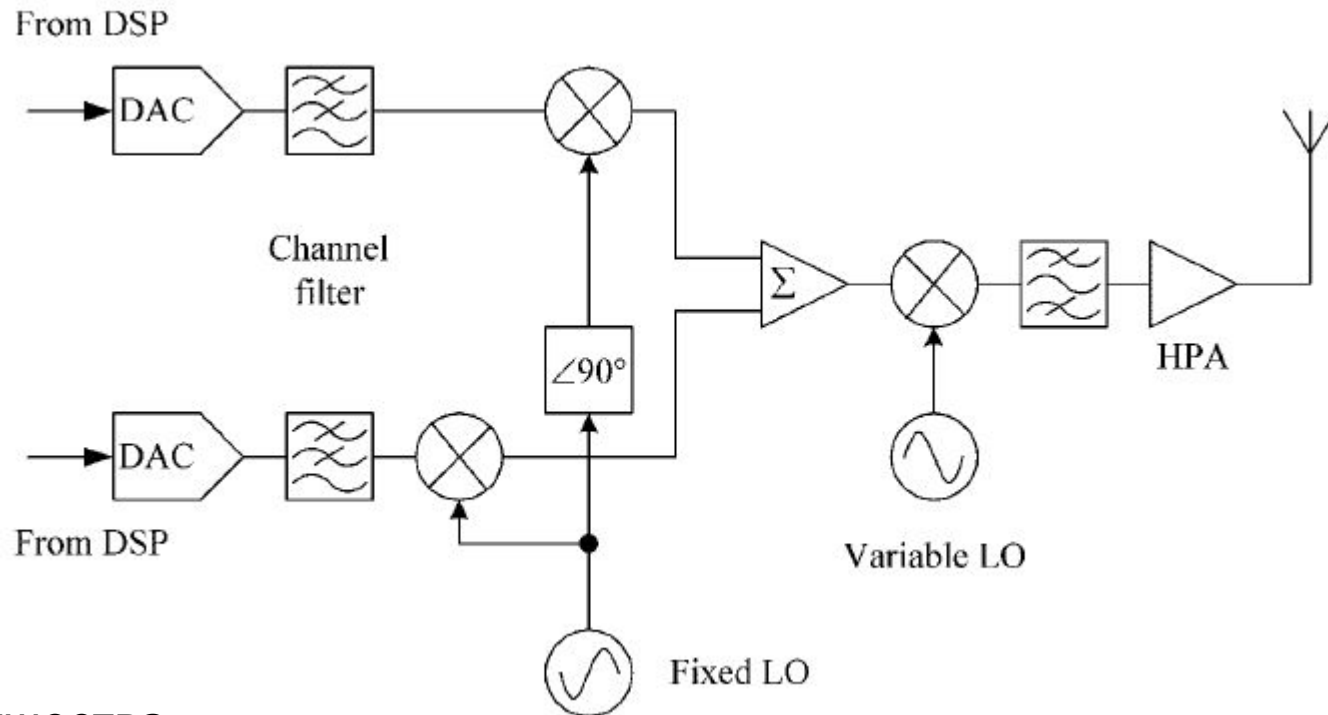
Прямой перенос в передатчике.

Недостатки:

- 1) Сигналы на смесителях должны быть сбалансированы и работать в достаточно широком частотном диапазоне.
- 2) Смесители должны работать в широком диапазоне частот
- 3) Необходимы схемы линеаризации усилителя, работающие в широком диапазоне частот.
- 4) Утечка с генератора через смеситель будет излучаться с антенны.

### III. Программируемое радио.

Множественный перенос в передатчике.



Преимущества:

- 1) Перенос на несущую осуществляется с некоторой фиксированной частоты.
- 2) Сбалансированные сигналы требуется обеспечивать только для этой фиксированной частоты.

### III. Программируемое радио.

---

Множественный перенос в передатчике.

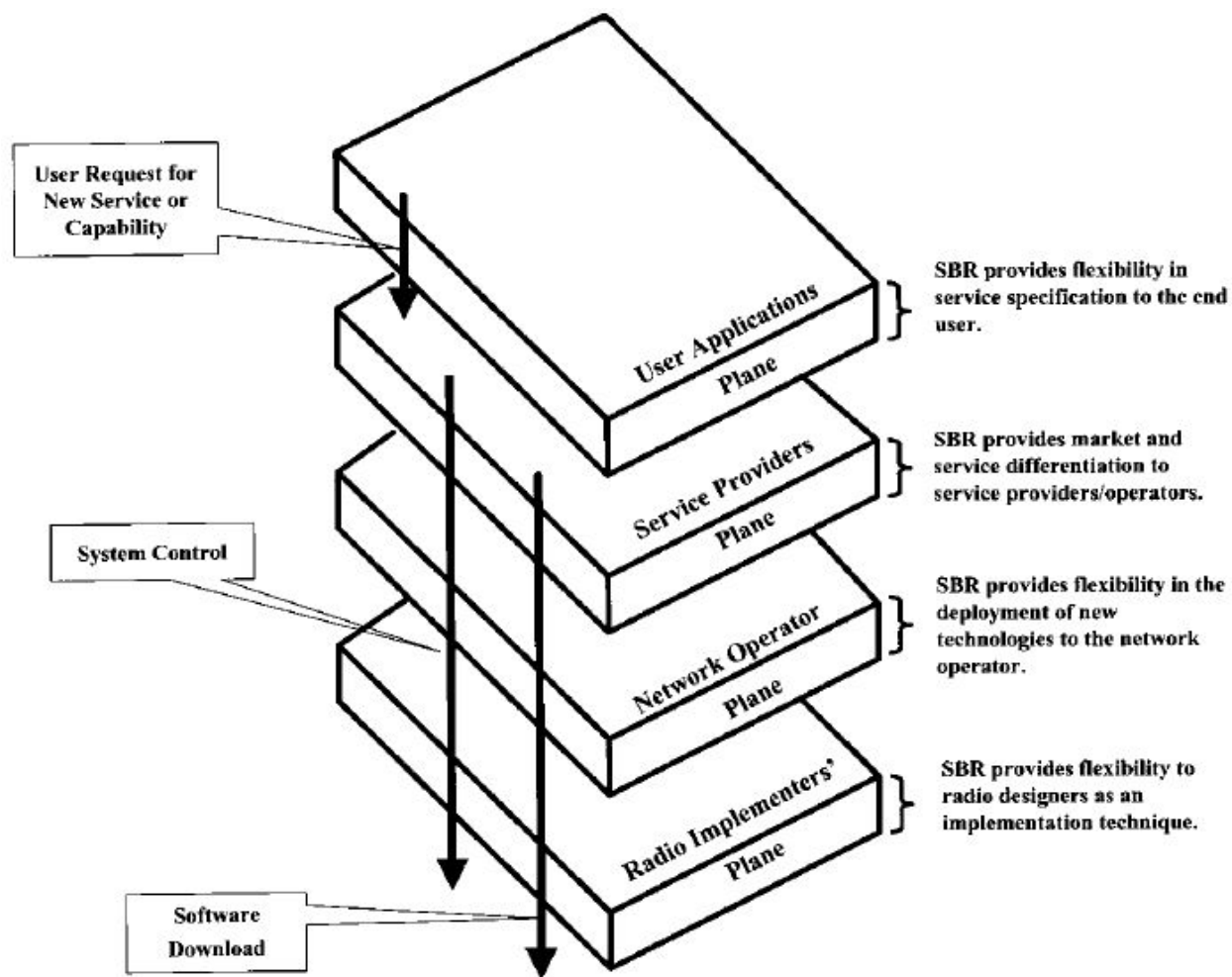
Недостатки:

- 1) Высокая сложность
- 2) Может понадобиться несколько сигналов генераторов
- 3) Требуются специализированные ППФ.



# III. Программируемое радио.

## Многомерная модель ПОР.



### III. Программируемое радио.

---

Определения.

ПОР – программно-определяемое радио (SDR)

КР – когнитивное радио (CR)

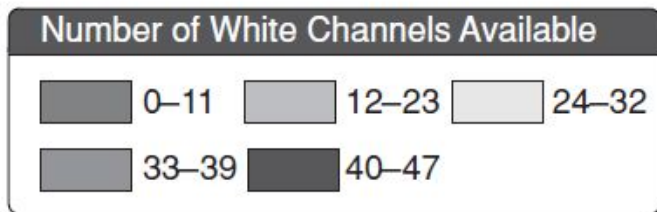
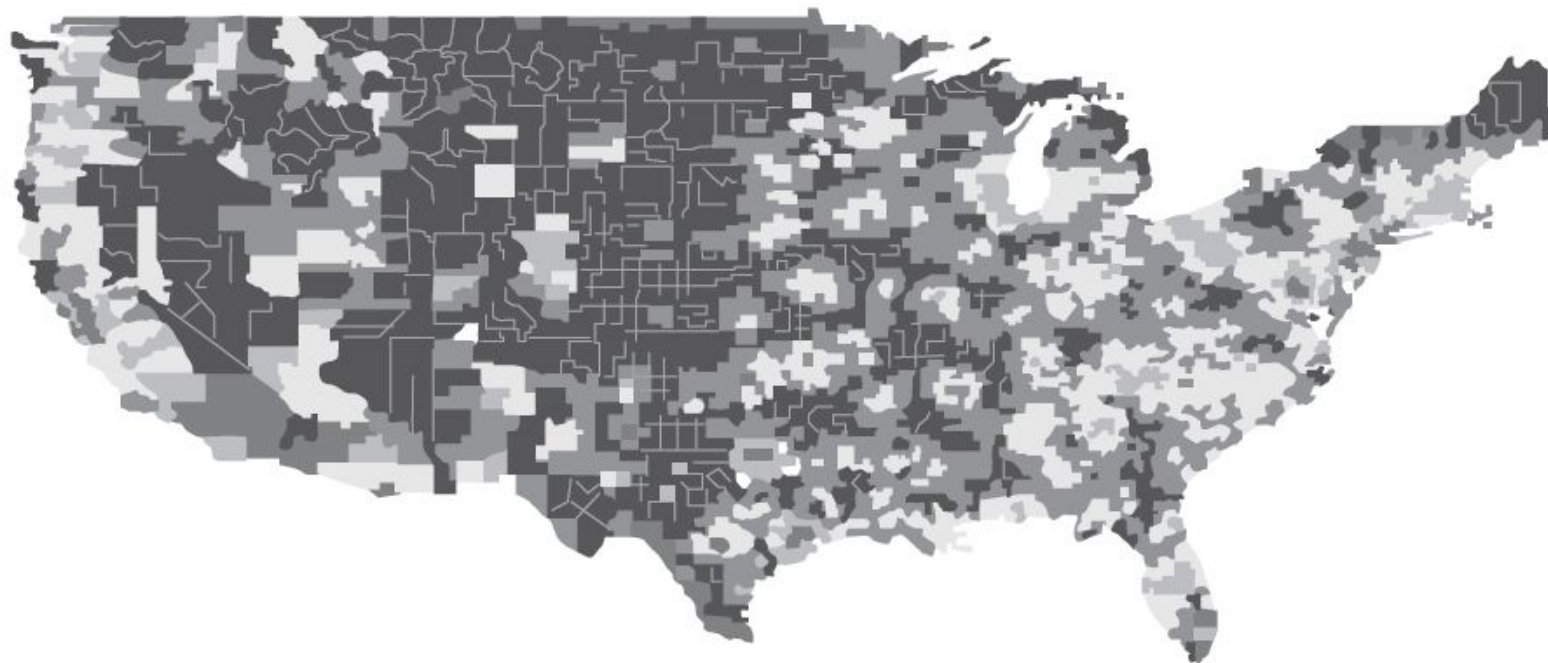
Cognition – познание (распознавание, измерение)

Sensing – считывание (измерение)

# III. Программируемое радио.

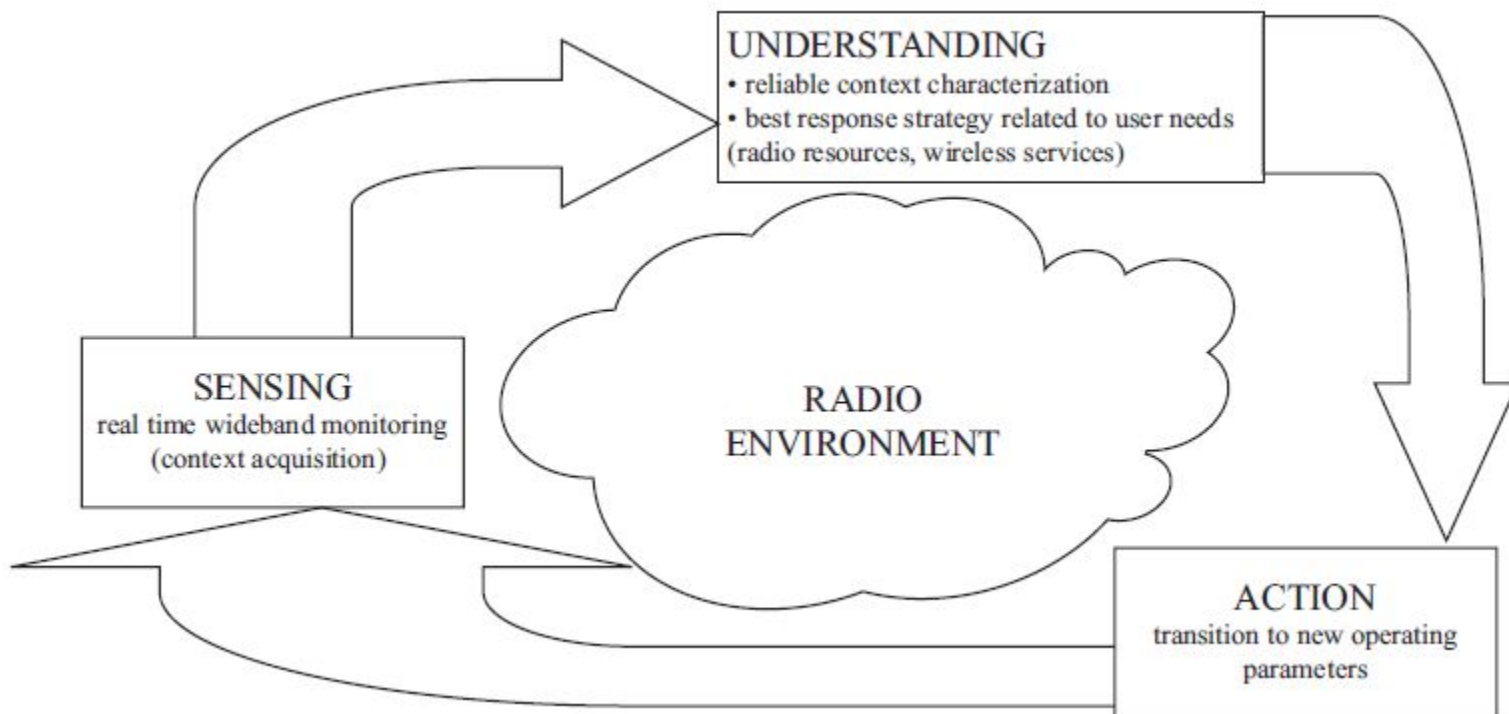
---

Телевизионные диапазоны.



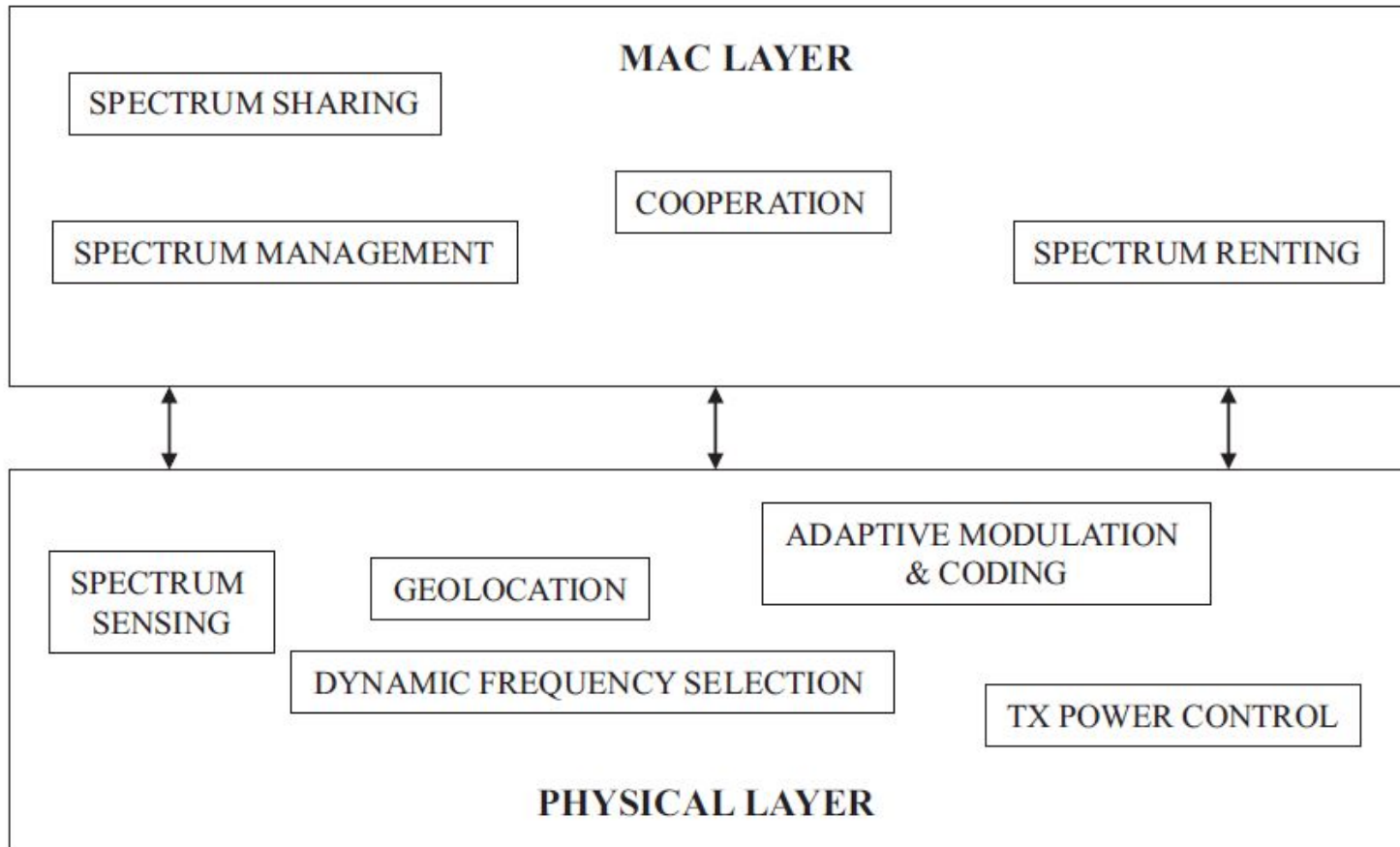
# III. Программируемое радио.

## Spectrum sensing



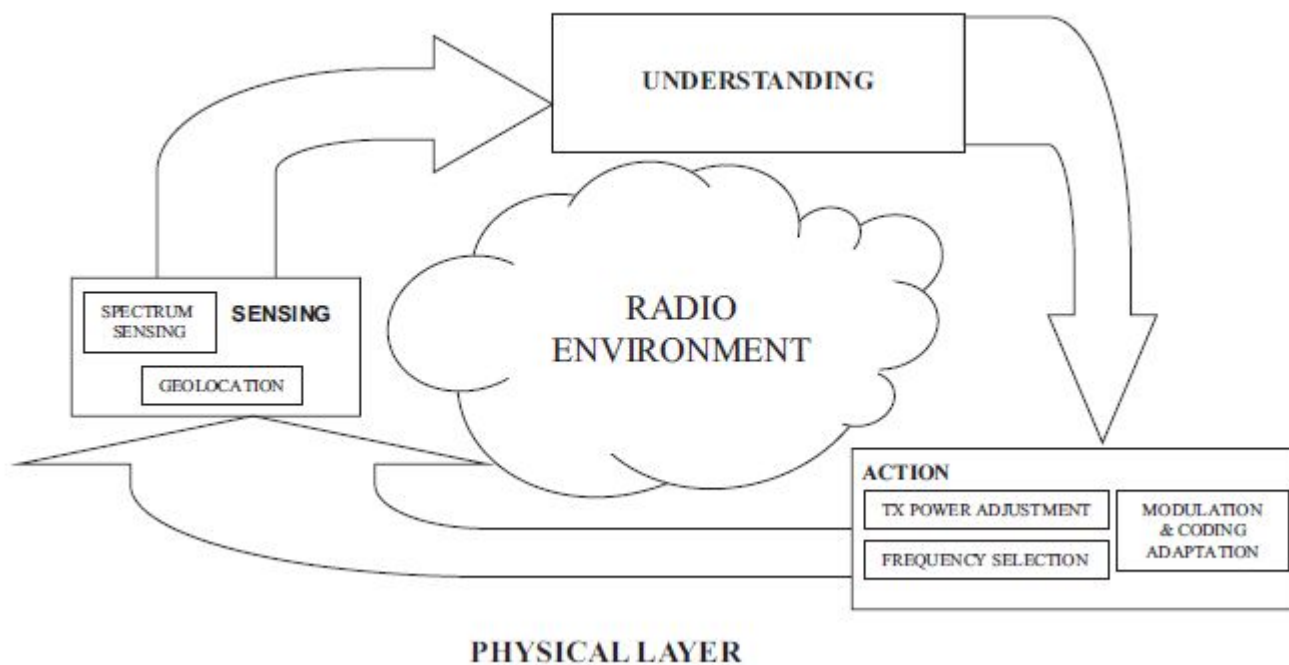
# III. Программируемое радио.

Spectrum sensing (измерение, распознавание спектра)



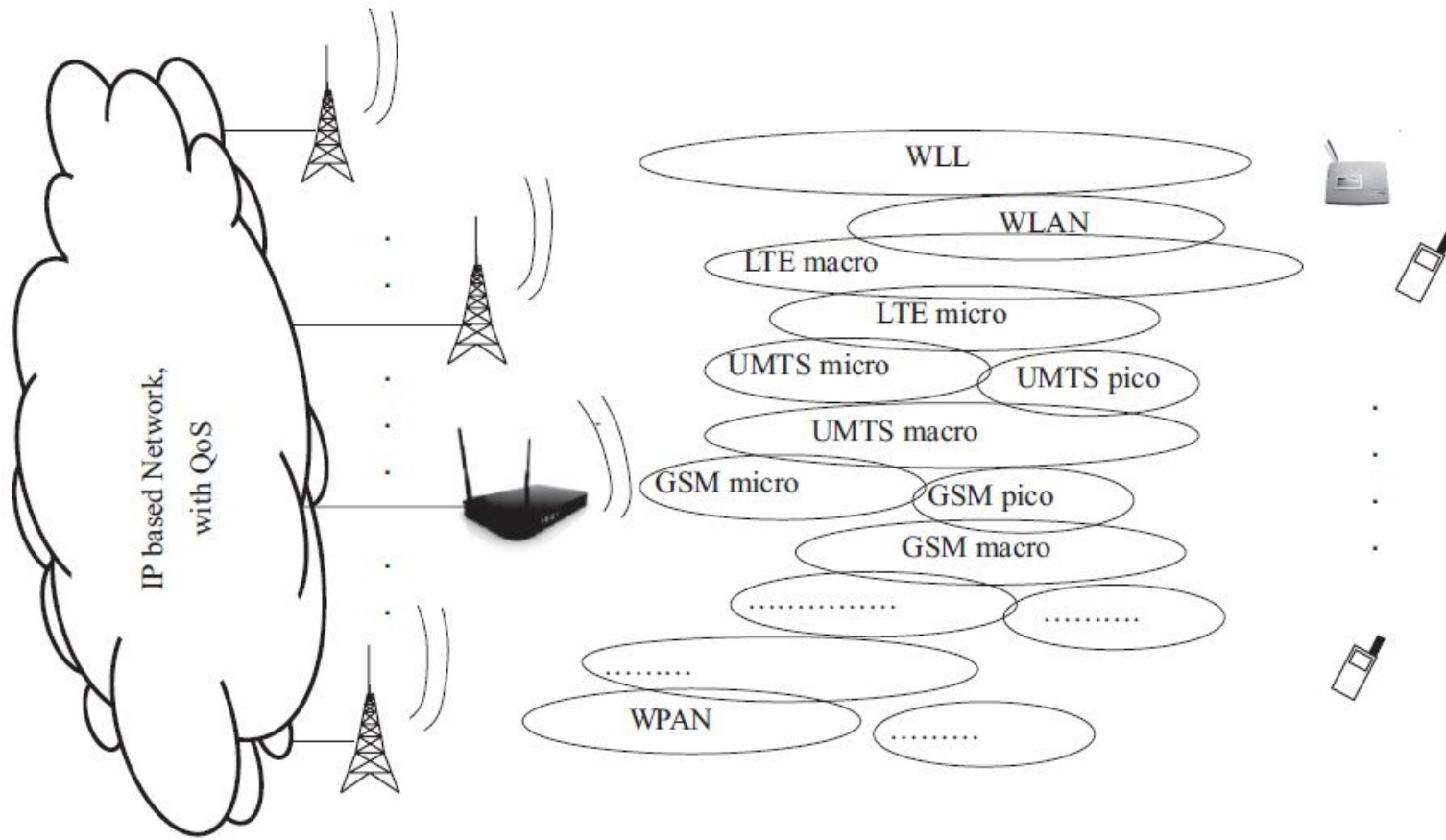
# III. Программируемое радио.

Sensing-understanding-action



# III. Программируемое радио.

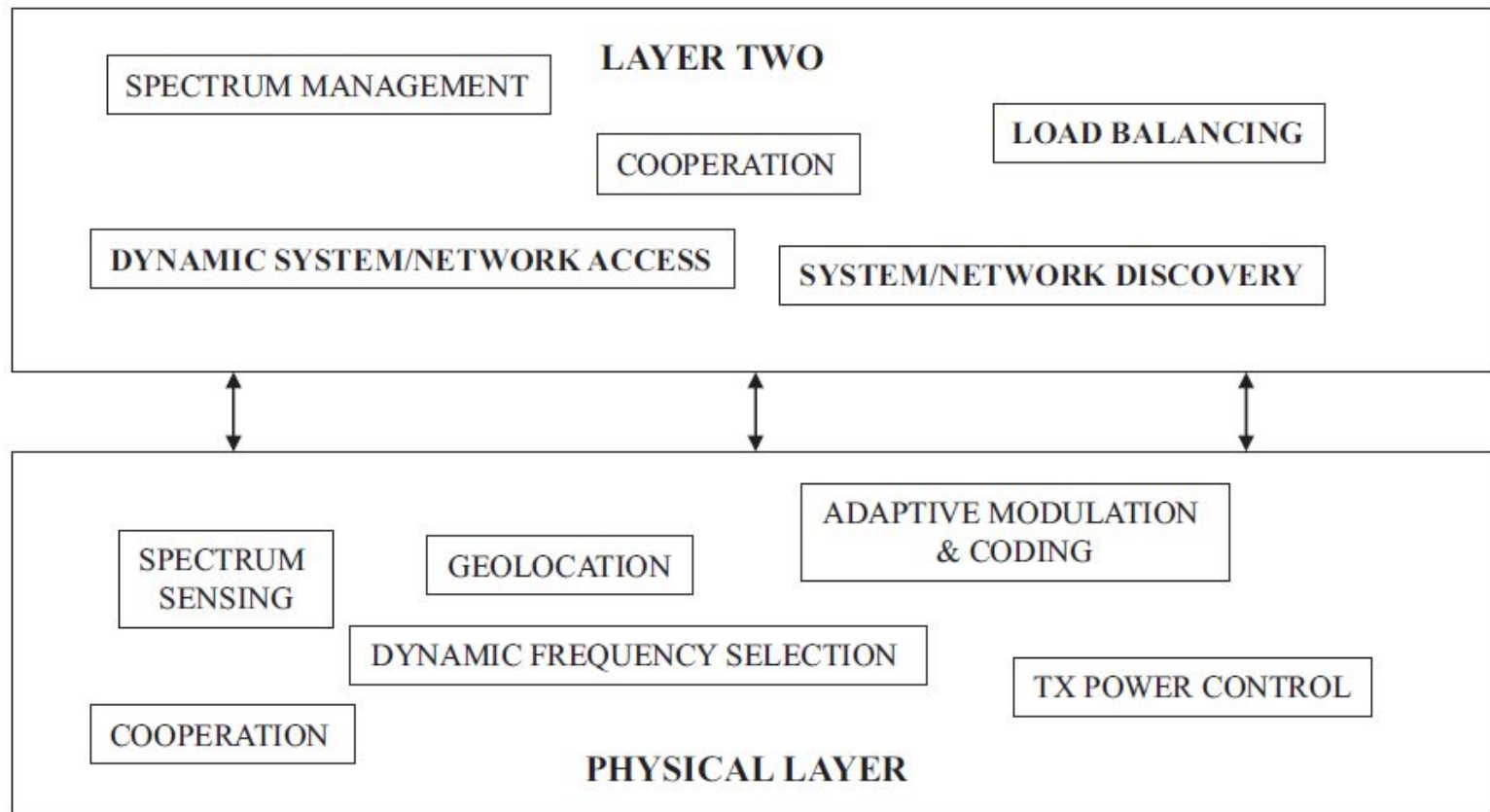
## Full Cognitive Radio



# III. Программируемое радио.

---

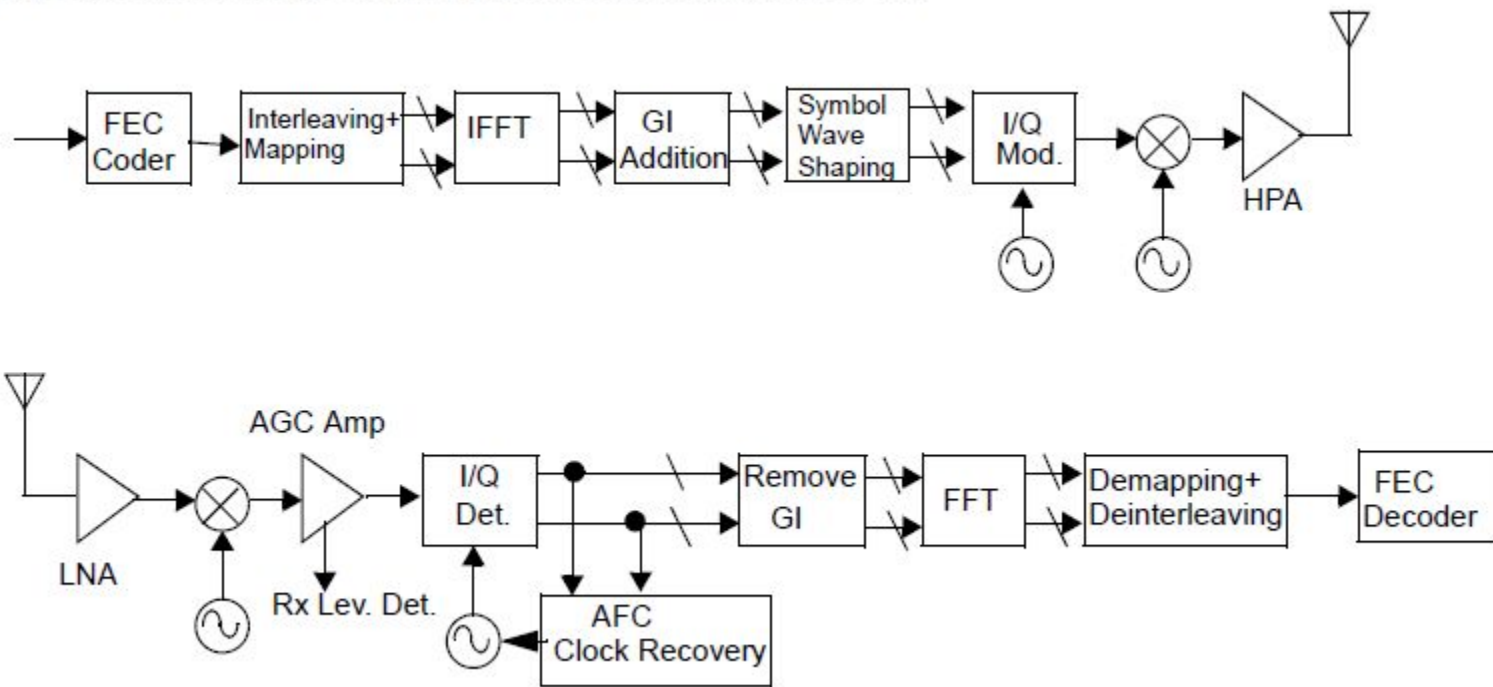
## Full Cognitive Radio





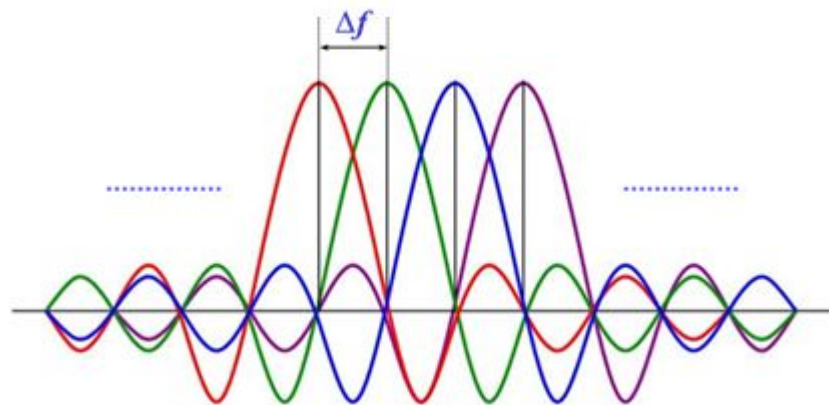
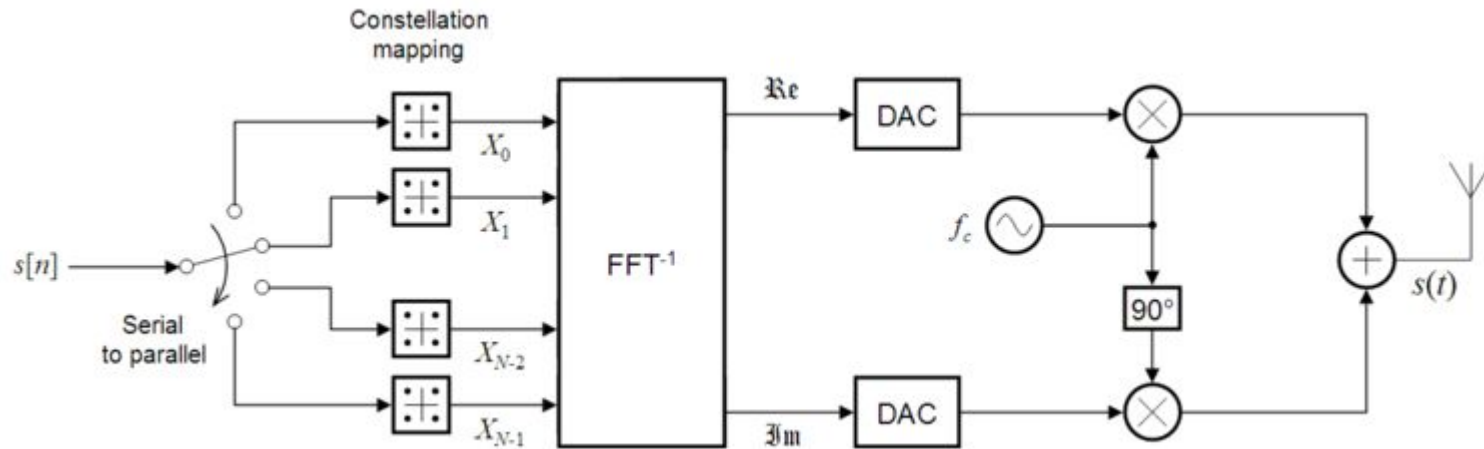
# III. Программируемое радио.

IEEE 802.11 и OFDM



# III. Программируемое радио.

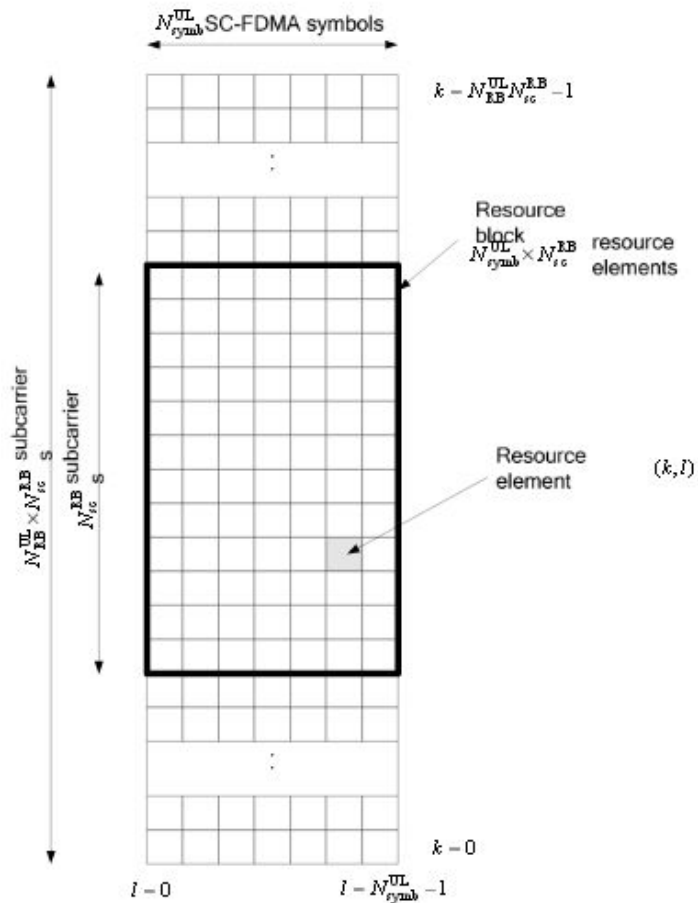
## IEEE 802.11 и OFDM



# III. Программируемое радио.

LTE

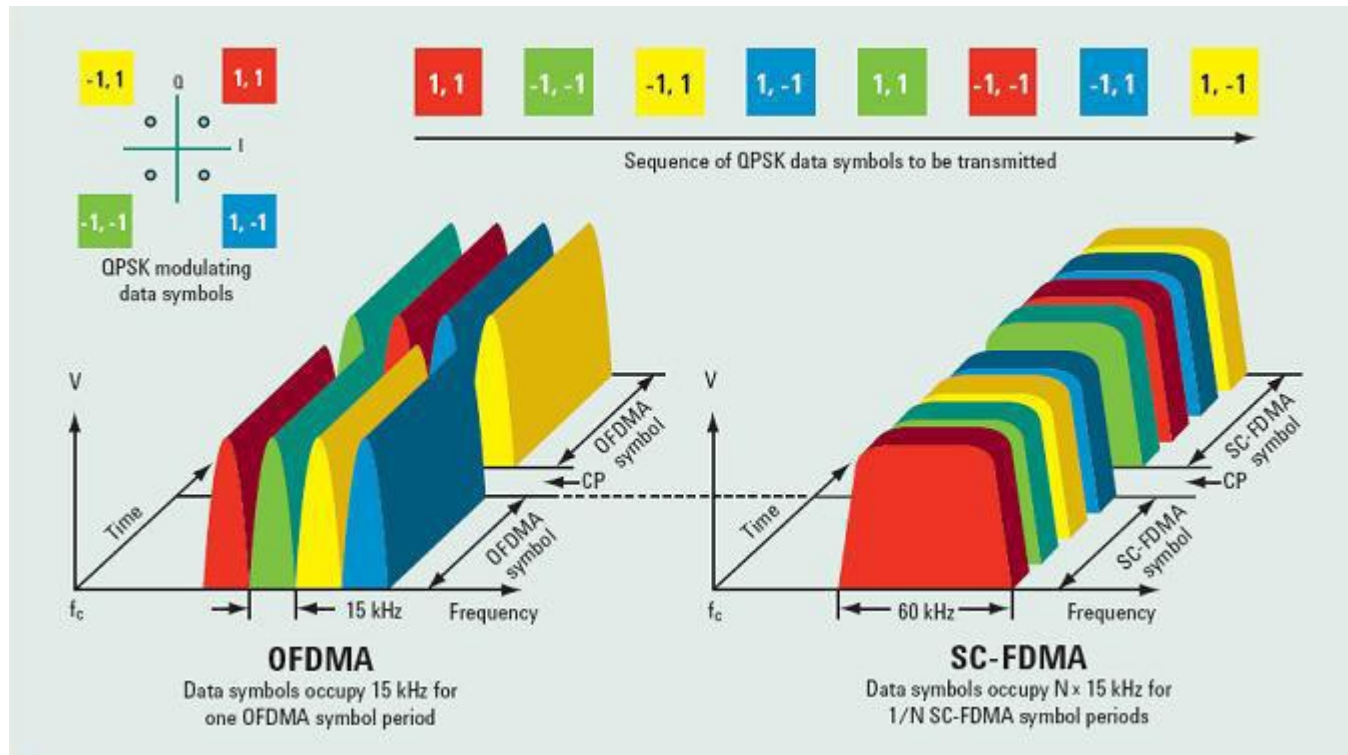
One uplink slot  $T_{slot}$



Channel bandwidth $BW_{Channel}$ [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration $N_{RB}$	6	15	25	50	75	100

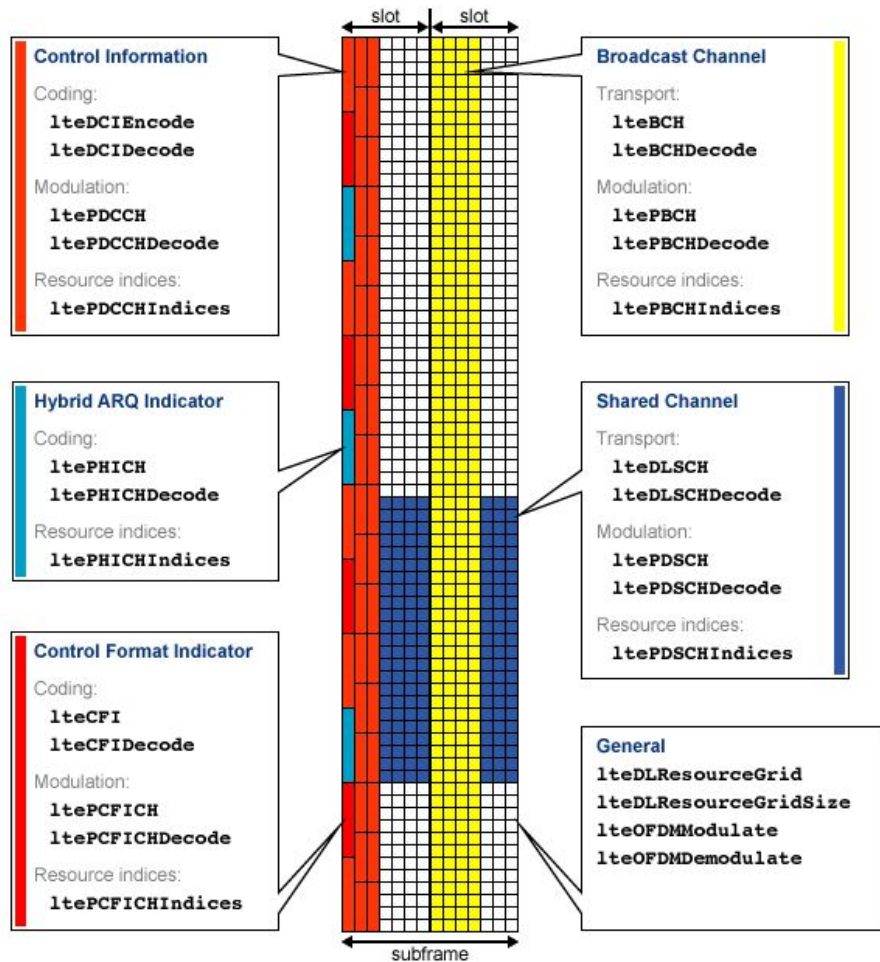
# III. Программируемое радио.

## OFDMA и SC-FDMA



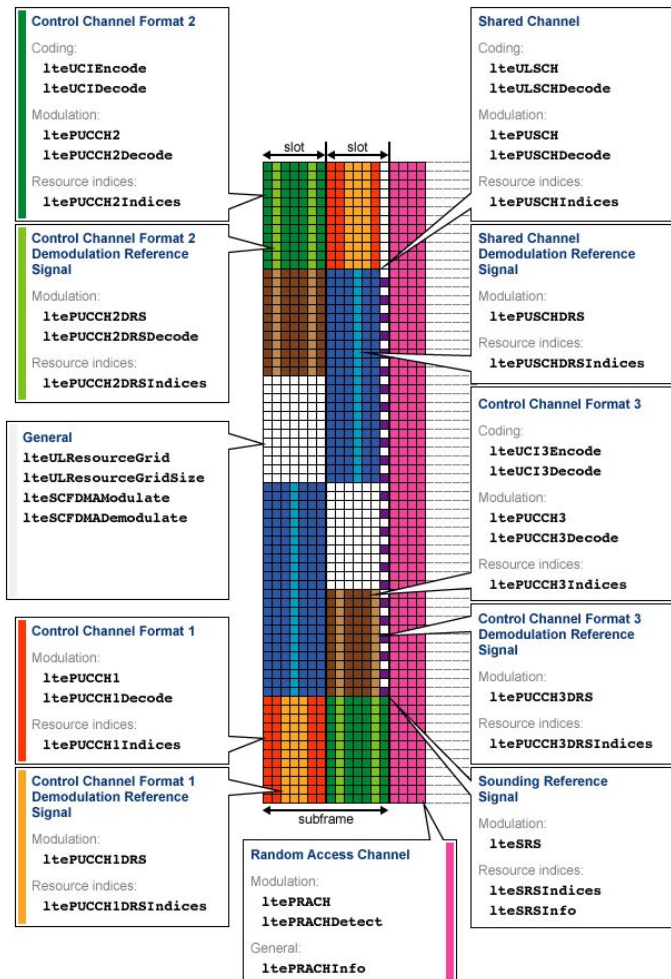
# III. Программируемое радио.

## Downlink Resource Grid



# III. Программируемое радио.

## Uplink Resource Grid





Московский Авиационный  
(Национальный Исследовательский  
Институт  
Университет)

---