



Семинар МСЭ  
*Козволюция инфокоммуникационных технологий и  
общества или пути к обществу без границ*  
Санкт- Петербург, Российская Федерация,  
5-7 июня 2013 года



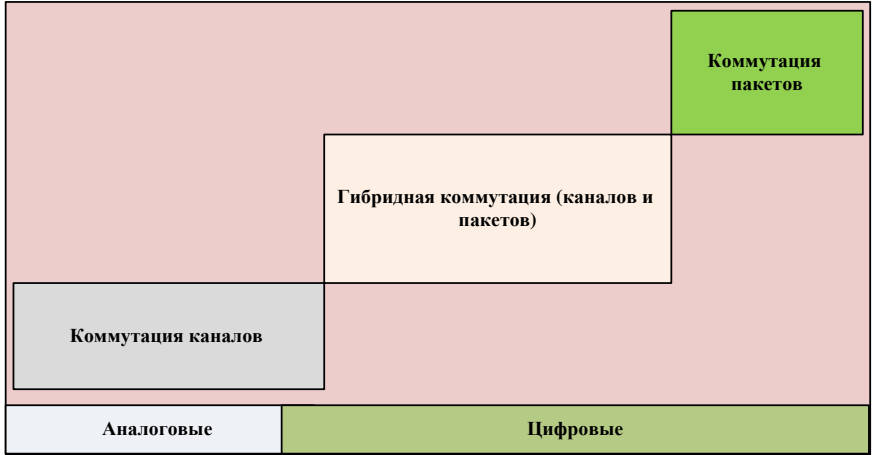
СПб ГИИТ)))

## Особенности применения искусственного интеллекта в перспективных сетевых технологиях

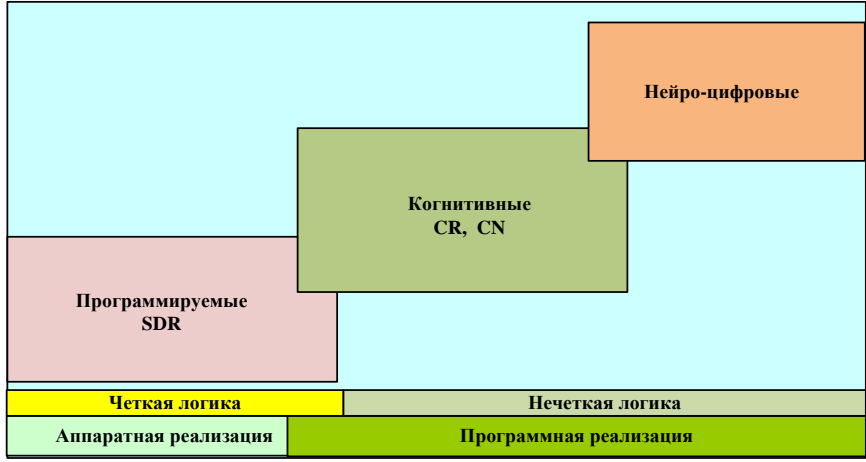
Саид Моджиб Абдулхаким Саиф

## Развитие беспроводных сетевых технологий идет в направлениях:

- увеличения скорости передачи данных;
- увеличения мобильности пользователей;
- расширения количества и улучшения качества предоставляемых услуг;
- улучшения степени использования радиочастотного спектра;
- улучшения степени интеллектуальности сетевого и абонентского оборудования.



Технология построения сетей связи



Технология средств связи

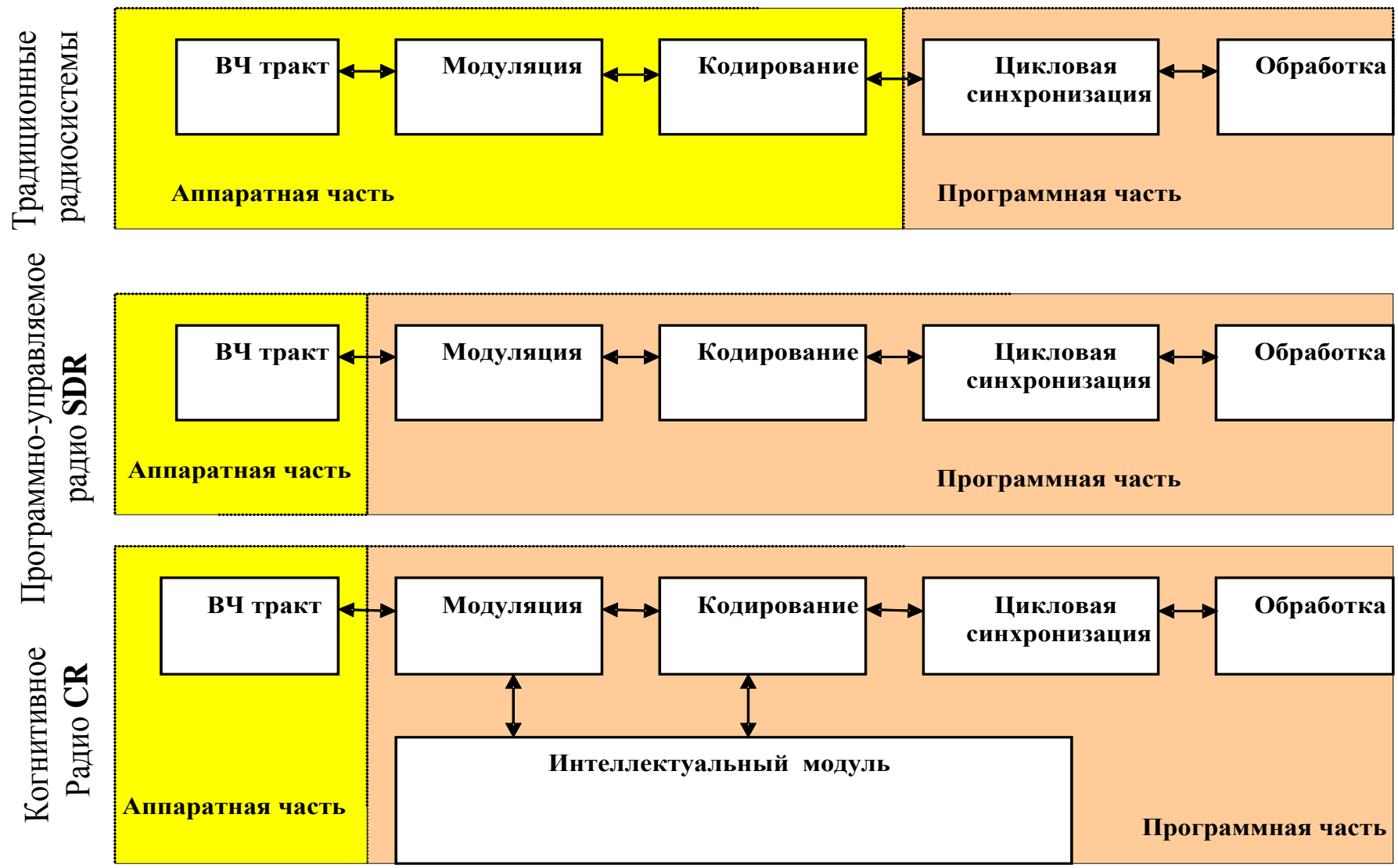
Кто владеет информацией – тот правит миром

Известная поговорка

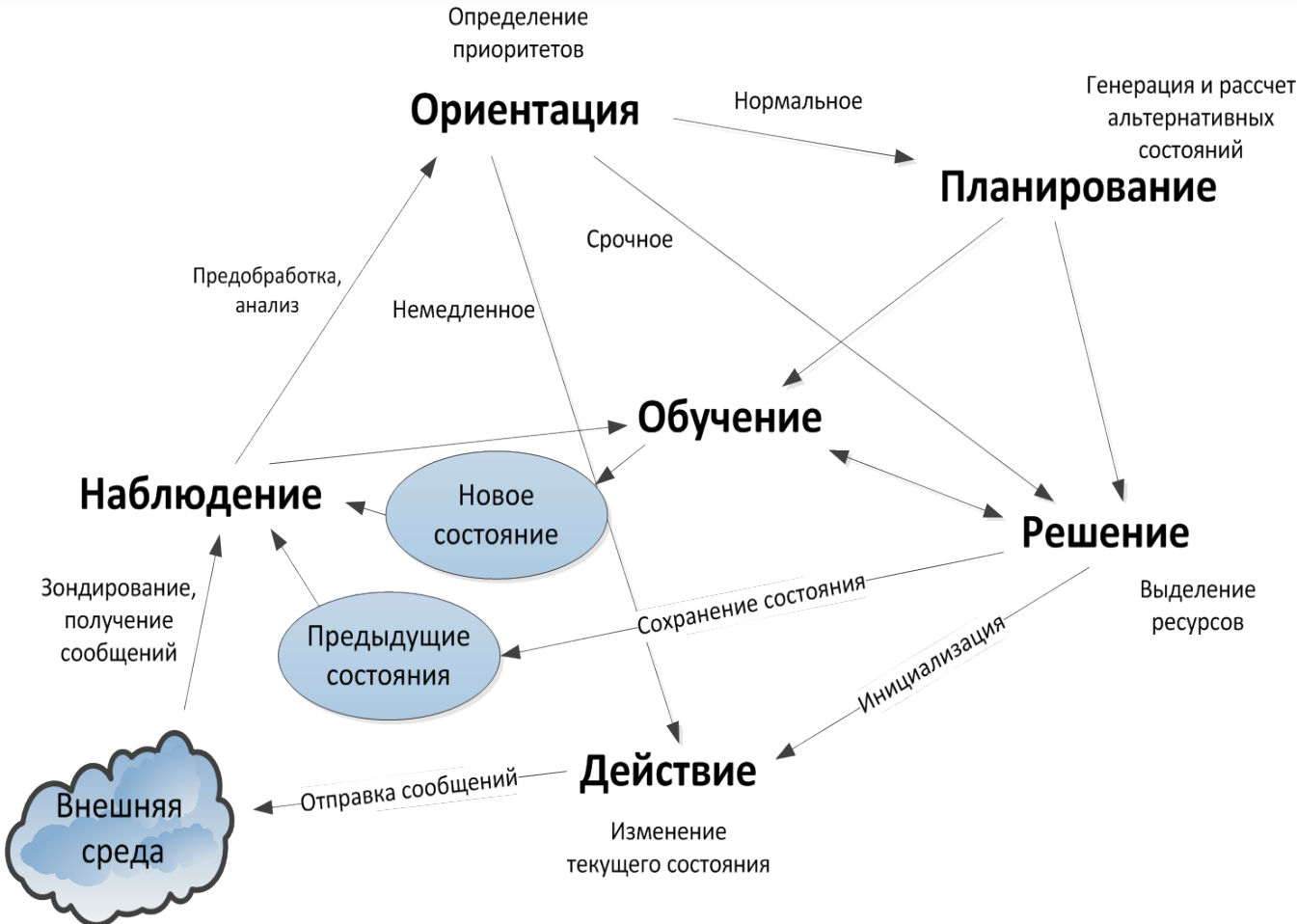
Кто умеет систематизировать информацию и из нее получать знания, тот правит миром!

Когнитивные технология

# Качественные отличия когнитивных радиосистем



# Когнитивный цикл (OODA-цикл) функционирования радиосистемы



**Наблюдение** - это процесс сбора информации, необходимой для принятия решения в каждом конкретном случае. Необходимая информация может быть получена как от внешних, так и от внутренних источников.

**Ориентация** - этап ориентации ответственен за установку приоритетов и вид действия, применяемый в данном случае: немедленное, срочное или нормальное.

**Решение** - если к этому этапу устройство смогло сформировать только один план, то просто принимается решение - выполнять этот план, или нет.

**Действие** - заключительный этап цикла, который предусматривает практическую реализацию принятого решения.

# Нечеткая система управления (нечеткий контроллер)

Структура интеллектуальной системы включает три основных блока:

- базу знаний,
- решатель и
- интеллектуальный интерфейс

Нечеткие логические системы управления обычно состоят из четырех основных частей:

- **Интерфейс фаззификации** (введение нечеткости на четких входных данных),
- **База знаний,**
- **Машина нечеткого вывода** (механизм сопоставления по БП, заложенные в БЗ, нечетких значений входных параметров нечетким значениям выходных ) и
- **Интерфейс дефаззификации** (исключение нечеткости для обеспечения четкого выхода).

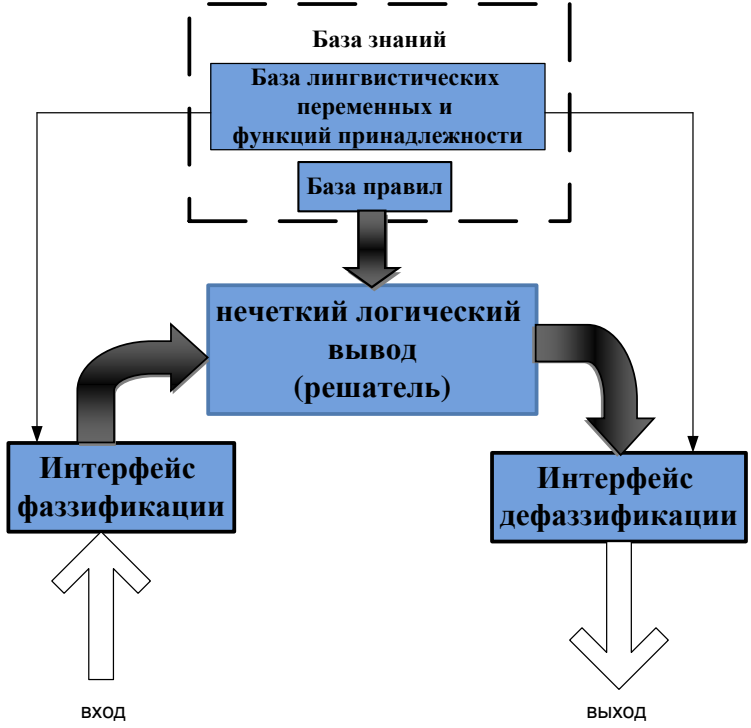
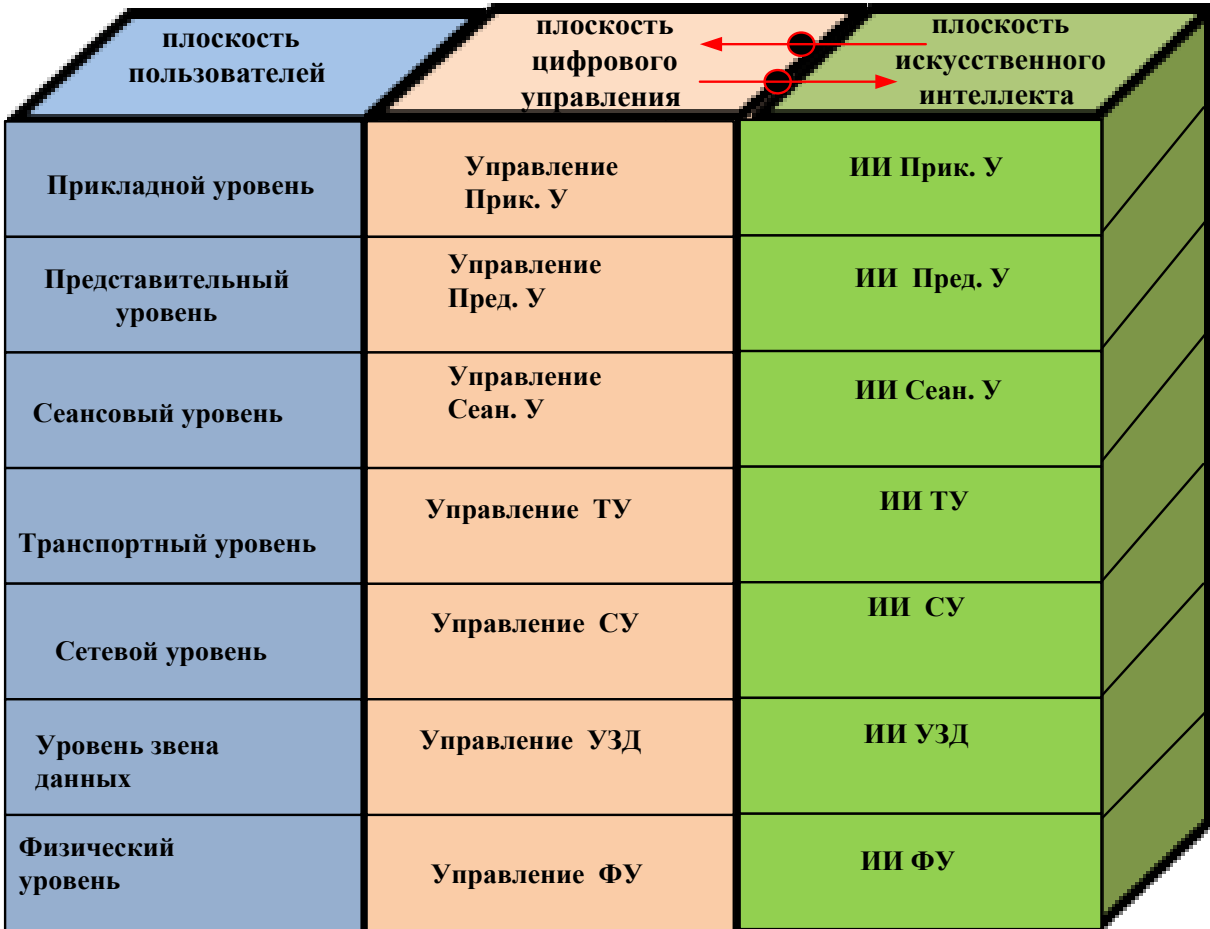


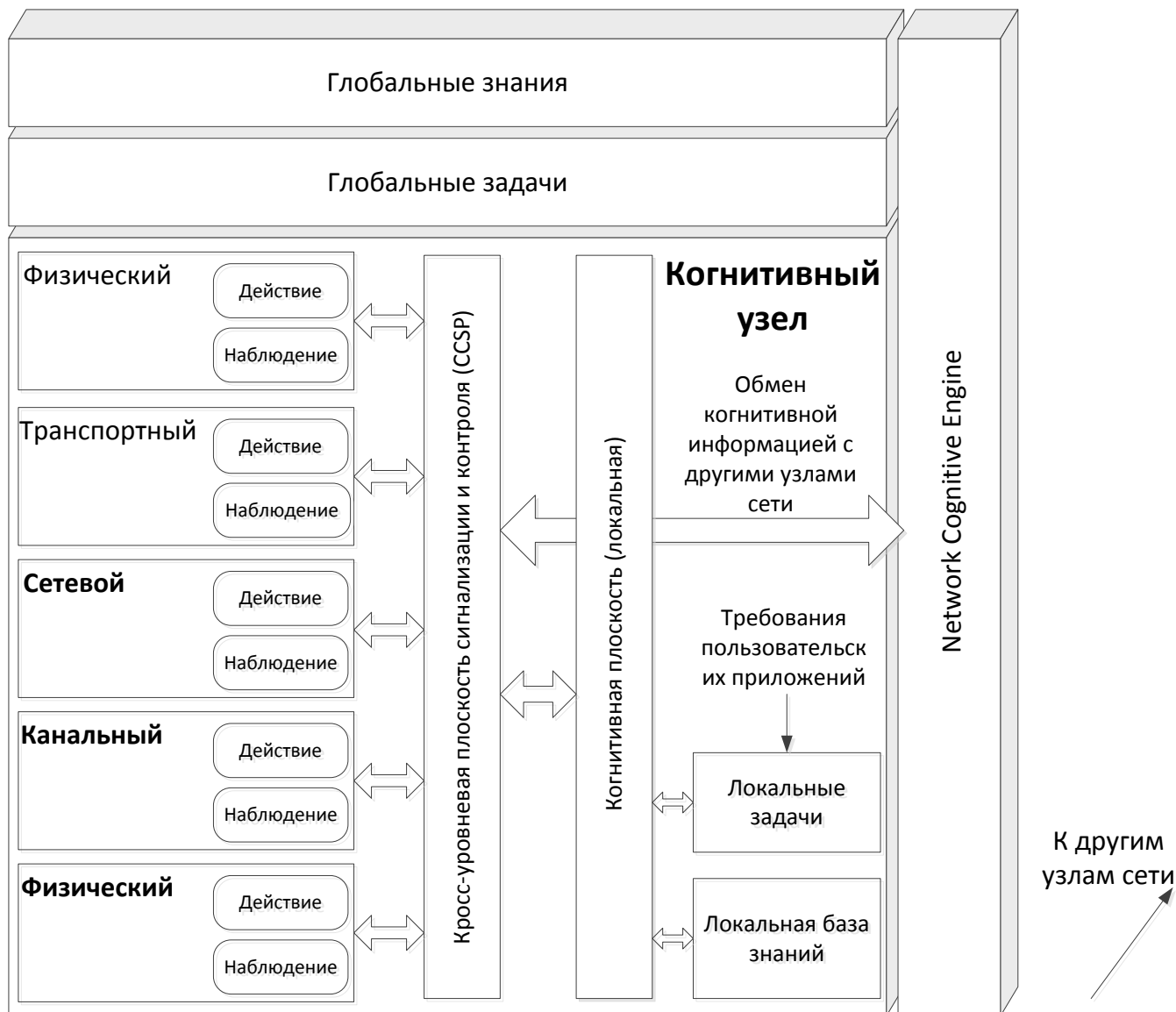
Схема нечеткого контроллера

# Многоуровневая архитектура когнитивной сети

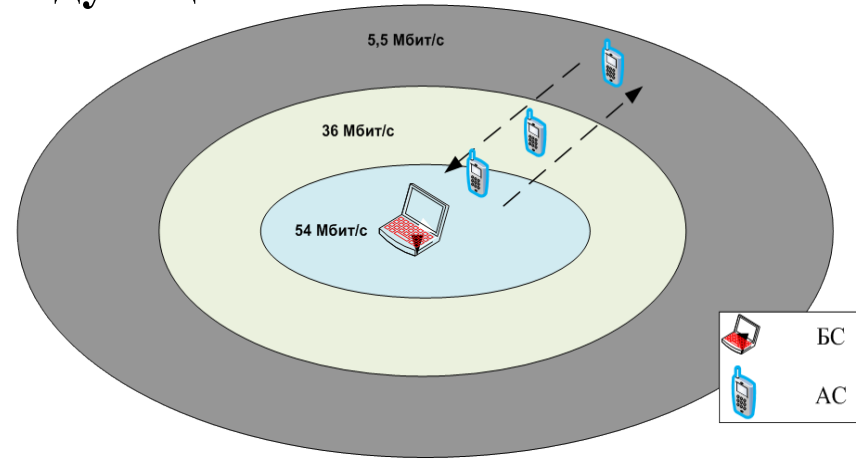
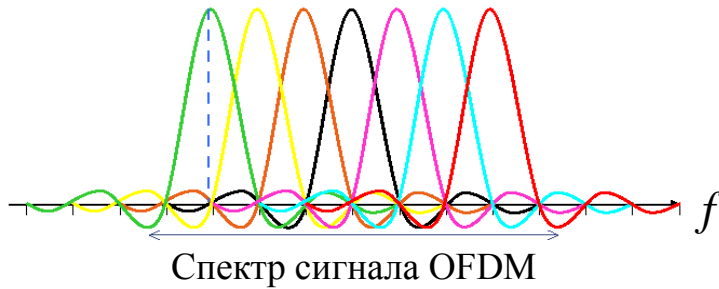
Функции искусственного интеллекта могут быть реализованы разными способами:

- ◆ искусственными нейронными сетями,
- ◆ **нечеткой логикой**,
- ◆ генетическими алгоритмами,
- ◆ нечетко-нейронными сетями и т.д.

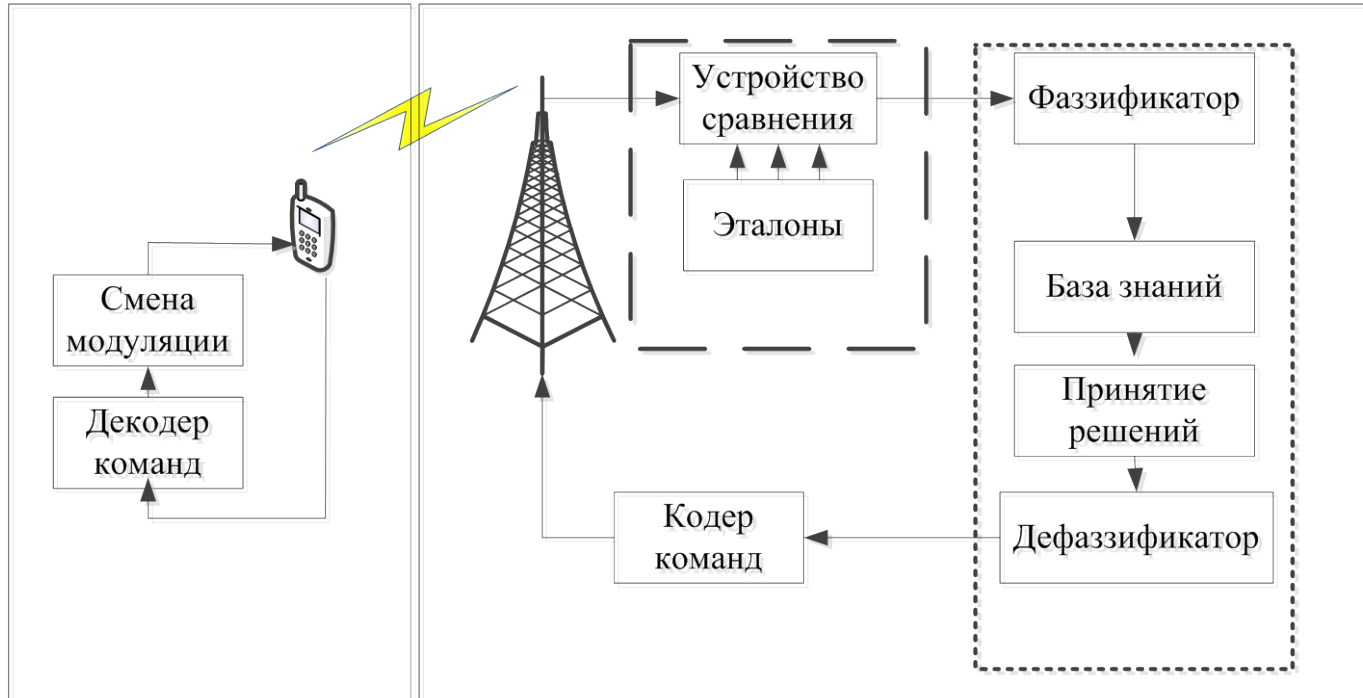




## Адаптивное управление скоростью модуляции

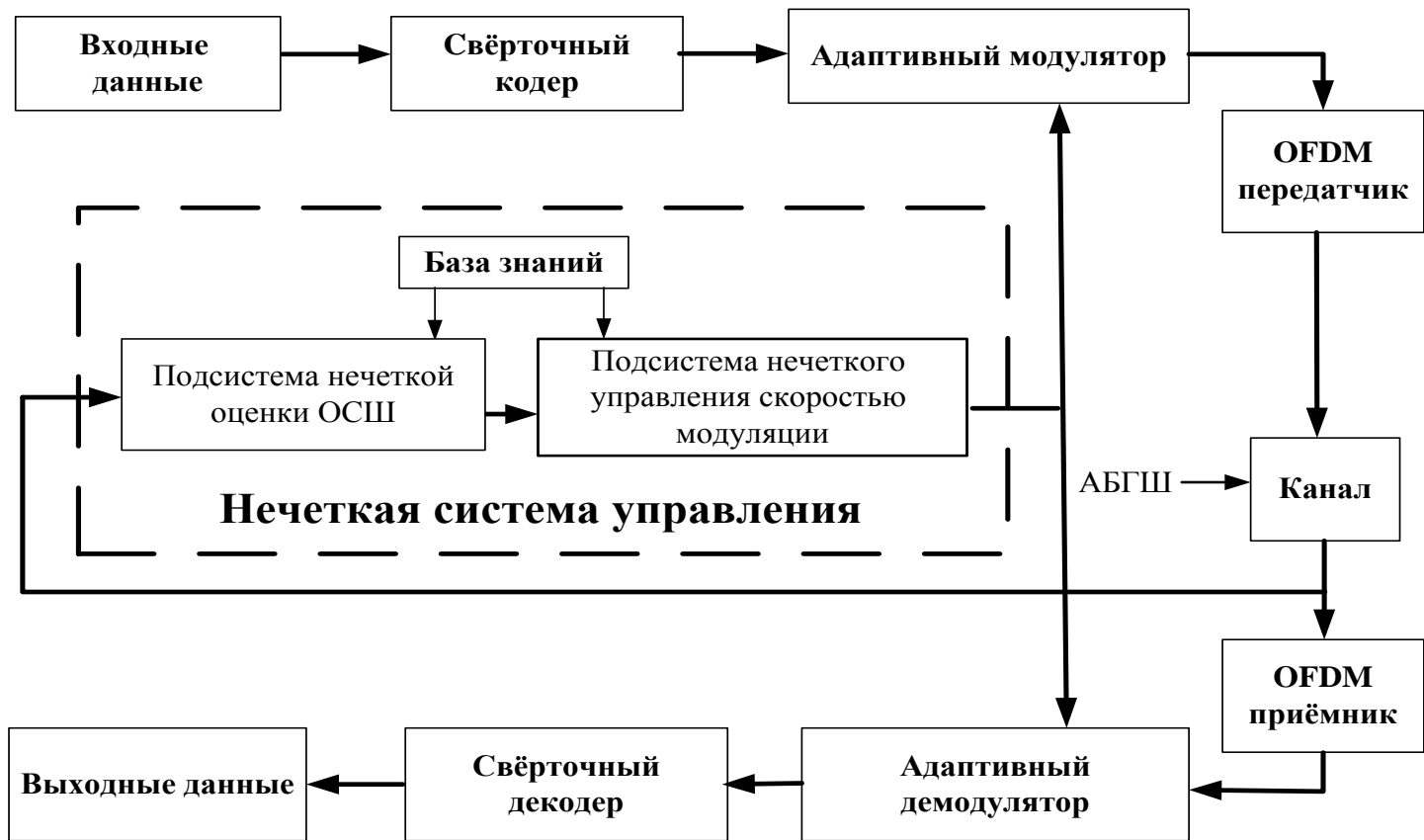


Абонент    Базовая станция



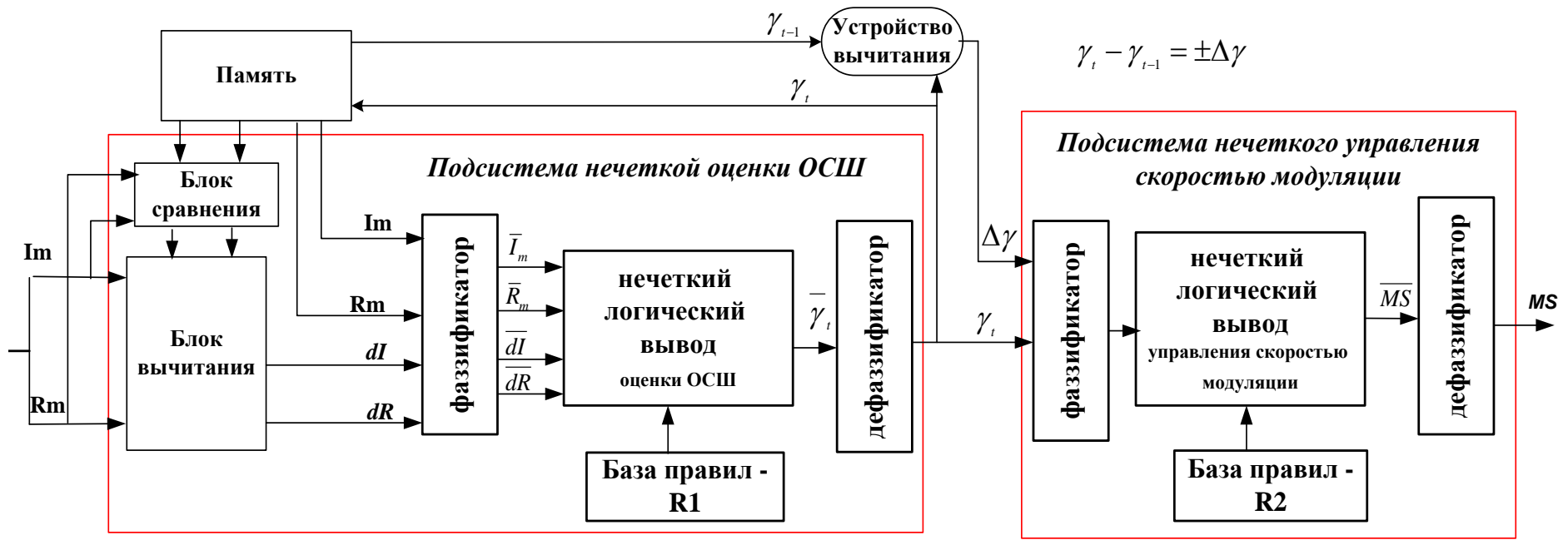


# Обобщенная схема системы нечеткого управления скоростью модуляции



- Подсистема нечеткой оценки отношения сигнал/шум (ОШС) осуществляется оценкой ОШС в радиоканале (от кадра к кадру).
- Подсистема нечеткого управления скоростью модуляции на основе оценки ОШС принимает решение по выбору конкретного вида модуляции для передачи следующего кадра.

# Структурная схема нечеткого контроллера



$R_m, I_m, dR, dI$  - рассматриваются как нечеткие переменные, терм-множеством которых определяется как:

$T_d = \{ "H", "C", "B" \}$  где В- высокое значение, С- среднее значение; Н- низкое значение.

Значение ОСШ определяется как логический вывод, полученный в результате применения базы правил:

$$\gamma = R1(R_m, I_m, dR, dI)$$

Скорость модуляции также представлена как лингвистическая переменная, базовое терм-множество которой определяется как множество возможных значений:  $T_{MS} = \{ 4QAM, 16QAM, 64QAM, 128QAM \}$

$$MS = R2(\gamma, \Delta\gamma)$$

## Лингвистические переменные

Входные значения	$R_m$	имя переменной	действительная составляющая сигнала
		терм-множество	{низкая; средняя; высокая}
		пределы значения	[0, 25] дБ
	$I_m$	имя переменной	мнимая составляющая сигнала
		терм-множество	{низкая; средняя; высокая}
		пределы значения	[0, 25] дБ
	$dR$	имя переменной	отклонение действительной составляющей
		терм-множество	{низкое; среднее; высокое}
		пределы значения	[0, 3] дБ
	$dI$	имя переменной	отклонение мнимой составляющей
		терм-множество	{низкое; среднее; высокое}
		пределы значения	[0, 2.5] дБ
Выходные значения	$\gamma$	имя переменной	отношение сигнал/шум
		терм-множество	{очень низкое; низкое; среднее; высокое; очень высокое}
		пределы значения	[0, 2.5] дБ

## База правил

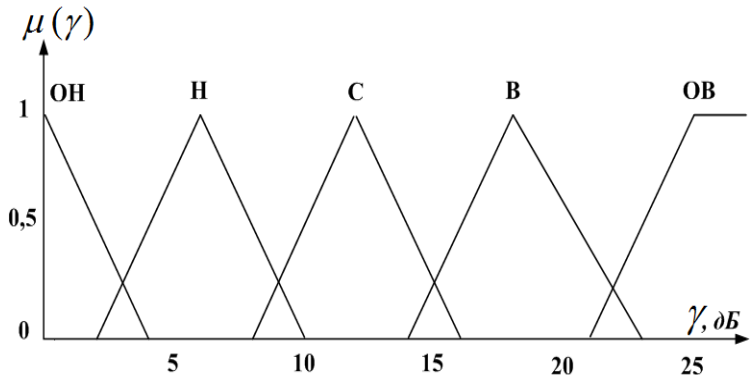
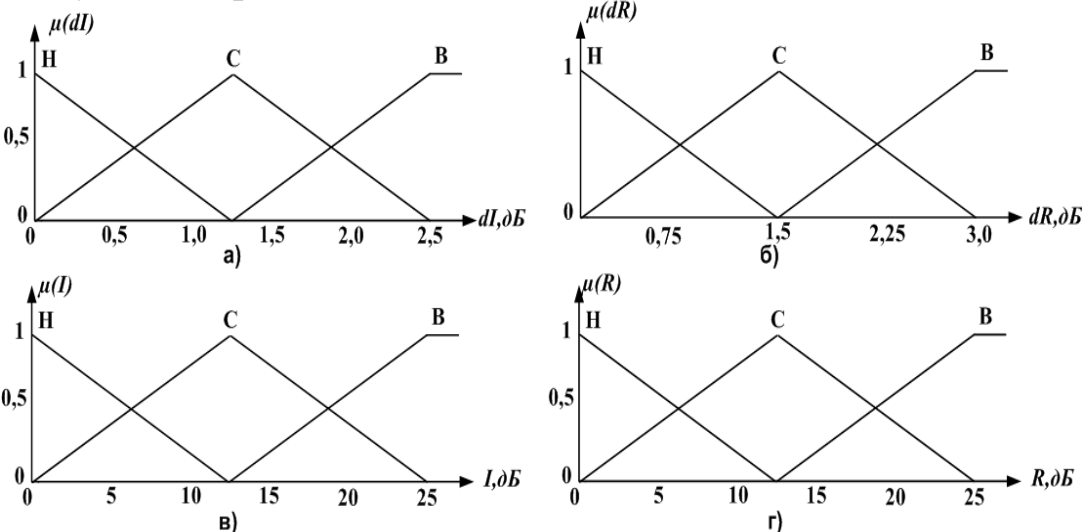
База правил имеет следующий вид:

Если  $R_m$  – высокое (В) и  $dR$  – низкое (Н), то  $\gamma$  – очень высокое (ОВ);  
 Если  $I_m$  – среднее (С) и  $dI$  – высокое (В), то  $\gamma$  – низкое (Н).

База правил R1

Значение составляющих из блока памяти, $R_m$ ( $I_m$ )		отклонение составляющей, $dR$ ( $dI$ )		
		Н	С	В
	Н	Н	Н	ОН
	С	В	С	Н
	В	ОВ	В	С

## Функции принадлежности



Функция принадлежности: а– отклонения мнимой составляющей;

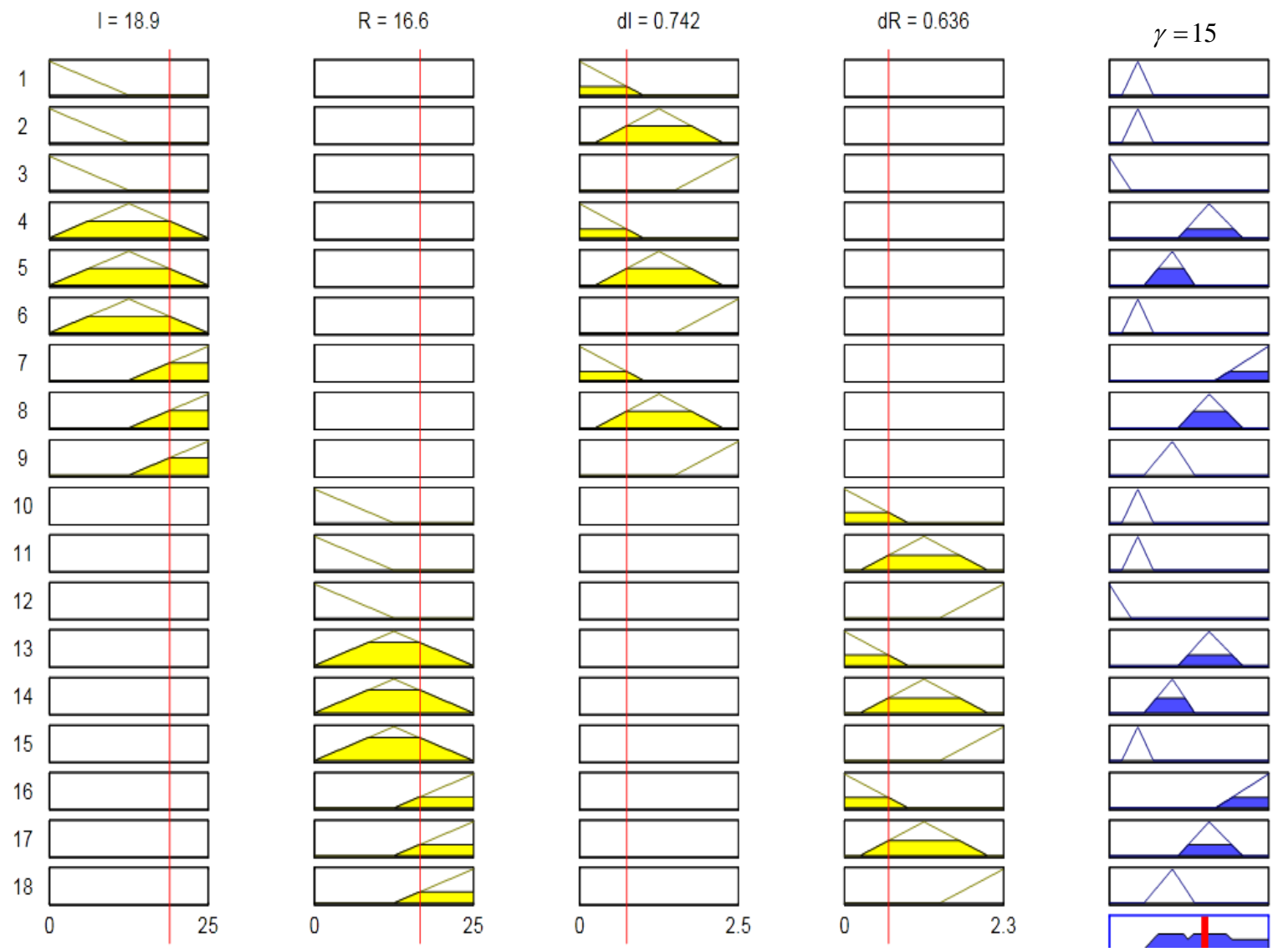
б– отклонения действительной составляющей; в– мнимой составляющей,

г– действительной составляющей сигнала

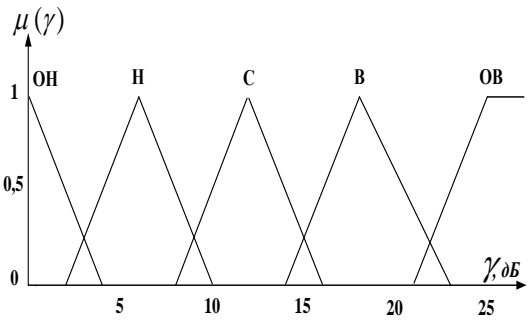
Функция принадлежности оценки соотношения сигнал- шум

# Результаты нечеткого вычисления отношения сигнал/ шум (ОСШ)

Результаты решения нечеткой логики по вычислению ОСШ в соответствии с набором входных данных ( $I=18.9$ ,  $R=16.6$ ,  $dI=0.7$ ,  $dR=0.6$ ) (про моделированы в пакете MATLAB).

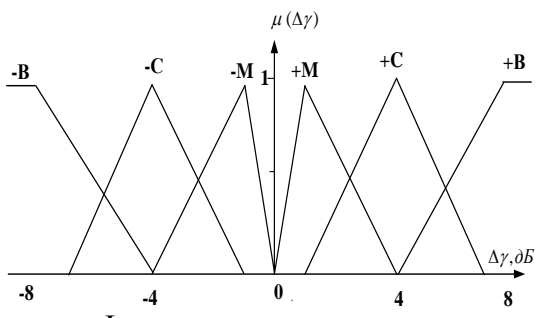


## Функции принадлежности

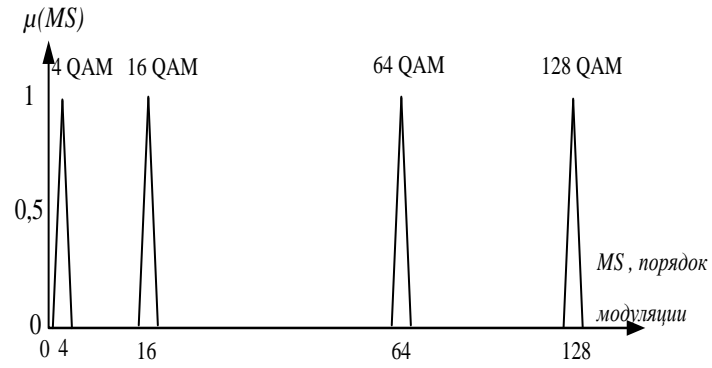


Функции принадлежности оценочного ОСШ

$$MS = R2(\gamma, \Delta\gamma)$$



Функции принадлежности скорости изменения ОСШ



Функция принадлежности схемы модуляции MS

## Лингвистические переменные

### База правил

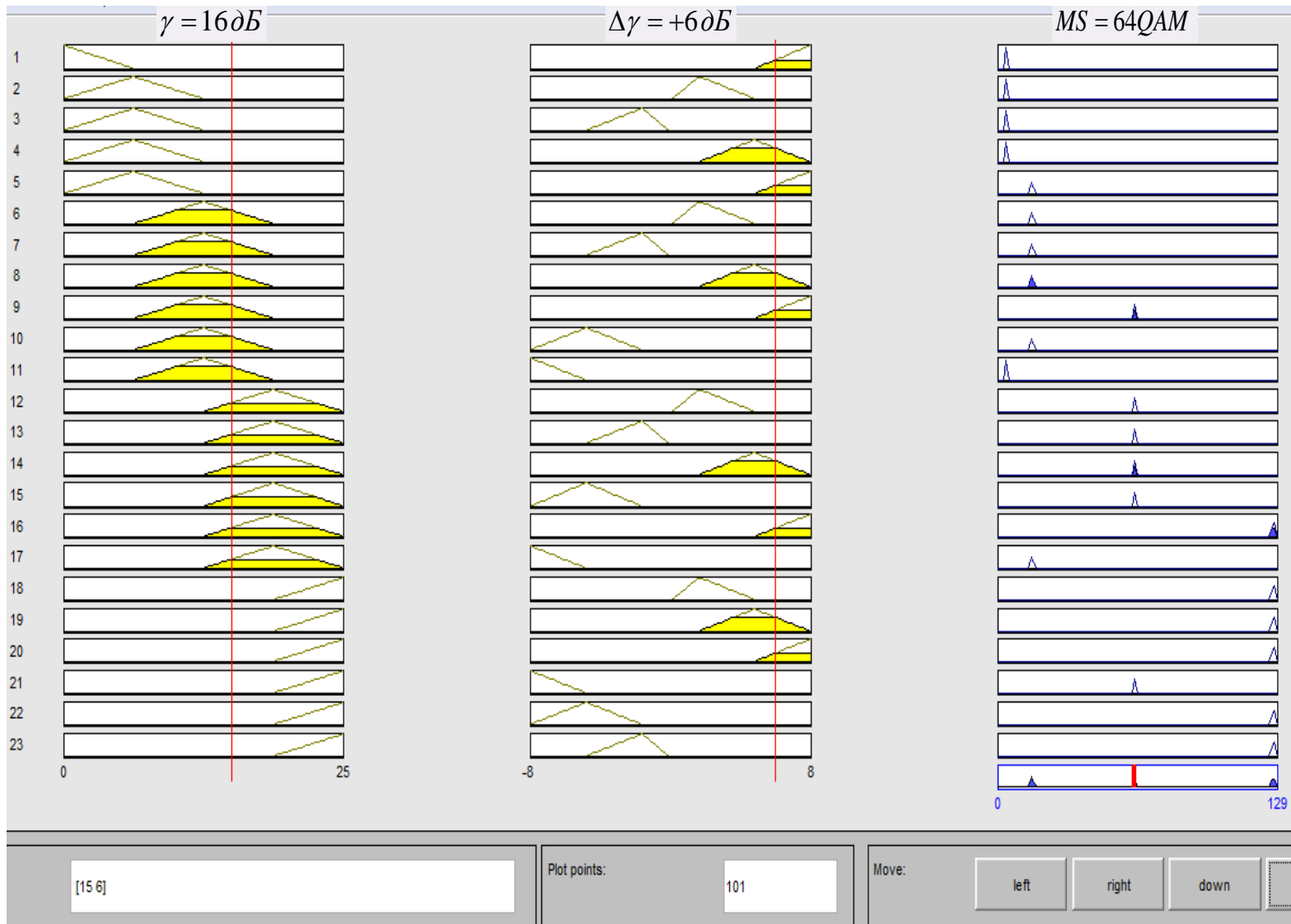
База правил нечеткого вывода будет включает правила следующего вида:

- Если  $\gamma$  – очень высокое (ОВ) и  $\Delta\gamma$  – малое ( $\pm M$ ), то MS – 128QAM;**
- Если  $\gamma$  – высокое (В) и  $\Delta\gamma$  – большое положительное (+В), то MS – 128QAM;**
- Если  $\gamma$  – высокое (В) и  $\Delta\gamma$  – малое ( $\pm M$ ), то MS – 64QAM;**
- Если  $\gamma$  – высокое (ОВ) и  $\Delta\gamma$  – большое отрицательное (-В), то MS – 16QAM;**
- Если  $\gamma$  – среднее (С) и  $\Delta\gamma$  – большое положительное (+В), то MS – 64QAM;**
- Если  $\gamma$  – среднее (С) и  $\Delta\gamma$  – малое ( $\pm M$ ), то MS – 16QAM;**
- Если  $\gamma$  – среднее (С) и  $\Delta\gamma$  – большое отрицательное (-В), то MS – 4QAM;**
- Если  $\gamma$  – низкое (Н) и  $\Delta\gamma$  – большое положительное (+В), то MS – 16QAM;**
- Если  $\gamma$  – низкое (Н) и  $\Delta\gamma$  – малое ( $\pm M$ ), то MS – 4QAM;**
- Если  $\gamma$  – низкое (Н) и  $\Delta\gamma$  – большое отрицательное (-В), то отклонить передачу.**
- Если  $\gamma$  – очень низкое (ОН) и  $\Delta\gamma$  – малое ( $\pm M$ ), то отклонить передачу.**

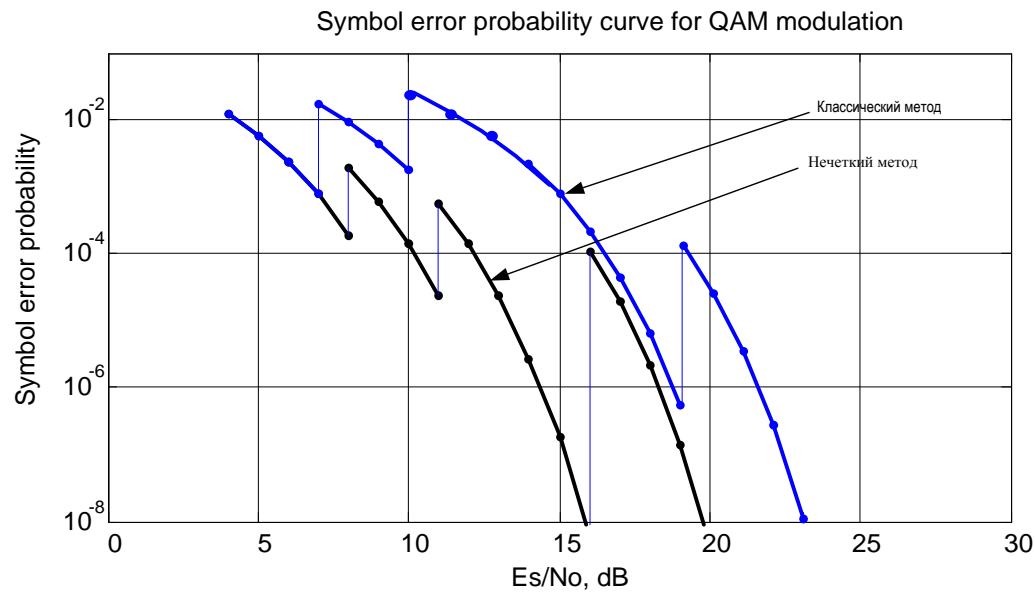
Входные значения	$\gamma$	имя переменной	соотношение сигнал/шум
		терм-множество	{низкая; средняя; высокая}
		пределы значения	[0, 25] дБ
	$\Delta\gamma$	имя переменной	скорость изменения соотношения сигнал/шум
		терм-множество	{низкая отрицательная; средняя отрицательная; высокая отрицательная; низкая положительная; средняя положительная; высокая положительная}
		пределы значения	[-8, +8] дБ
Выходные значения	MS	имя переменной	скорость модуляции
		терм-множество	{4-QAM; 16-QAM; 64-QAM; 128-QAM}

# Результаты решения нечеткой логики о выборе схемы модуляции

Соответственно полученному значению  $OSI$  из подсистемы нечеткой оценки ОСШ и скорости его изменения подсистема нечеткого управления скоростью модуляции принимает решение о выборе схемы модуляции  $MS$  для передачи следующего кадра.



- ❑ Использование нечеткой логики в системах адаптивной модуляции позволяет эффективно управлять скоростью модуляции при изменении состояния канала.
- ❑ Предложенный подход может быть использован для комплексного управления модуляцией и мощностью излучения.
- ❑ В рассмотренном решении вероятность появления ошибок уменьшается по сравнению с классическими методами.



Сравнение нечеткой и классической адаптивных модуляций

Разработка метода нечеткого управления множественным доступом осуществлялась с отчетом следующих предположений:

**Предположение 1.** Время передачи по каналу разделено на окна. Все окна имеют одинаковую длительность, равную времени передачи одного пакета.

**Предположение 2.** В каждом окне может произойти одно из трех событий:

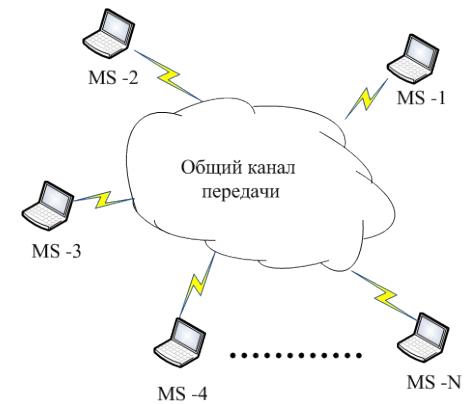
$$\theta_i = \begin{cases} E, & \text{если окно } w_i \text{ пустое (empty),} \\ S, & \text{если в окне } w_i \text{ успешная передача (success),} \\ C, & \text{если в окне } w_i \text{ конфликт (collision).} \end{cases}$$

Последовательность  $\theta(t) = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_t)$  называется историей канала к моменту  $t$ . Считается, что к моменту  $t+1$  все абоненты точно знают историю канала.

**Предположение 3.** У абонента имеется буфер для хранения одного пакета. Каждый абонент запоминает момент  $x$  возникновения последнего своего нового пакета и хранит пакет в памяти до момента успешной передачи этого пакета. Для пакета, полученного данным абонентом в момент  $x$ , запоминается также последовательность  $v^{(x)}(t) = \{v_1^{(x)}, \dots, v_t^{(x)}\}$ , где:

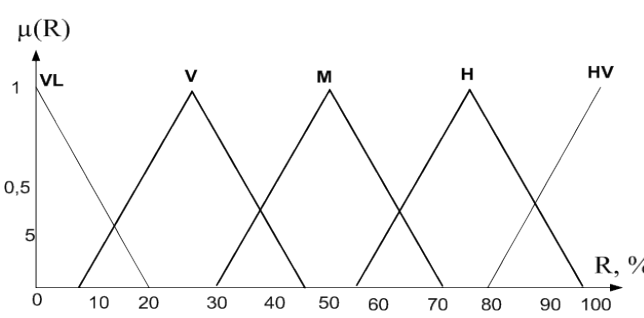
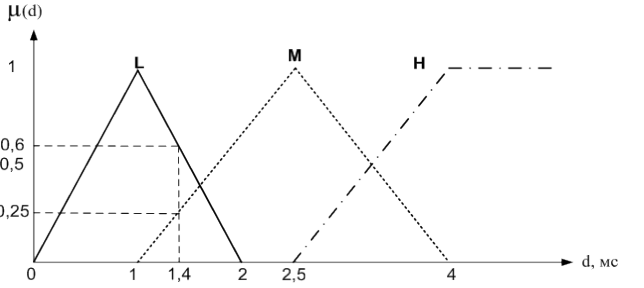
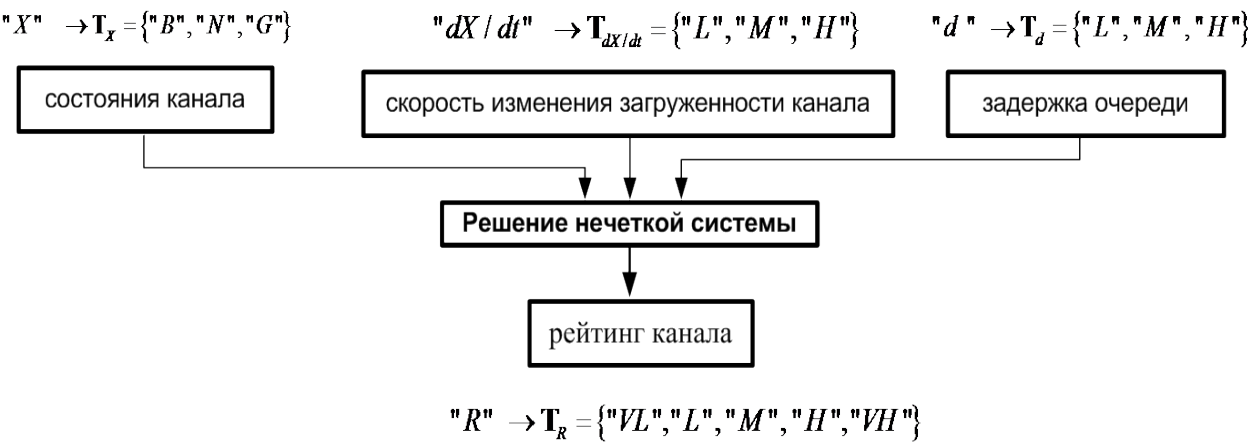
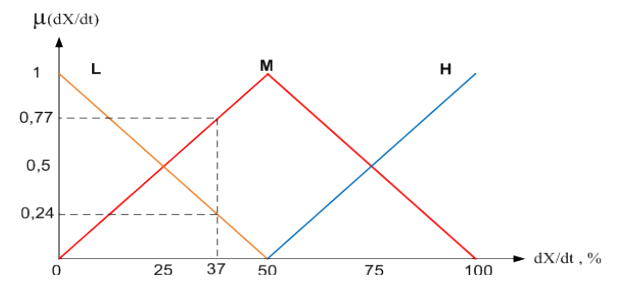
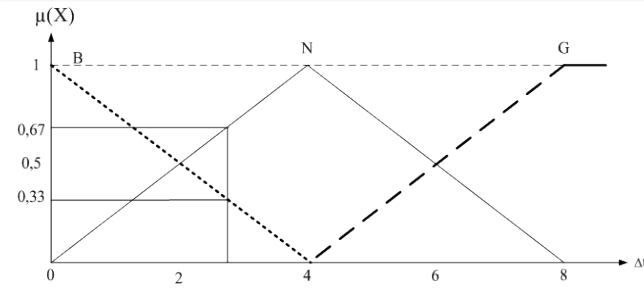
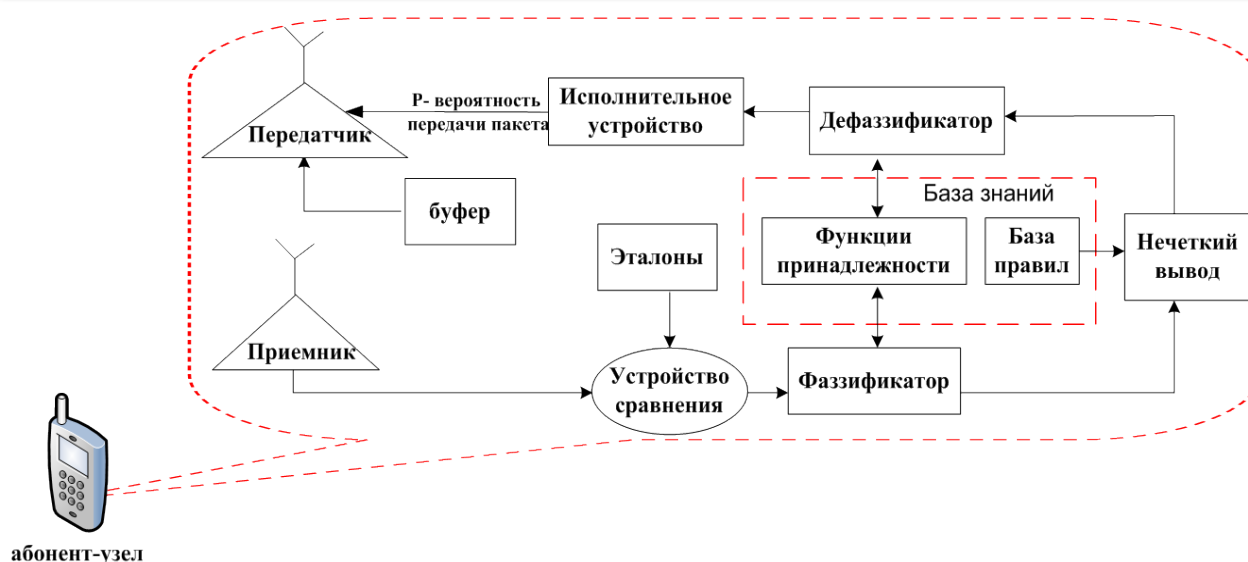
$$v_i^{(x)} = \begin{cases} 0, & \text{если в момент } i \text{ этот пакет не передавался,} \\ 1, & \text{если в момент } i \text{ этот пакет передавался.} \end{cases}$$

**Предположение 4.** Каждый из абонентов системы, наблюдает за состоянием канала и оценивает такие параметры как:  $\theta$  - состояние канала,  $d$  - задержка очереди и степень изменения загруженности канала, которые передаются на вход нечеткого контроллера, который в соответствии с базой заданных правил оценивает канал и устанавливает вероятность передачи пакет  $P$  в окне  $w_t$ .





# Структура системы нечеткого управления множественным доступом



Функции принадлежности рейтинга канала

# База правил системы и результаты моделирования нечеткого управления множественным доступом

если  $X = G$  и  $dX/dt = L$  и  $d = L$ , то  $R = VH$ .

Результаты моделирования по оценке качества канала

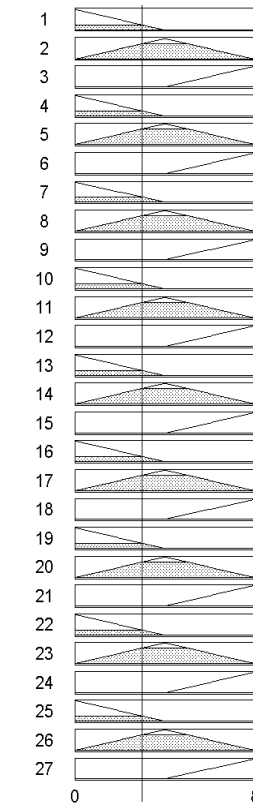
## Общая база правил

Задержка очереди (d)= низкая (L)			
Состояние канала (X)	Скорость изменения состояния канала (dX/dt)		
	L	M	H
<b>B</b>	L	L	L
<b>N</b>	H	H	H
<b>G</b>	VH	VH	H

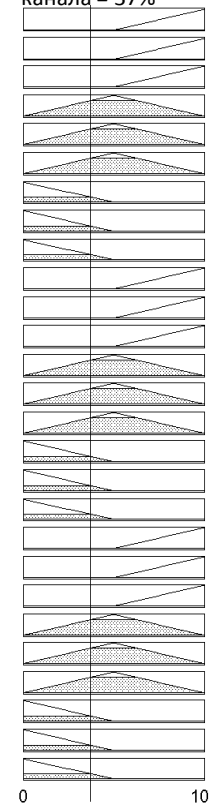
Задержка очереди (d)= средняя (M)			
Состояние канала (X)	Скорость изменения состояния канала (dX/dt)		
	L	M	H
<b>B</b>	L	L	VL
<b>N</b>	M	M	M
<b>G</b>	H	H	H

Задержка очереди (d)= высокая (H)			
Состояние канала (X)	Скорость изменения состояния канала (dX/dt)		
	L	M	H
<b>B</b>	VL	VL	VL
<b>N</b>	M	L	L
<b>G</b>	M	M	M

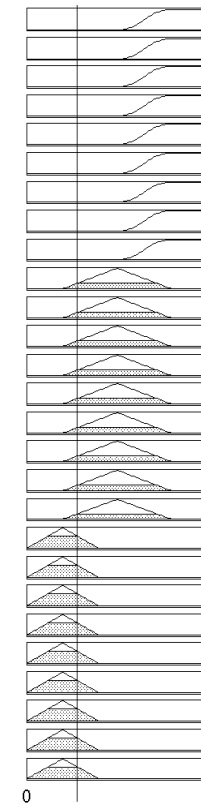
Состояние канала = 3



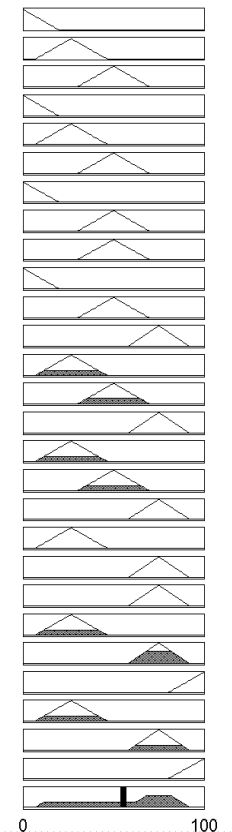
Изменение загруженности канала = 37%



Задержка очереди = 1.4 мс



Рейтинг канала = 55.8 %



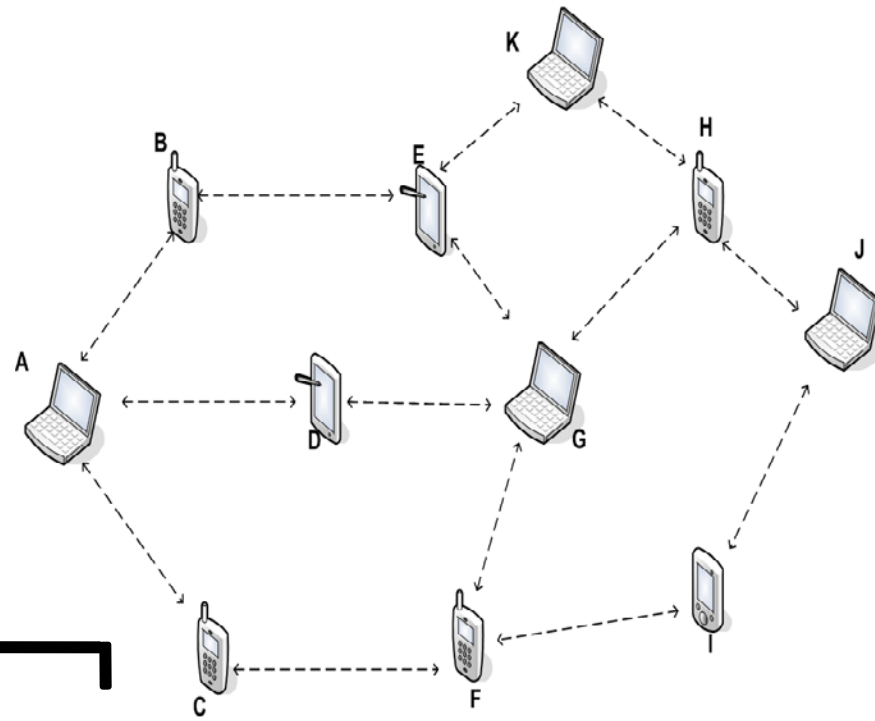
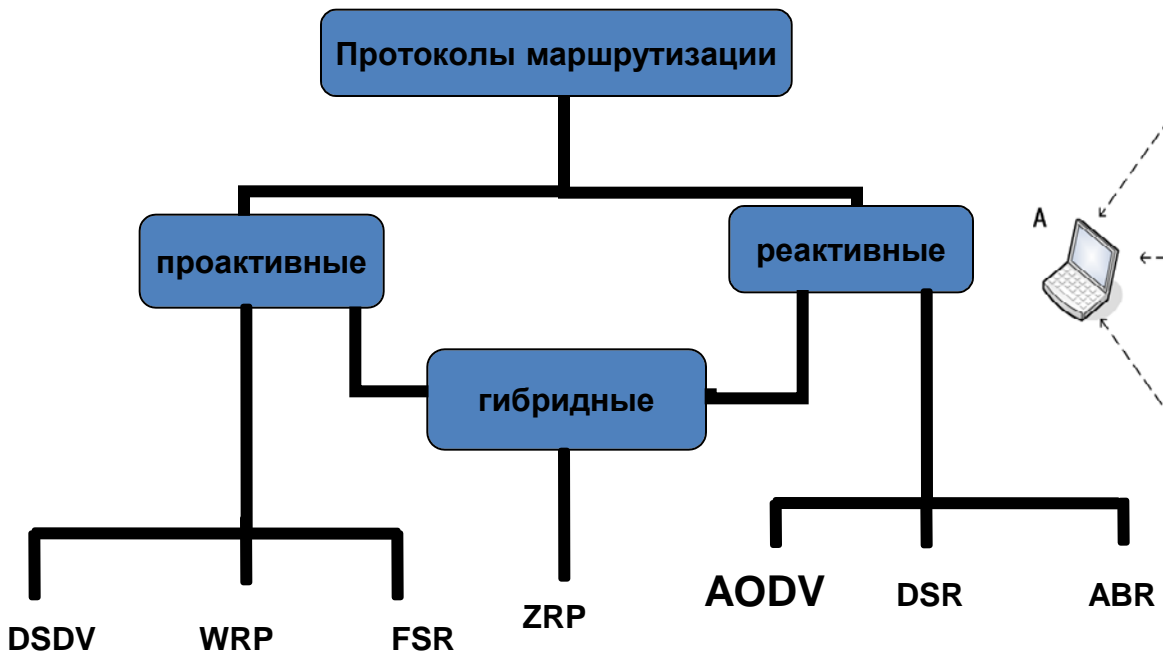
## Выводы:

Разработка метода нечеткого управления множественным доступом на основе нечеткой логики позволяет :

- Получить более эффективное использование полосы пропускания канала.
- Снизить конфликтность при передаче пакетов.
- Повысить качество обслуживания абонентов.

# Разработка алгоритма маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях с применением нечеткой логики

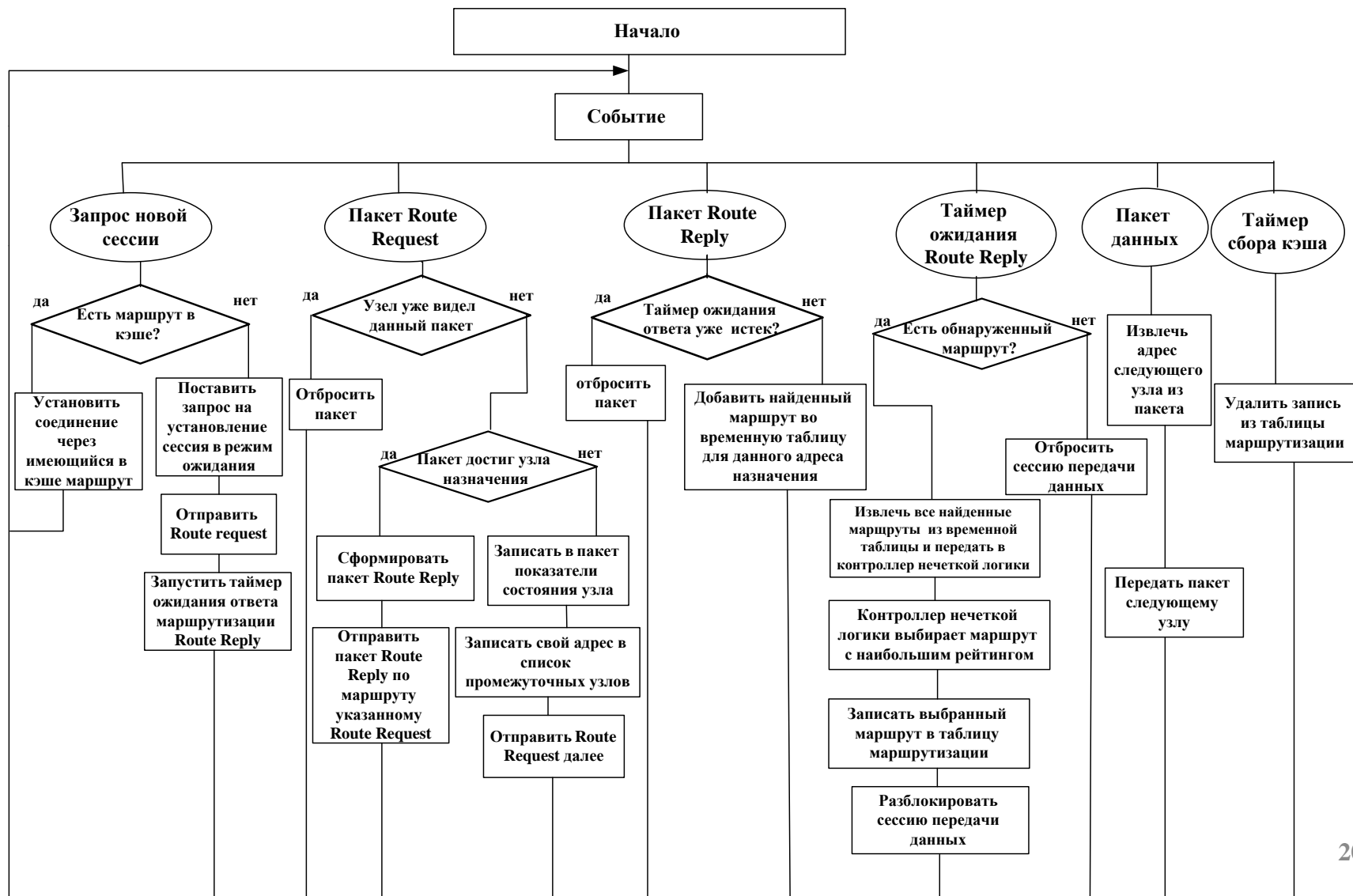
Отличительная черта беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС) - отсутствие фиксированной структуры и централизованного управления. Поэтому каждый узел в такой сети должен самостоятельно определять наилучший маршрут для передачи данных другим узлам.



Беспроводная самоорганизующаяся сеть

# Алгоритм работы предложенного протокола маршрутизации

Для поиска потенциальных маршрутов передачи данных рассматривается реактивный протокол маршрутизации FAODV. Реактивный протокол был выбран по причине его лучшей масштабируемости в больших БСС-сетях и не требует периодического обновления таблиц маршрутизации, сохраняя пропускную способность беспроводной среды и экономя запас энергии батарей мобильных узлов.



# Алгоритм поиска наиболее пригодных маршрутов на нечетких графах

Алгоритм поиска наиболее пригодных маршрутов на нечетких графах построен на основе использования четырех процедур:

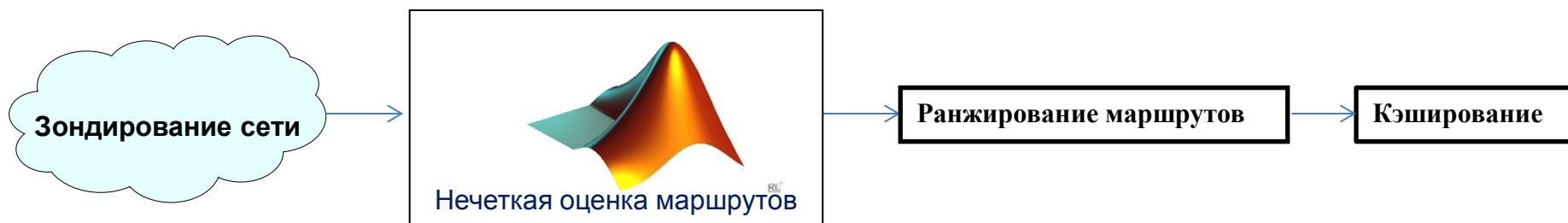
- 1- **зондирования сети** и обнаружения возможных маршрутов до узла назначения.
- 2- **нечеткой оценки** каждого найденного маршрута.
- 3- **ранжирования** маршрутов (выбирается один оптимальный маршрут плюс два запасных).
- 4- **кэширования** (записывает маршрут в временную таблицу маршрутизации для будущего пользования).

Процедура выбора запасных маршрутов:

-Результаты оценки маршрутов проходят через систему принятия решения (нечеткий контроллер), где вычисляется их рейтинг. Все маршруты записываются с соответствующим им рейтингом во временную таблицу.

-Затем выполняется проход по всем строкам таблицы, и отмечаются маршруты, множество промежуточных узлов которых не пересекается с множеством промежуточных узлов выбранного оптимального маршрута.

-Из множества отмеченных маршрутов выбирается два маршрута с наибольшим рейтингом, которые и становятся запасными маршрутами.



Для разработки метода маршрутизации были выбраны следующие параметры состояния узлов и канала связи:

□ **Пропускная способность всего маршрута:**  $B(p) = \min_{i \in p} \{B(v_i, v_{i+1})\}$

□ **Задержка передачи пакета:**  $d(p) = \sum_{i=1}^{n-1} d(v_i, v_{i+1})$

□ **Джиттер задержки:**  $\Delta d(p) = \max_{i \in p} \{\Delta d(v_i, v_{i+1})\}$

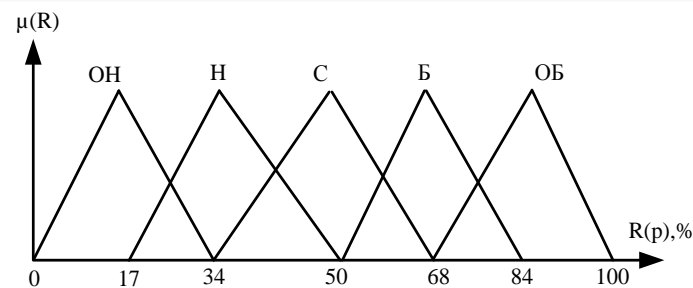
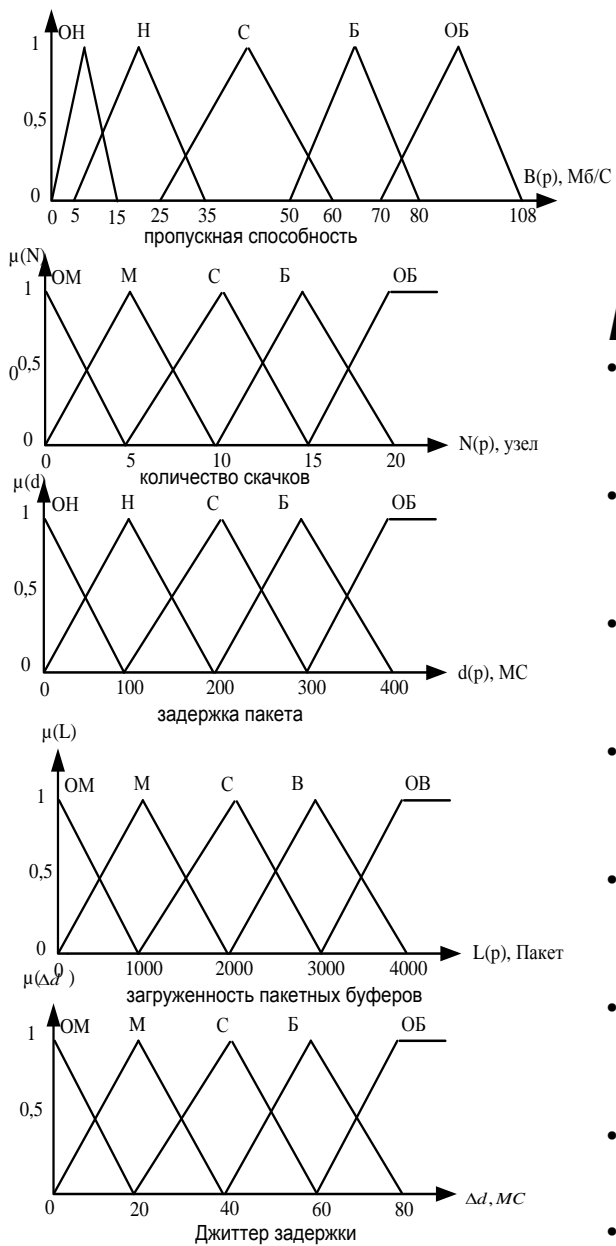
□ **Загруженность пакетного буфера:**  $\bar{l} = \sum_{i=1}^n l_i * \lambda_i$

где -  $l_i$  - загруженность буфера  $i$ -го узла;  $\lambda_i$  - весовой коэффициент для загруженности  $i$ -го узла.

□ **Количество промежуточных узлов**

В результате, после получения узлом-источником ответа маршрутизации, значения перечисленных параметров извлекаются из пакета и подаются на вход контроллера нечеткой логики, принимающего решения о выборе маршрута.

# Функции принадлежности входных данных (параметров состояния узлов и каналов связи)

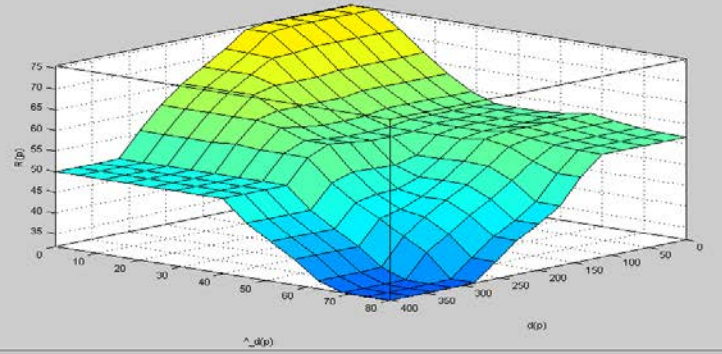
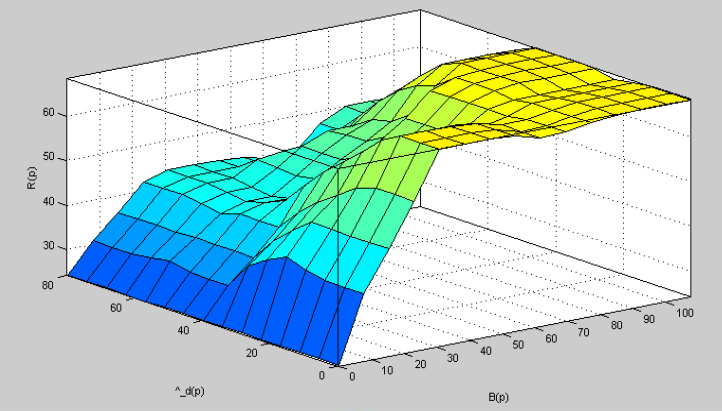
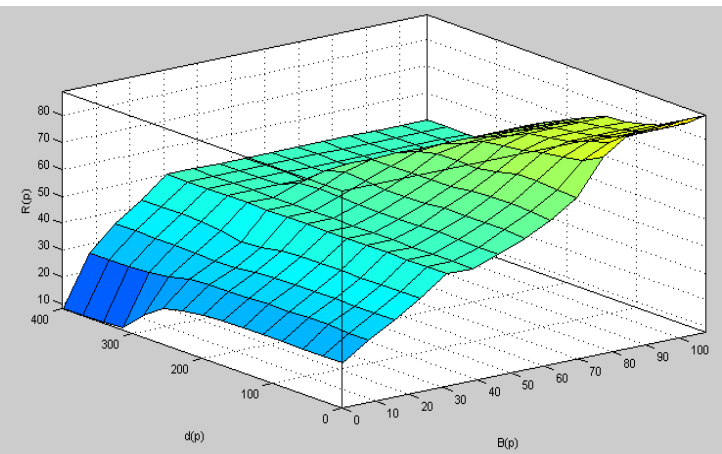
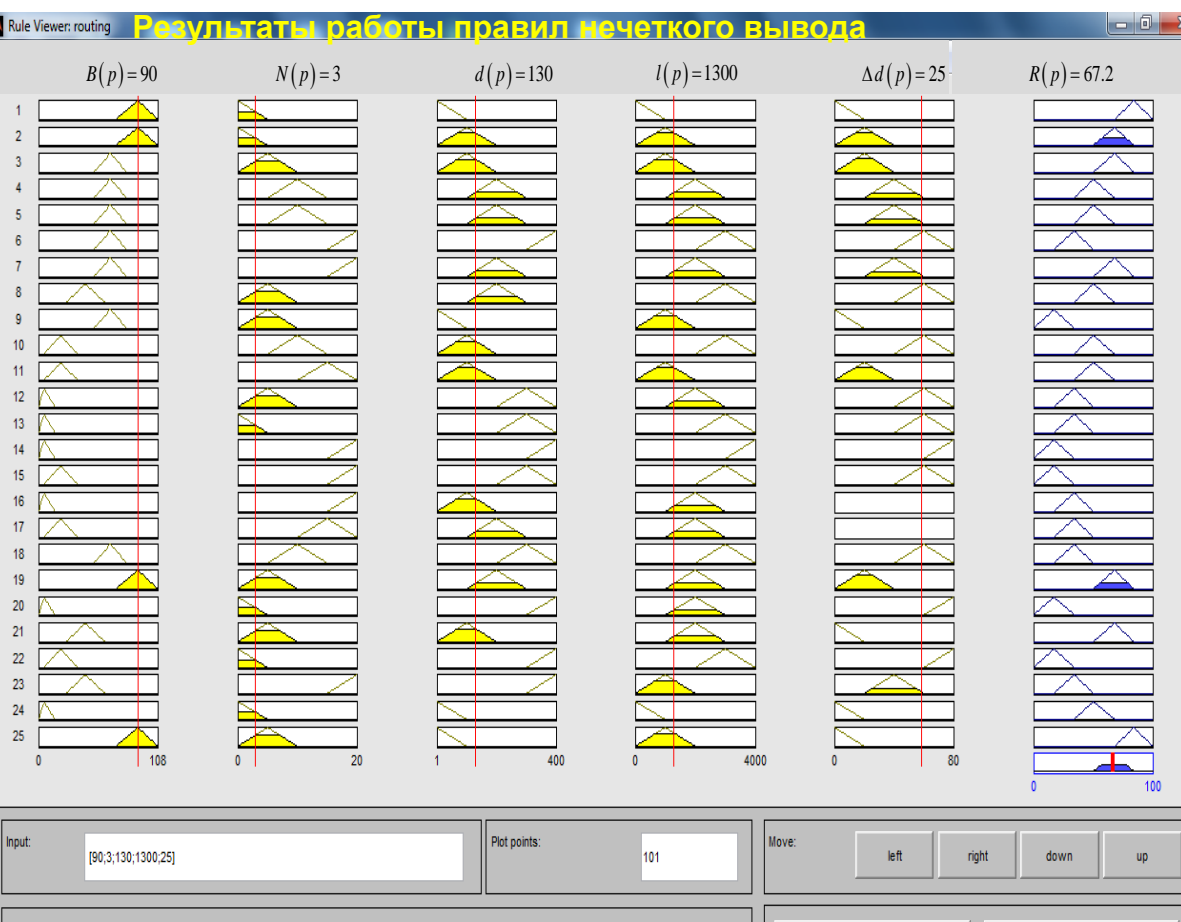


Логика работы нечеткого контроллера состоит в следующем: для каждого обнаруженного маршрута вычисляется его точный рейтинг в соответствии с базой правил. Оптимальным является маршрут с наибольшим рейтингом.

## Функции принадлежности рейтинга маршрута Правила нечеткой базы знаний:

- (пропускная способность = очень высокая) & (количество скачков = очень малое) & (задержка передачи = очень низкая) & (загруженность буферов = очень низкая) & (джиттер задержки = очень низкий)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = очень высокий).
- (пропускная способность = высокая) & (количество скачков = малое) & (задержка передачи = низкая) & (загруженность буферов = низкая) & (джиттер задержки = низкий)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = высокий).
- (пропускная способность = средняя) & (количество скачков = среднее) & (задержка передачи = средняя) & (загруженность буферов = средняя) & (джиттер задержки = средний)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = средний).
- (пропускная способность = средняя) & (количество скачков = очень малое) & (задержка передачи = очень высокая) & (загруженность буферов = высокая) & (джиттер задержки = высокий)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = низкий).
- (пропускная способность = низкая) & (количество скачков = малое) & (задержка передачи = средняя) & (загруженность буферов = высокая) & (джиттер задержки = средний)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = низкий).
- (пропускная способность = очень высокая) & (количество скачков = очень малое) & (задержка передачи = очень низкая) & (загруженность буферов = очень низкая) & (джиттер задержки = очень низкий)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = очень высокий).
- (пропускная способность = очень высокая) & (количество скачков = очень малое) & (задержка передачи = очень низкая) & (загруженность буферов = очень низкая) & (джиттер задержки = очень низкий)  $\Rightarrow$  (рейтинг маршрута = очень высокий).
- ...

# Результаты моделирования

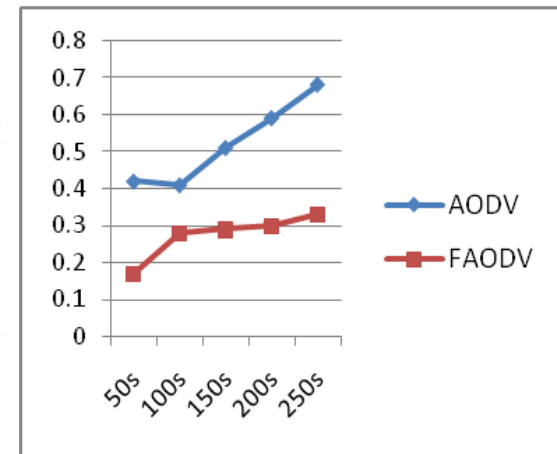
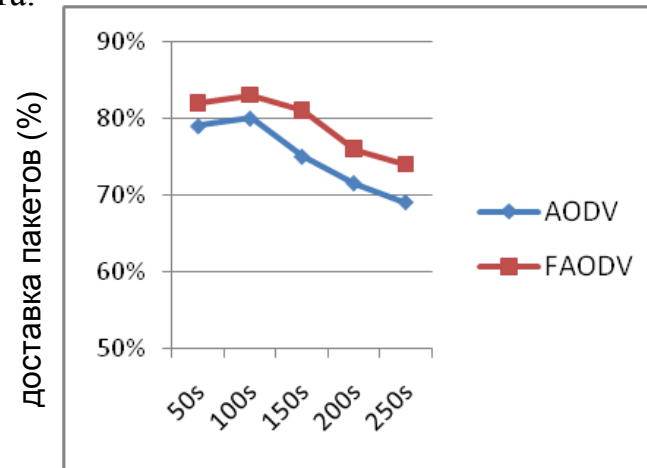


Для более наглядного отображения работы нечеткой системы в соответствии с этим методом был построен график, отображающий зависимости выходной переменной от входных. Полученный график представляет собой дефазифицированную поверхность нечеткого рейтинга маршрута.

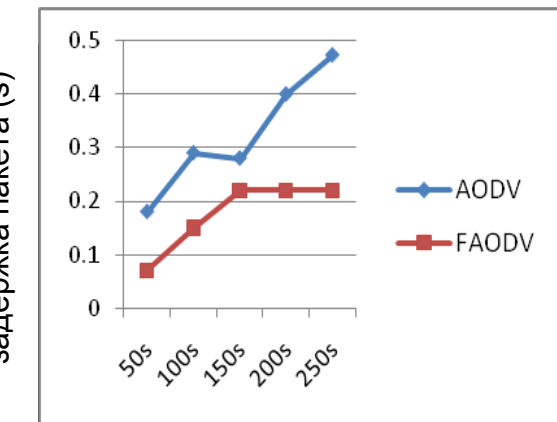
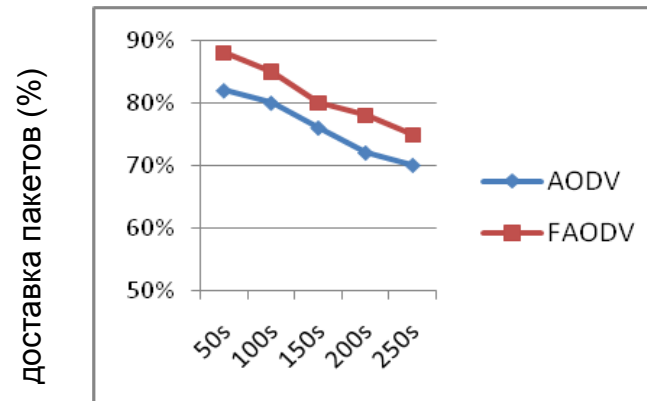


Результаты сравнения эффективности работы предлагаемого метода маршрутизации с существующим AODV методом осуществляется по двум критериям:

- Среднего количества доставленных пакетов и
- средней задержки передачи пакета.



количество узлов в сети 10



количество узлов в сети 20

Результаты сравнения

Рассмотренный метод маршрутизации обеспечивает:

- Обнаружение нескольких маршрутов от источника до узла назначения.
- Кэширование маршрутов (поддержание таблиц маршрутизации с ранее обнаруженными маршрутами).
- Устойчивость к сбоям за счет формирования нескольких независимых непересекающихся маршрутов.

Основные результаты сводятся к следующим положениям:

1. Беспроводные сети передачи данных развиваются в направлении построения перспективных когнитивных сетей передачи данных, в которых предусматривается широкое использование элементов искусственного интеллекта на всех уровнях архитектуры.
2. Применение искусственного интеллекта на основе нечеткой логики на физическом уровне позволяет повысить качество адаптивного управления OFDM модуляцией.
3. Применение нечеткого контроллера на уровне звена данных (подуровне MAC) позволяет эффективно использовать полосу пропускания и поддерживает высокое качество обслуживания.
4. Применение нечетких вычислений на сетевом уровне повышает устойчивость работы сети в целом.
5. Применение нечеткой логики является одной из перспективных технологий для построения когнитивных беспроводных сетей.

С п а с и б о   з а   в н и м а н и е   ! !



Preferred Partner  
GOLD



Computing Systems  
Specialist

