

# Введение в профессию

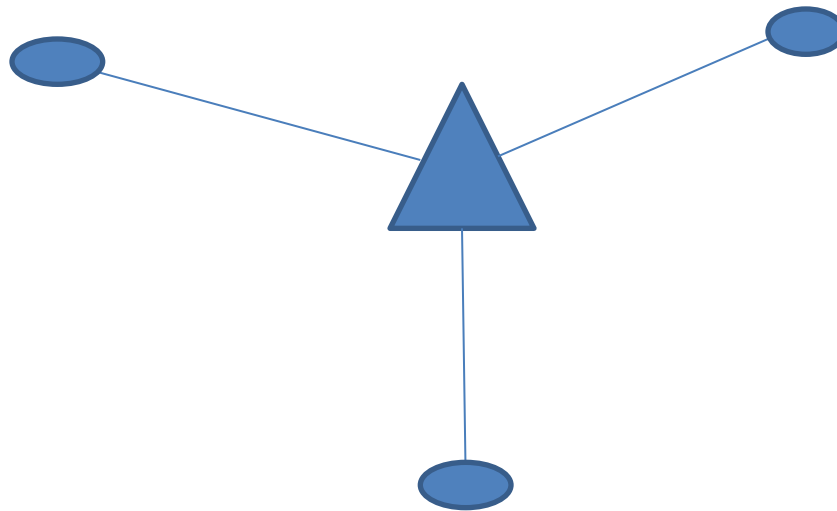
А.Е.Кучерявый, зав.кафедрой сетей  
связи и передачи данных, д.т.н.,  
профессор

# Сети связи и общество

<b>Стадия развития общества</b>	<b>Доля ИКТ в ВВП</b>	<b>Уровень развития сети</b>
<b>Индустриальная</b>	<b>1-2%</b>	<b>Аналоговая (речь)</b>
<b>Пост индустриальная</b>	<b>2-3%</b>	<b>Цифровая (речь)</b>
<b>Электронное</b>	<b>&gt;10%</b>	<b>Пакетная (речь, видео, данные)</b>
<b>Всепроникающее (общество знаний)</b>	<b>&gt;20%</b>	<b>Самоорганизующаяся (Вещи)</b>

# История развития сетей связи

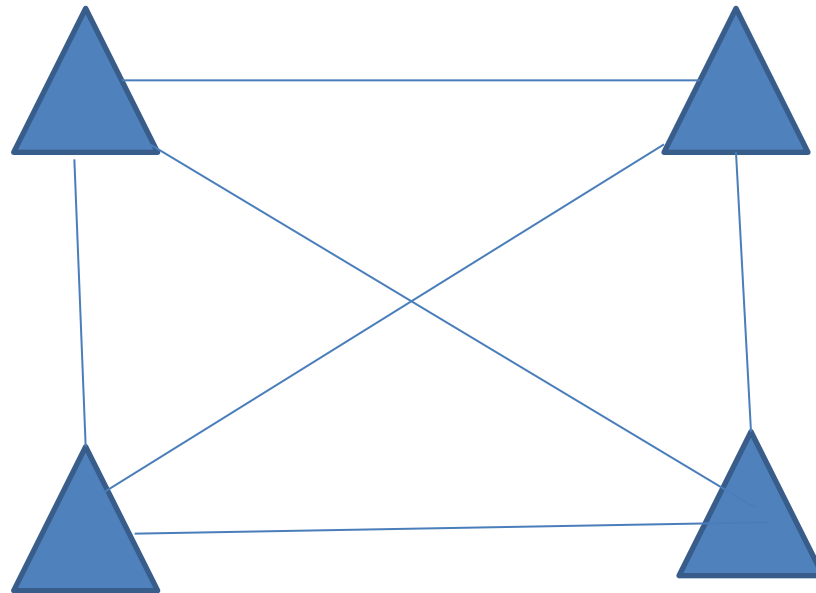
- 1929 год – первая АТС в г. Ростов-на Дону  
Нерайонированная сеть



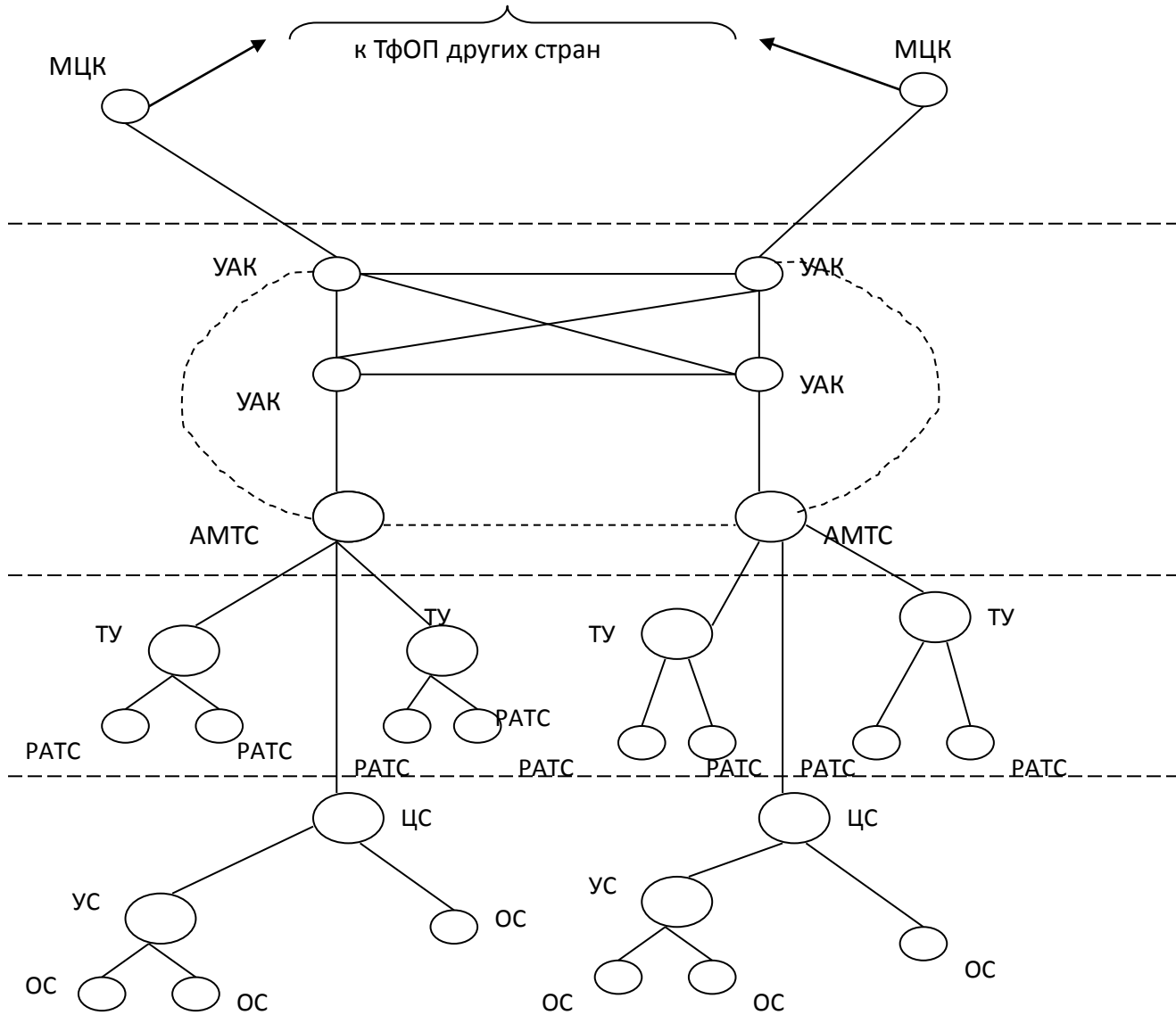
# Районированные сети

1933 год – Ленинград, 4АТС

Районированная сеть



# Архитектура сети. Иерархическая сеть ССОП.



# Интернет Будущего

IoT – Internet of Things – Интернет Вещей

IoP – Internet of People – Интернет Людей

IoE – Internet of Energy – Интернет Энергии

IoM – Internet of Media – Интернет Медиа

IoS – Internet of Service – Интернет Услуг

(IoT European Research Cluster – IoT Strategic Research Roadmap, 2012)

# Интернет Вещей (МСЭ-Т, Y.2060)

Интернет вещей – в долгосрочной перспективе Интернет Вещей может рассматриваться как направление технологического и социального развития общества.

В среднесрочной перспективе с учетом необходимости стандартизации Интернет Вещей представляет собой глобальную инфраструктуру для информационного общества

# Сеть связи будущего

Сеть связи будущего строится на основе всех указанных выше компонент с центральной ролью Интернета Вещей. Центральная роль Интернета Вещей определяется как за счет его превалирования в клиентской базе, так и за счет интенсивности создаваемых Интернетом Вещей сообщений



# Определения (Y.2060)

Вещи:

Объекты физического мира (физические вещи) или информационного мира (виртуальные вещи), которые можно идентифицировать и интегрировать в сети связи, МСЭ-Т

Вещи бывают физические, виртуальные и не физические (ЕС, IERC – IoT European Research Cluster)

# Прогнозы развития сетей связи

50 триллионов как оценка уровня насыщения (J.-B.Waldner “Nanocomputers and Swarm Intelligence”, 2008).

# Изменение характера сети

Численное:

Миллиардная – Триллионная

Структурное:

Инфраструктурная - Самоорганизующаяся

# US National Intelligence Council

List of Six “Disruptive Civil Technologies” with Potential Impact on US Interests out to 2025.

Интернет Вещей включен в этот перечень прорывных технологий (для гражданского применения) для США.

# Six Disruptive Civil technologies

- Biogerontechnology
- Energy Storage Materials
- Biofuels and Bio-Based Chemicals
- Clean Coal Technologies
- Service Robotics
- Internet of Things

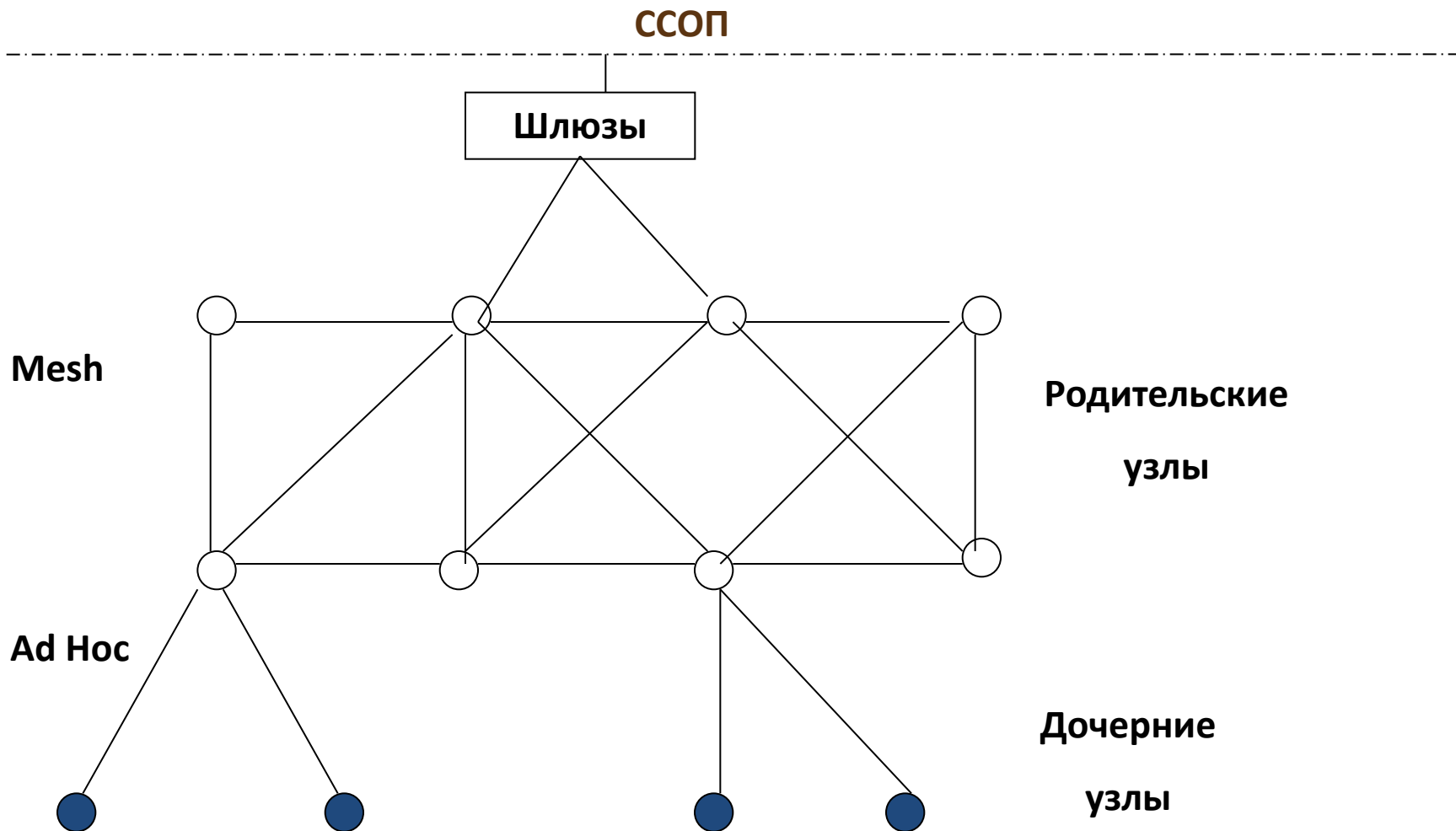
# Плотность сети при внедрении Интернета Вещей

До 1 млн устройств на кв. км  
(сверхплотные сети)

Самоорганизующейся называется сеть, в которой число узлов является случайной величиной во времени и может изменяться от 0 до некоторого значения  $N_{\max}$ .

Взаимосвязи между узлами в такой сети также случайны во времени и образуются для достижения сетью какой-либо цели или для передачи информации в сеть связи общего пользования или иные сети.

# Архитектура самоорганизующейся сети

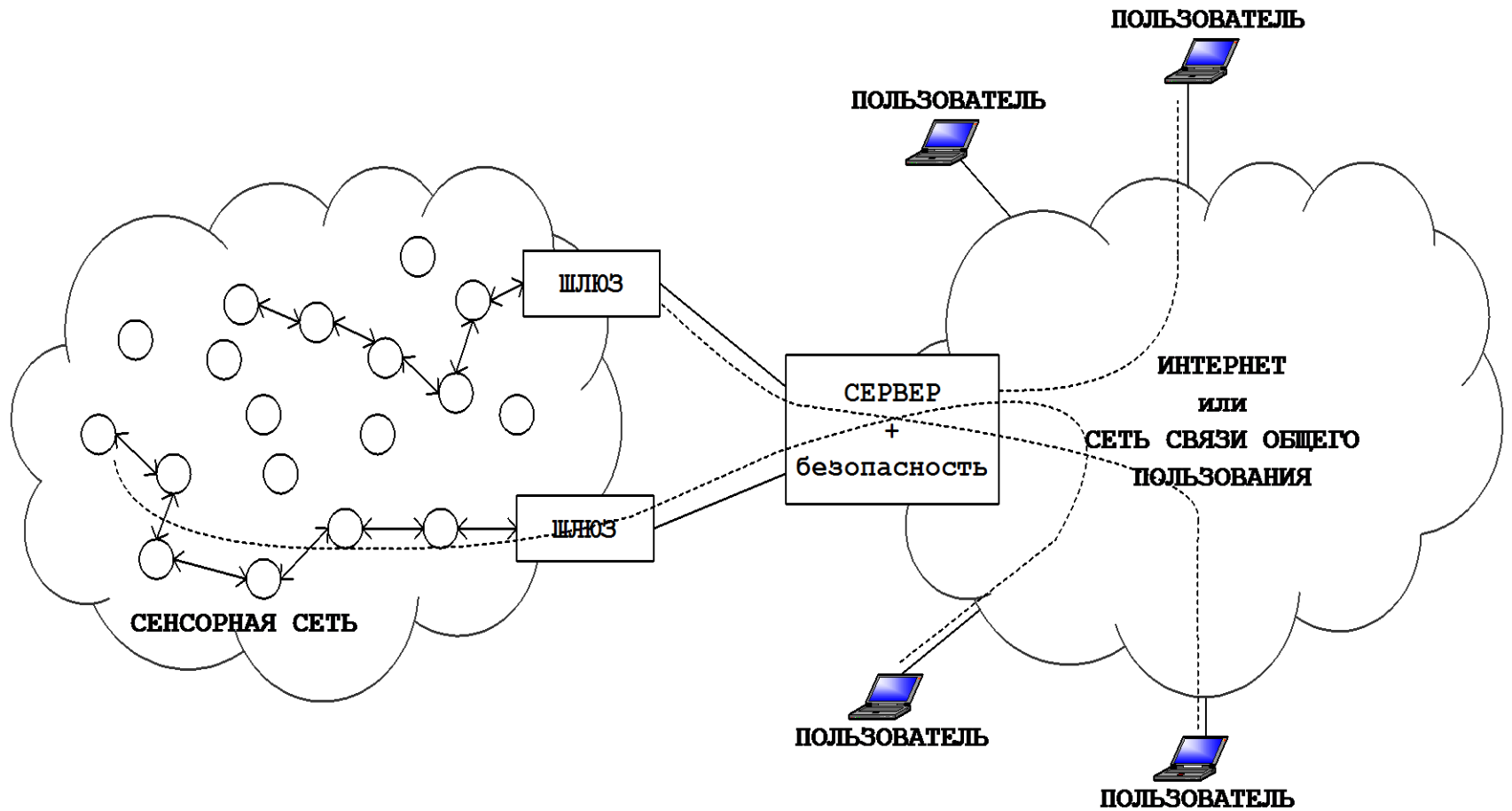




## Примеры приложений самоорганизующихся сетей

1. Беспроводные сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Network).
2. Сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad Hoc Network).
3. Муниципальные сети (HANET – Home Ad hoc Network).
4. Медицинские сети (MBAN(S) – Medicine Body Area Network (services))  
и т.д.

# Архитектура сенсорной сети

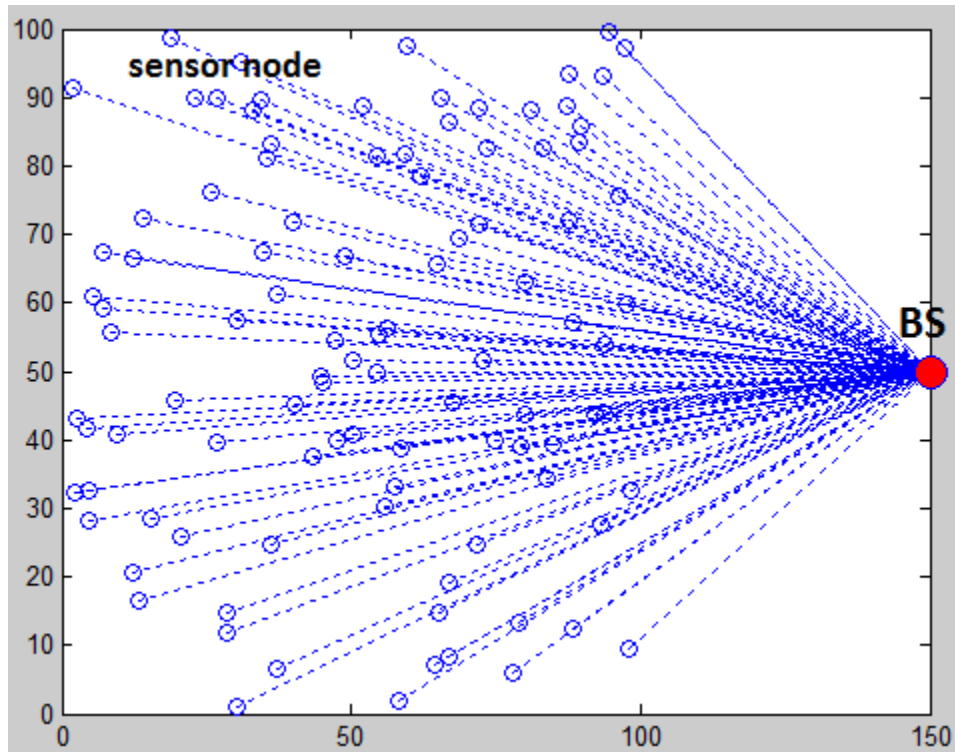


# Особенности сенсорных сетей

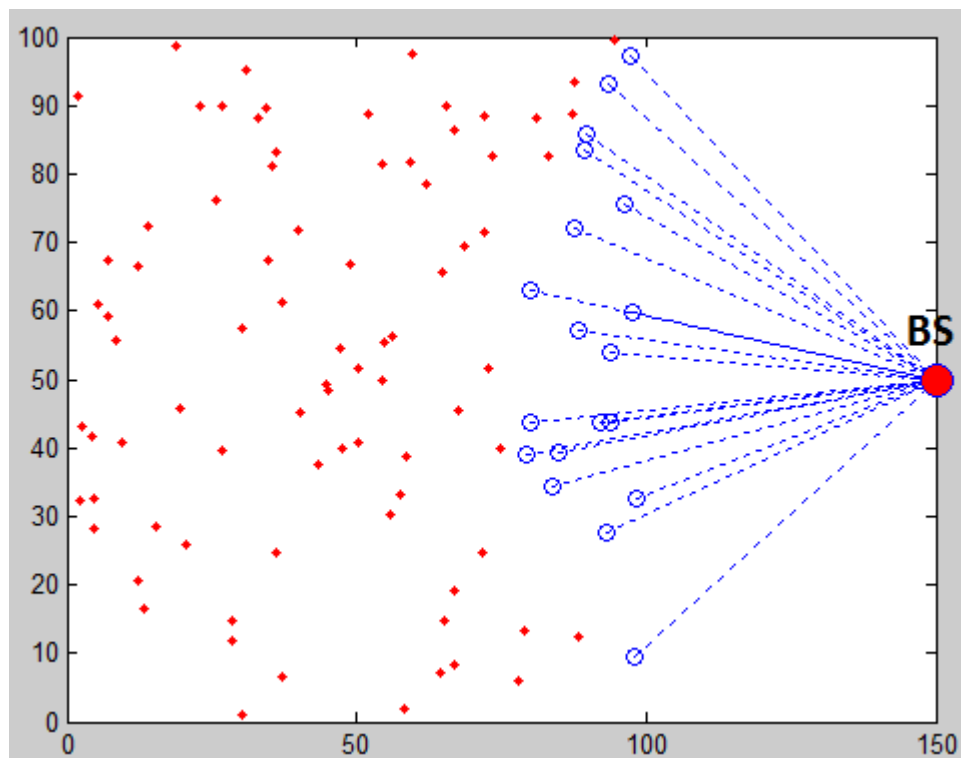
1. Очень большое число узлов сети (больше 64000 в одной сети ZigBee, триллионные сети).
2. Ограниченные возможности по электропитанию (зачастую отсутствие ремонтпригодности).
3. Требования по низкому энергопотреблению (КНР, 200000 базовых станций 3G потребляют 1.384 Гига-Ватт часов/год).



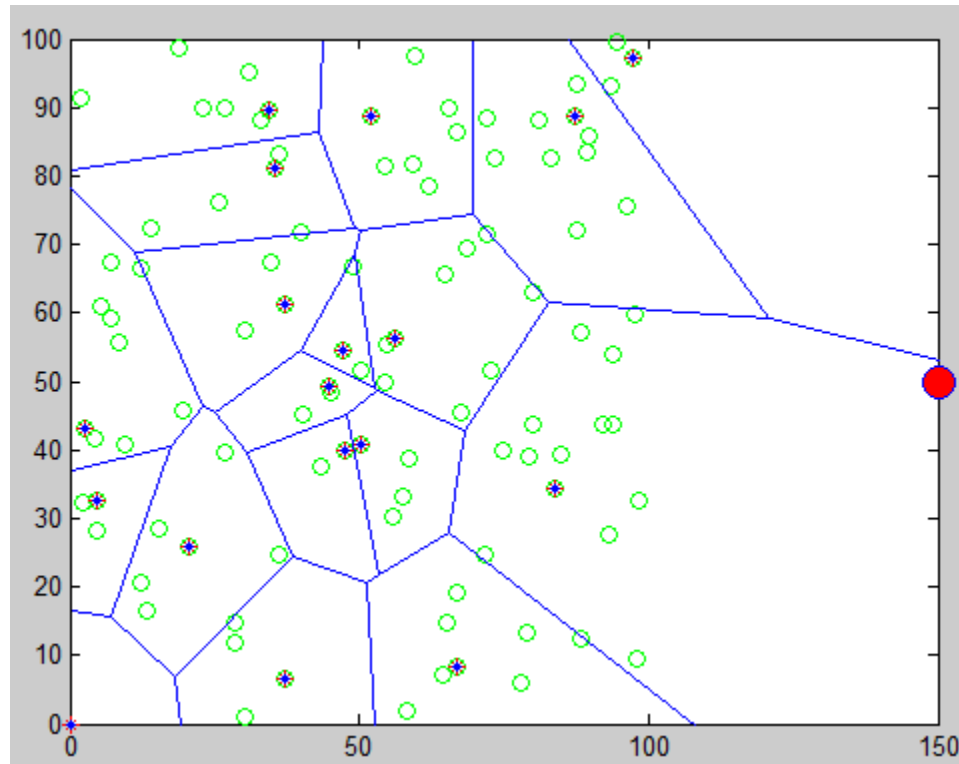
# DT (Direct Transmission)



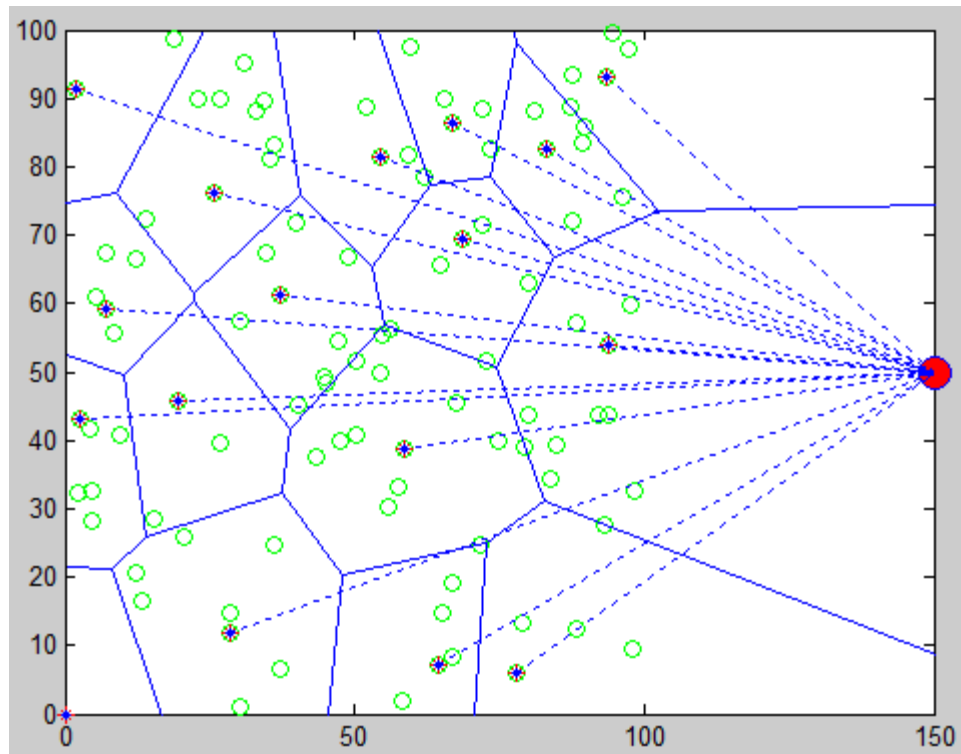
# DT после 180 временных раундов



# Кластеризация (LEACH)



# Кластеризация (LEACH)

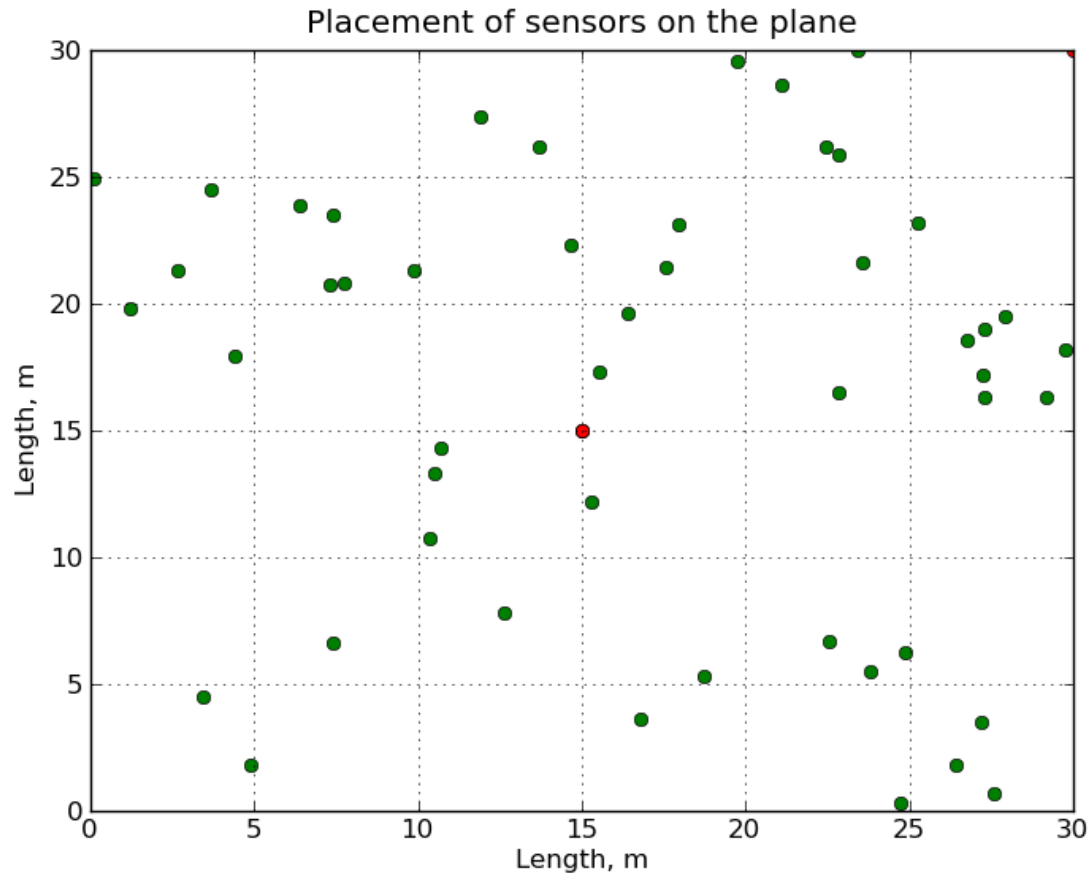




# Протоколы USN

1. ZigBee.
2. 6LoWPAN (IPv6 Low energy protocol for Wireless Personal Area Networks, физический уровень – IEEE 802.15.4).
3. RPL (Routing Protocol for Low energy and lossy networks).

# Модели для сенсорных сетей



A.Koucheryavy, A.Prokopiev. USN Traffic Models for Telemetry Applications. LNCS 6869, 2011.

# Алгоритмы выбора головного узла

Основные показатели:

- длительность жизненного цикла,
- k-покрытие

# Летающие сенсорные сети

Новый класс сетей, базирующийся на использовании миниатюрных БПЛА (квадрокоптеры). Исследования начаты в 2014 году в лаборатории Интернета Вещей.

В качестве приложений летающих сенсорных сетей (ЛСС) могут рассматриваться мониторинг объектов в трехмерном пространстве, в том числе для жилых помещений, мониторинг сельскохозяйственных угодий, транспортных средств и т.д.

# FANET

FANET – Flying Ad Hoc Networks

Летающие целевые сети

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

Беспилотные летающие аппараты

Small UAV – малые беспилотные летающие аппараты (дроны, квадрокоптеры и т.д.)

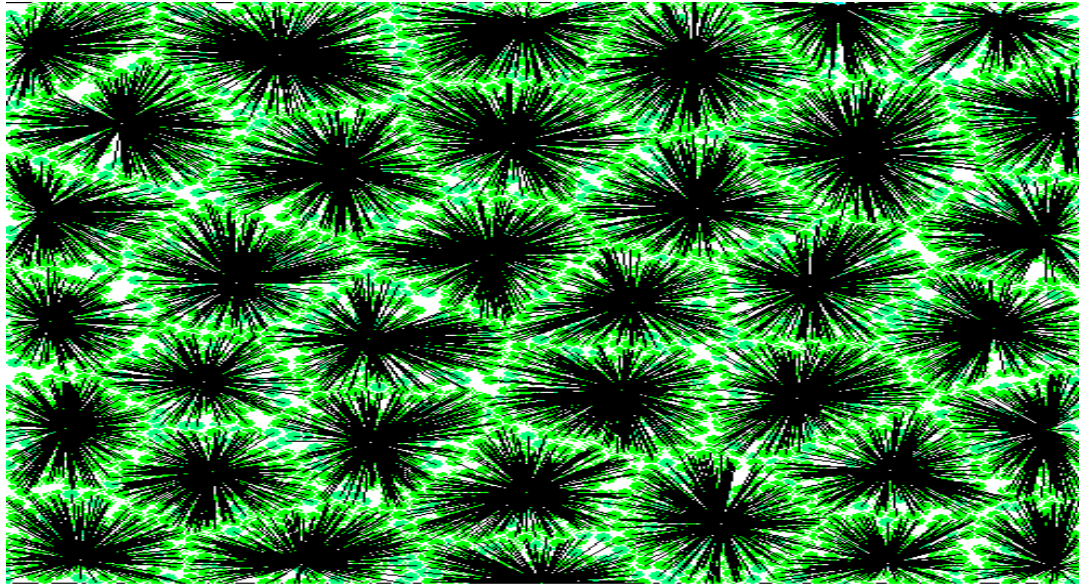
# Особенности FANET

1. Два сегмента сети: наземный и летающий.
2. Протоколы: MANET (?), USN (?), специальные.
3. Иерархическое построение в пространстве.
4. DTN (Delay Tolerant Networks).

# Flying USN

Плотность летающих узлов сети может быть и 40 на площади  $100 \text{ м}^2$  на  $100 \text{ м}^2$  (T.Braun and all. A Comparative Analysis of Beaconless Opportunistic Routing Protocols for Video Dissemination over Flying Ad Hoc Networks. NEW2AN 2014, LNCS 8638. Springer).

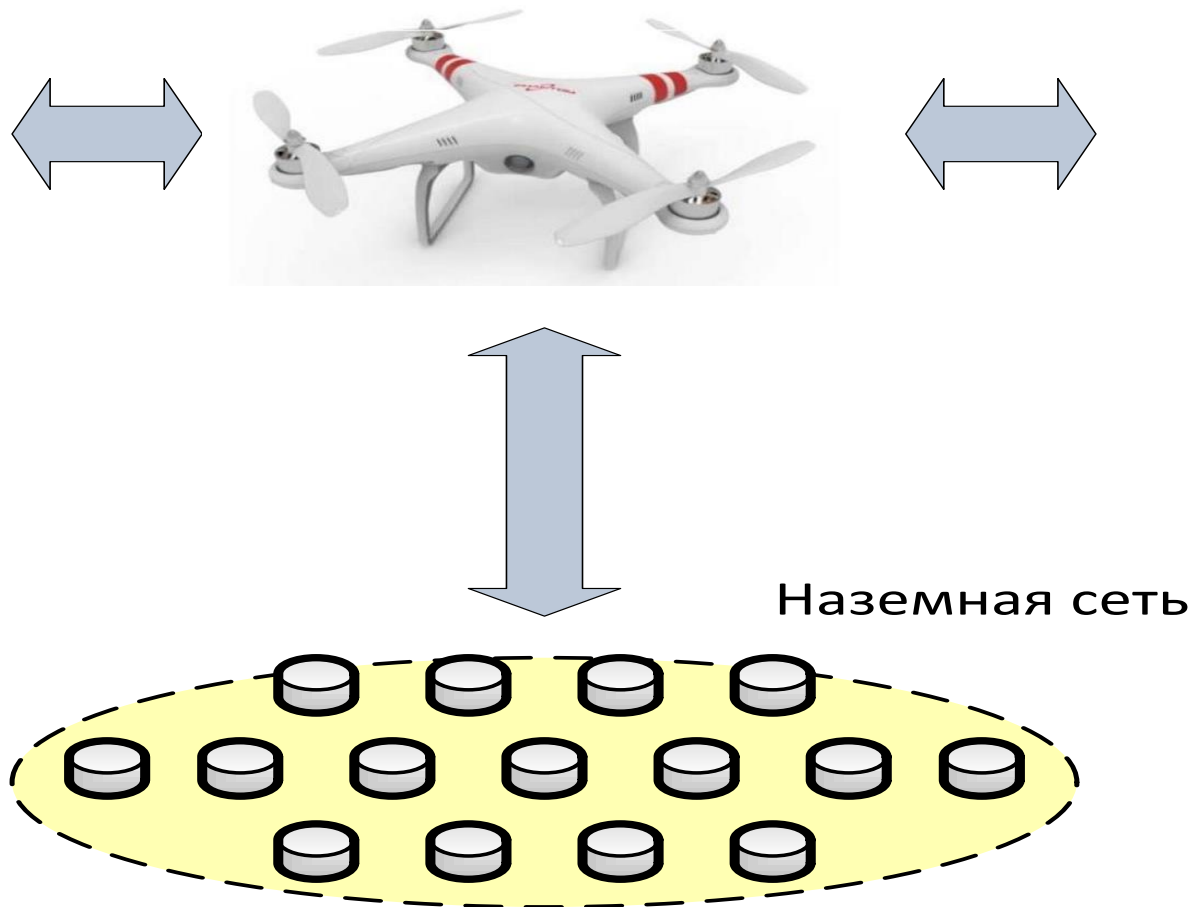
# Алгоритмы выбора головного узла для трехмерного пространства



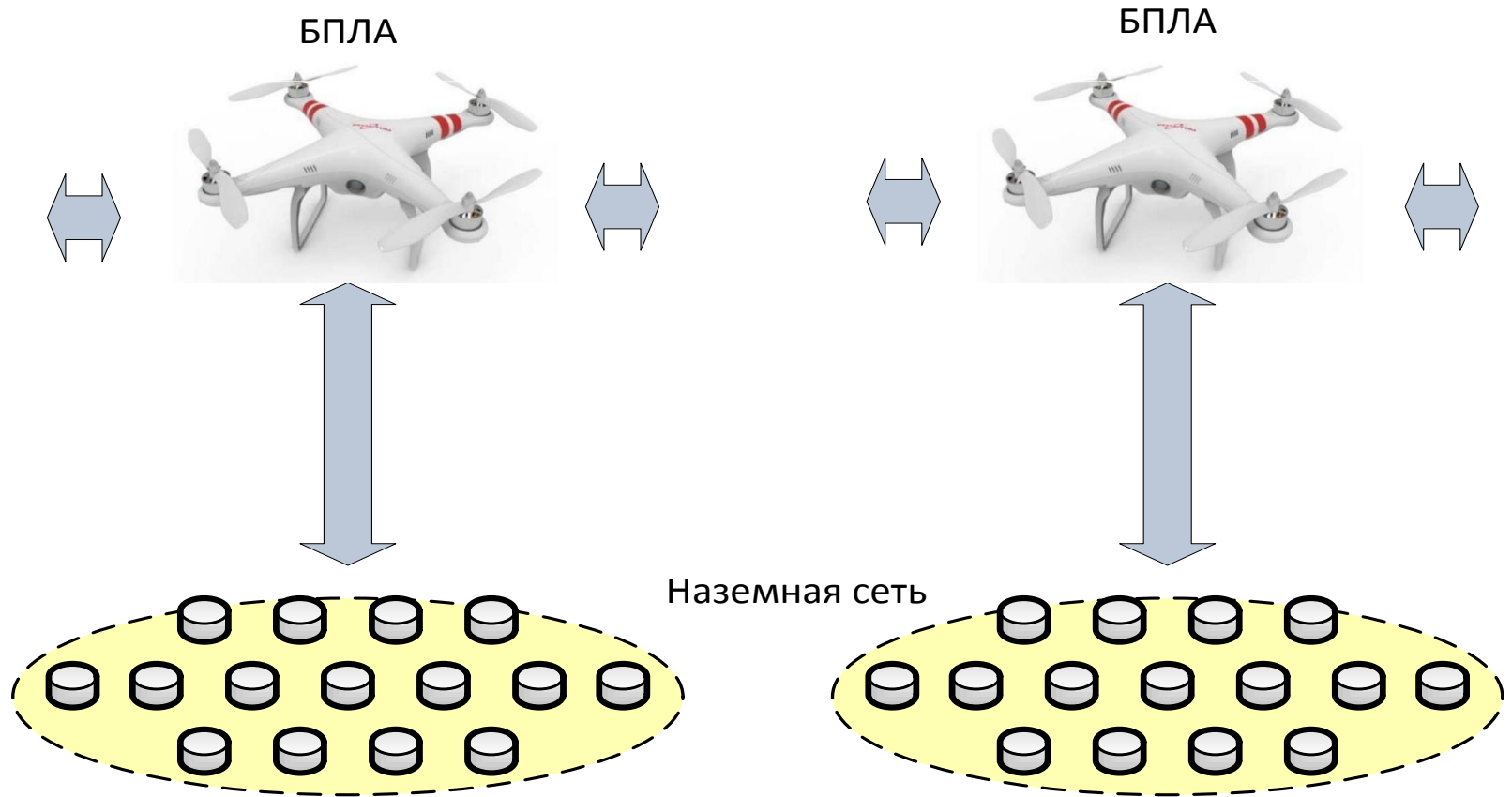


# ЛСС (1)

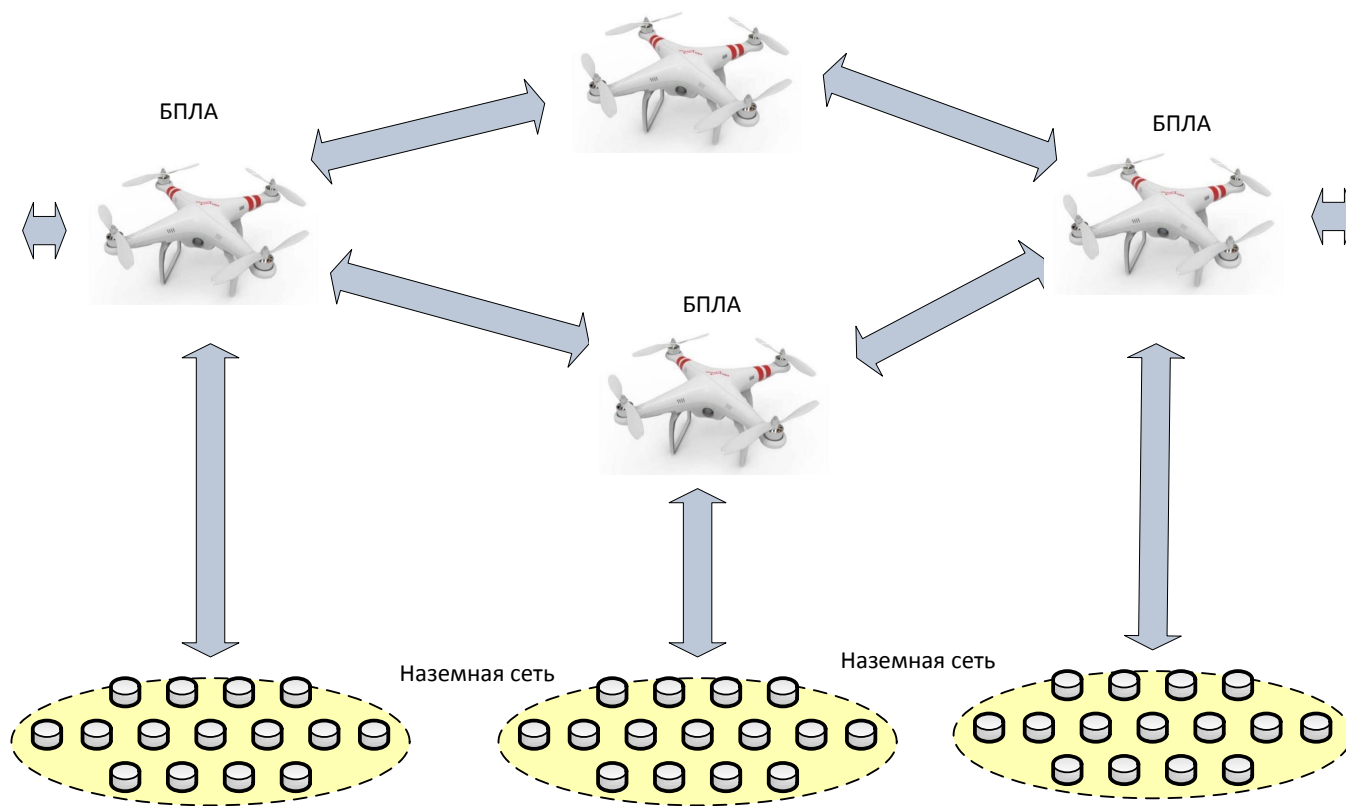
БПЛА



# ЛСС (2)



# ЛСС (3)



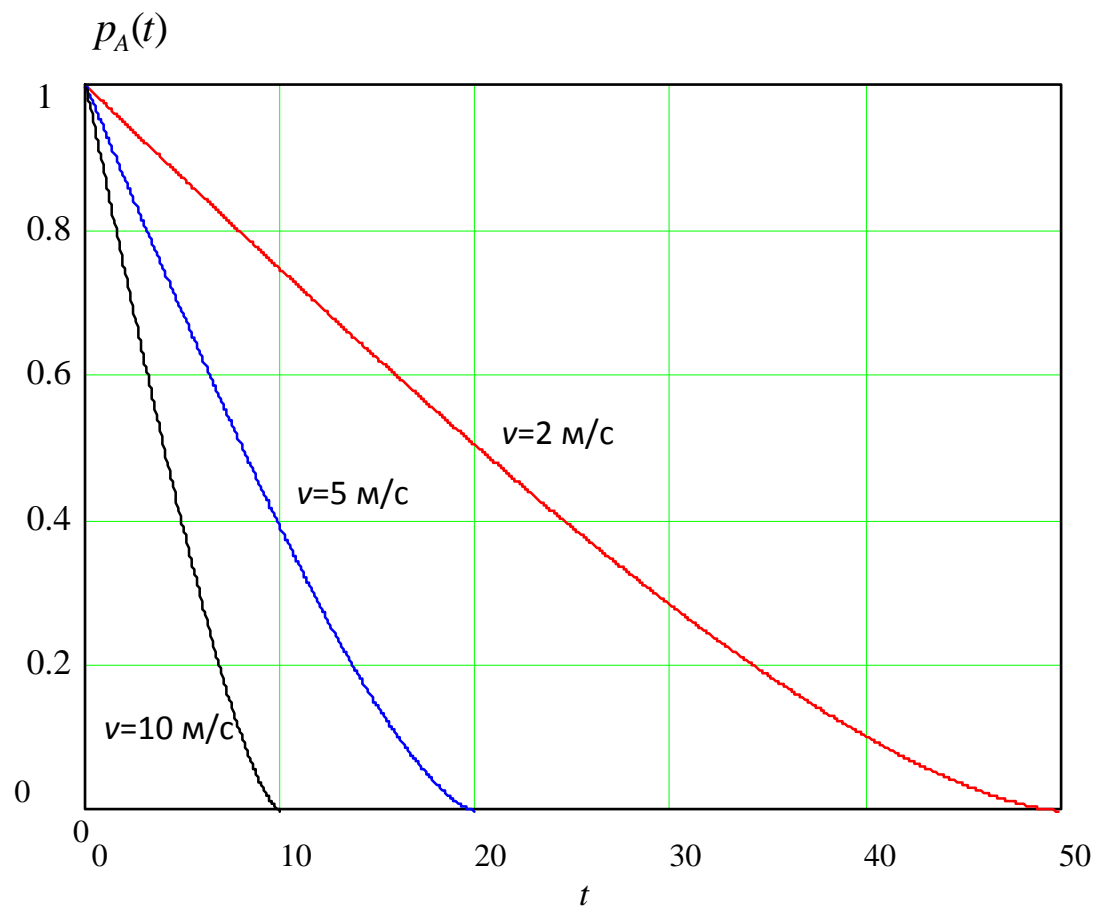
# Временные головные узлы. Модель сети (1).

Пуассоновское сенсорное поле полностью расположено в гетерогенной зоне LTE. Шлюз расположен в центре сенсорного поля на расстоянии 500 м от базовой станции LTE. 100 сенсорных узлов распределены изначально случайным образом на плоскости размером 200 на 200 метров. Сенсорные узлы стационарны. Радиус действия сенсорного узла 20 м, запас энергии в каждом узле – 2Дж, расход энергии на прием - 50 нДж/бит, на передачу – 50 нДж/бит и дополнительно 100 пДж/кв.м. Все сенсорные узлы однородны, т.е. имеют одинаковый радиус действия и начальные энергетические характеристики. Сенсорное поле кластеризовано. В соответствии с практикой использования алгоритма LEACH доля головных узлов predeterminedлена в количестве 5% от общего числа сенсорных узлов.

# Временные головные узлы. Модель сети (2).

Через сенсорное поле 1 раз в 100 раундов проходит мобильный узел иной сети со скоростью 2 м/с (типичная скорость для мобильных сенсорных сетей), который становится головным узлом для пересекаемых им кластеров. Точка входа этого узла в сенсорное поле случайна. Также случайным является номер первого раунда для мобильного временного головного узла. После входа мобильный головной узел пересекает сенсорное поле параллельно сторонам квадрата. Этот мобильный узел становится временным головным в первом же целом раунде после его появления в сенсорном поле. Мобильный головной узел считается выбывшим из сенсорного поля в момент времени, когда наступает очередной раунд, а до пересечения границы сенсорного поля этому узлу остается времени меньше, чем длительность раунда. При этом он уже не может быть избран временным головным. При наличии мобильного временного головного узла в сенсорном поле число выбираемых головных узлов из членов кластера уменьшается на единицу. Собранный за время пребывания в роли головного узла мобильный временный головной узел передает на шлюз или базовую станцию.

# Изменение вероятности доступности временного мобильного головного узла от времени для разных скоростей его перемещения



# Классификация трафика M2M

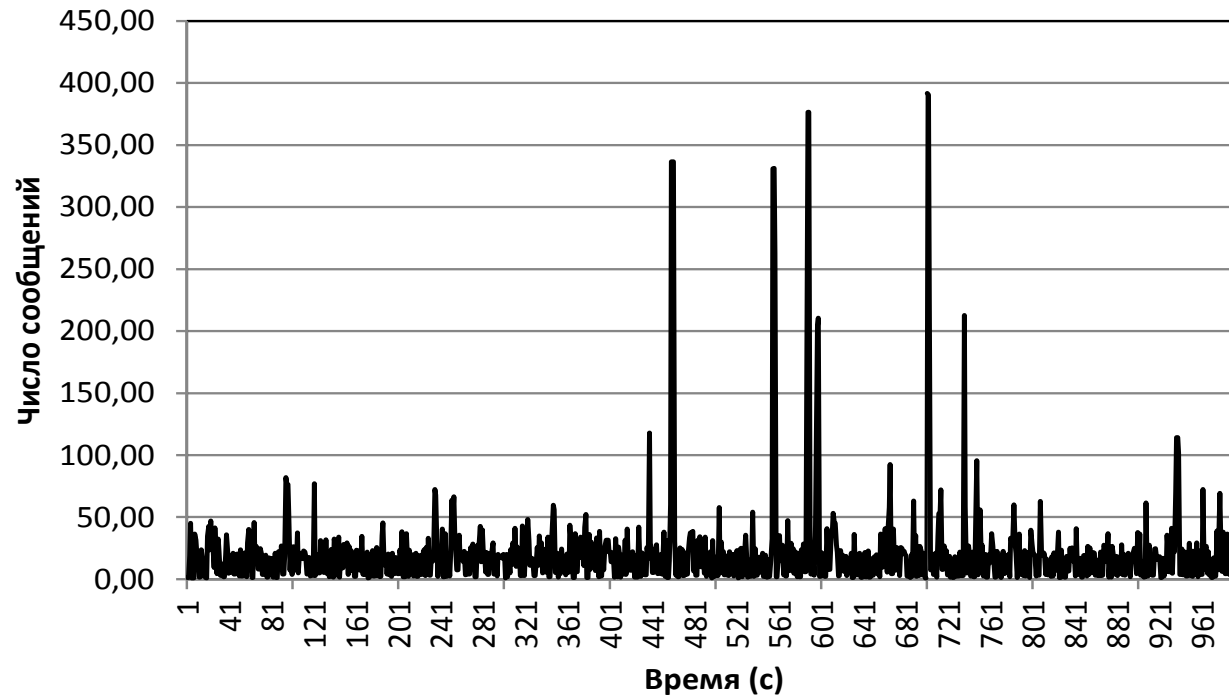
1. Опосредованный.
2. Псевдодетерминированный.
3. Служебный.

# Опосредованный трафик

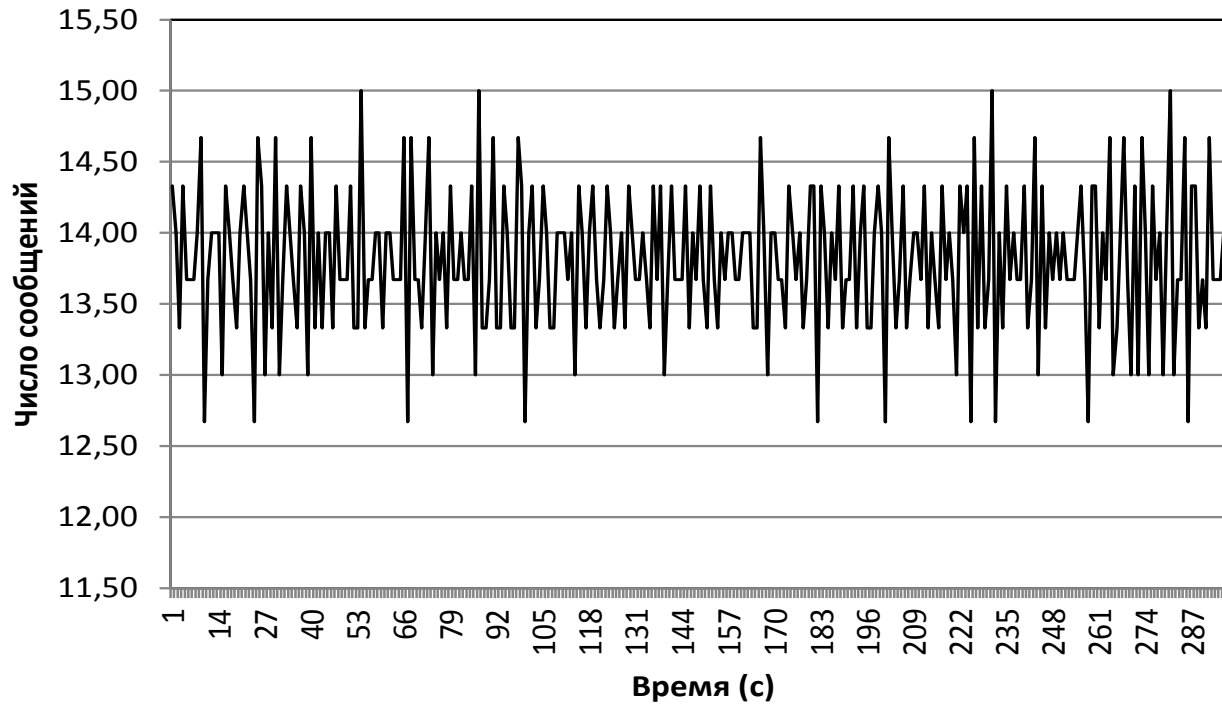
Опосредованный трафик производится автоматическими системами с использованием активных устройств (устройство может быть инициатором передачи данных). Этот трафик можно рассматривать как реакцию на различные случайные события (например, попадание измеряемой величины в некоторый интервал, срабатывание аварийной или иной сигнализации и т.п.). В данном случае свойства трафика зависят от свойств контролируемых процессов.



# Характеристики опосредованного трафика

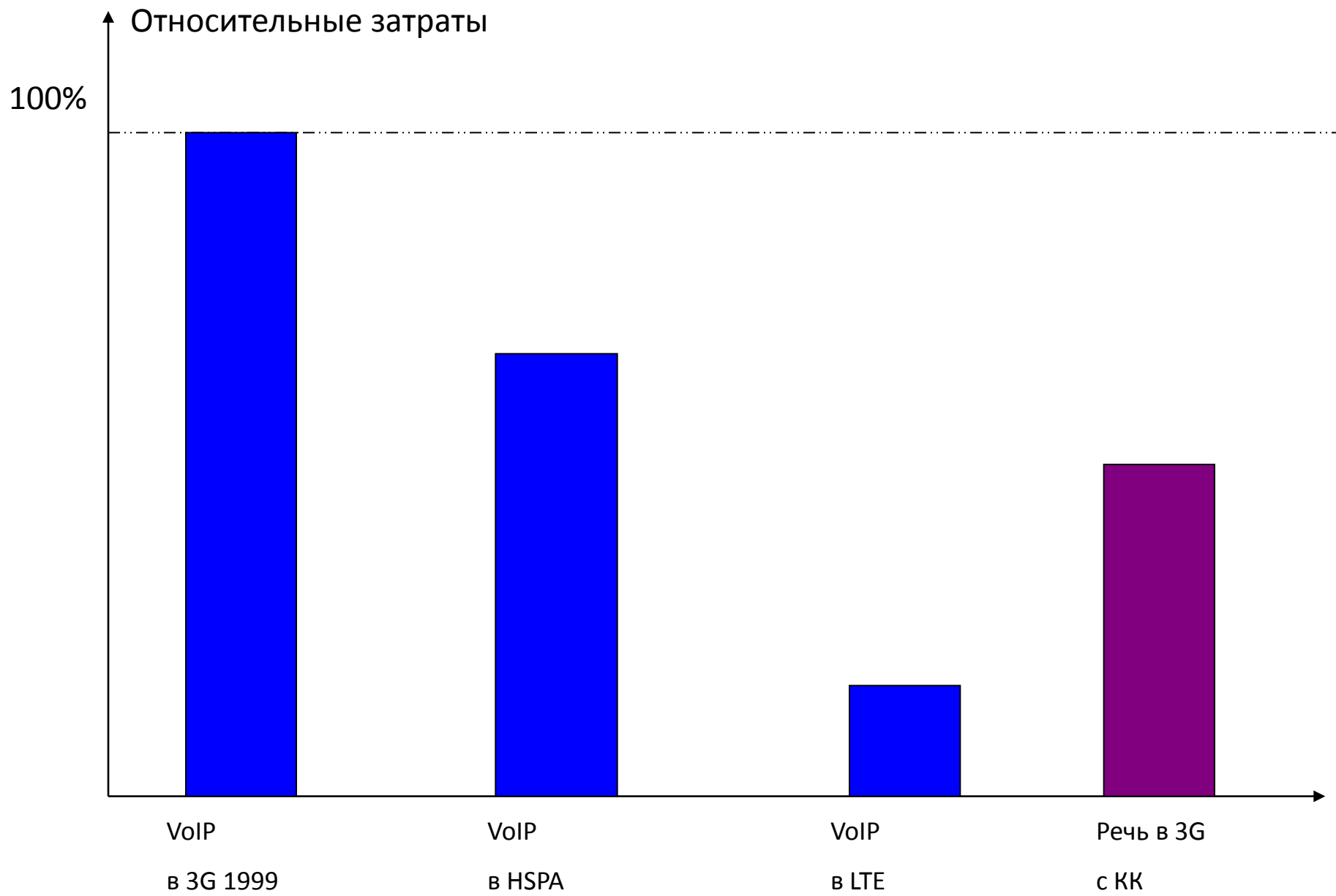


# Характеристики псевдодетерминированного трафика

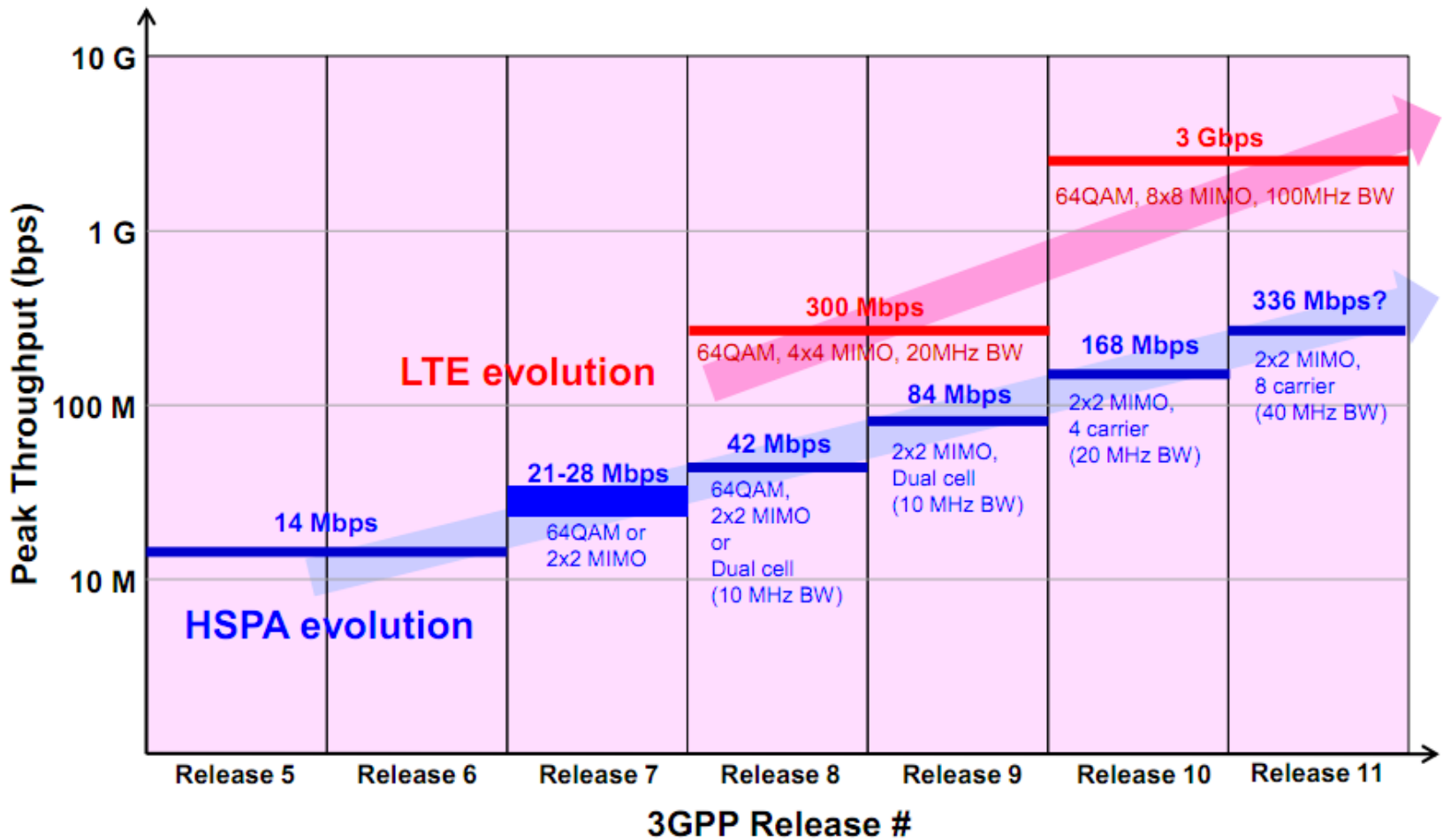


# Зачем LTE ?

- Существенно дешевле передача речи поверх IP ( система с пакетной коммутацией, 3G – коммутация каналов для речи)
- Скорости: 100 Мб/с и выше



# Скорости в LTE

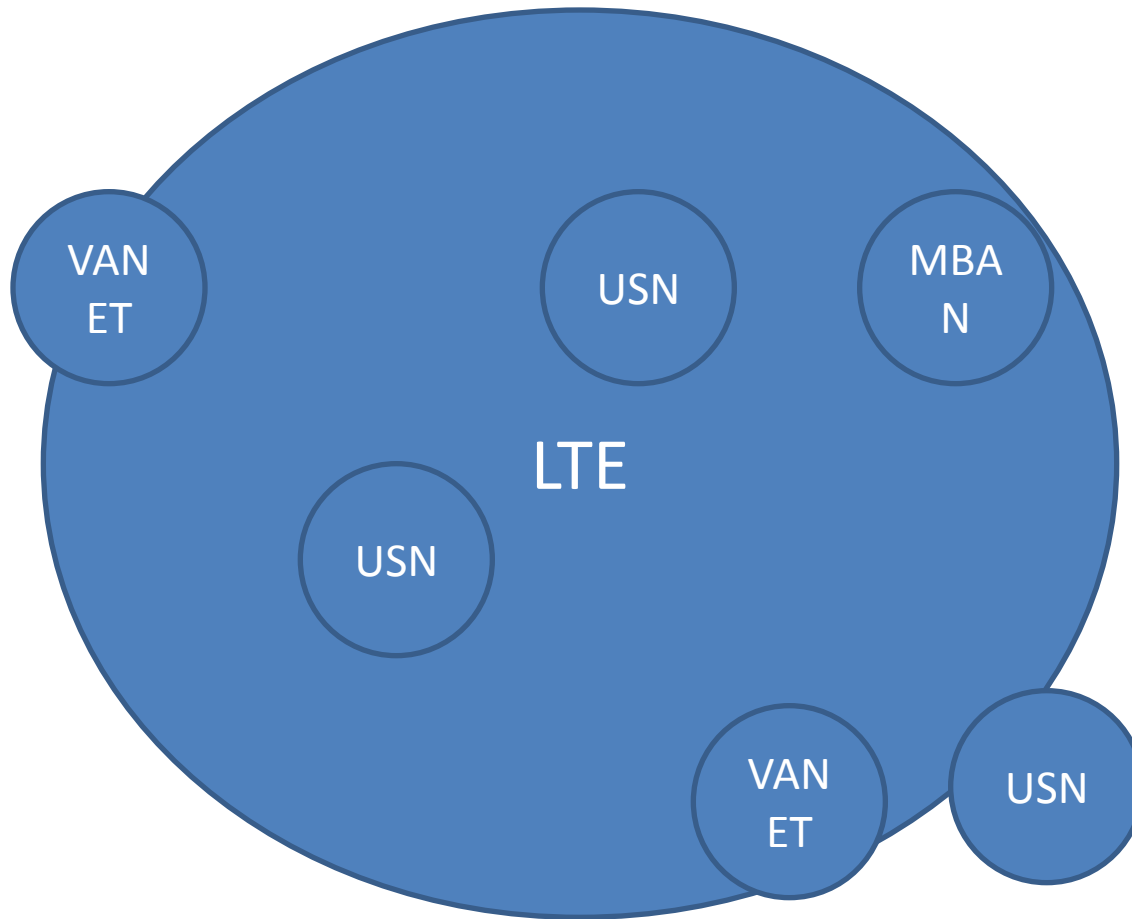


# 5G

Сети сверхвысокой плотности

Предшественники – кооперативные сети в  
рамках 4G

# Гетерогенная зона LTE



# Кооперативные сети (1)

Установка дополнительных ретрансляторов, так называемых узлов коммутации Relay Node (RN) в зоне действия базовой станции, в том числе на подвижных объектах (например, городском транспорте).



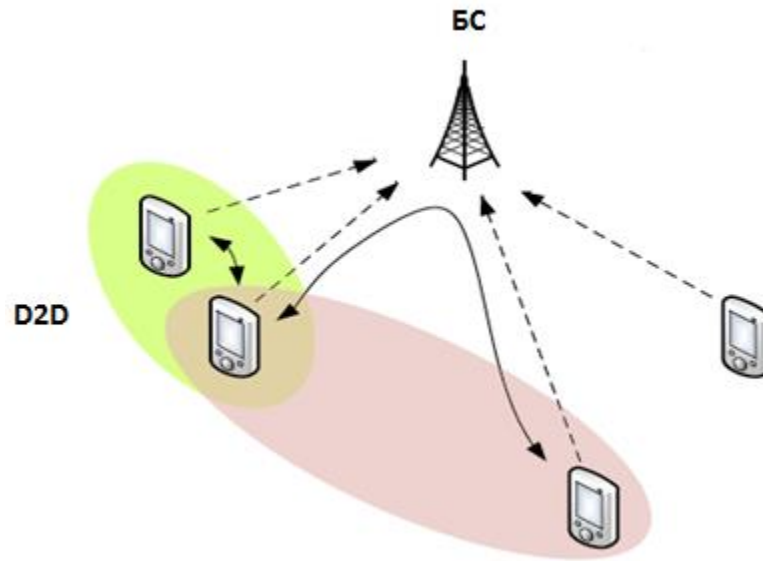
## Кооперативные сети (2)

Использование в качестве шлюзов сенсорной сети технических средств, обладающих возможностью обеспечения кооперативной передачи (шлюзы сенсорной сети размещаются, как правило, в местах с наличием гарантированного электроснабжения).

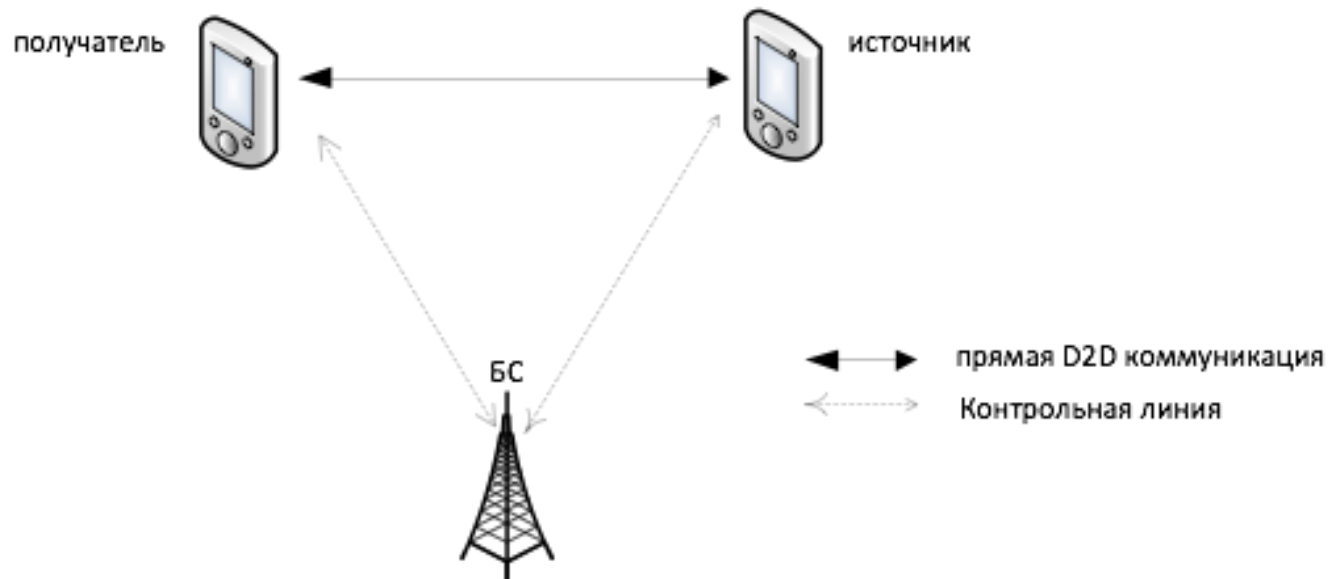
## Кооперативные сети (3)

Использование терминалов, находящихся более близко к базовой станции для обеспечения кооперативной передачи (например, терминалов из группы общих интересов или корпоративных).

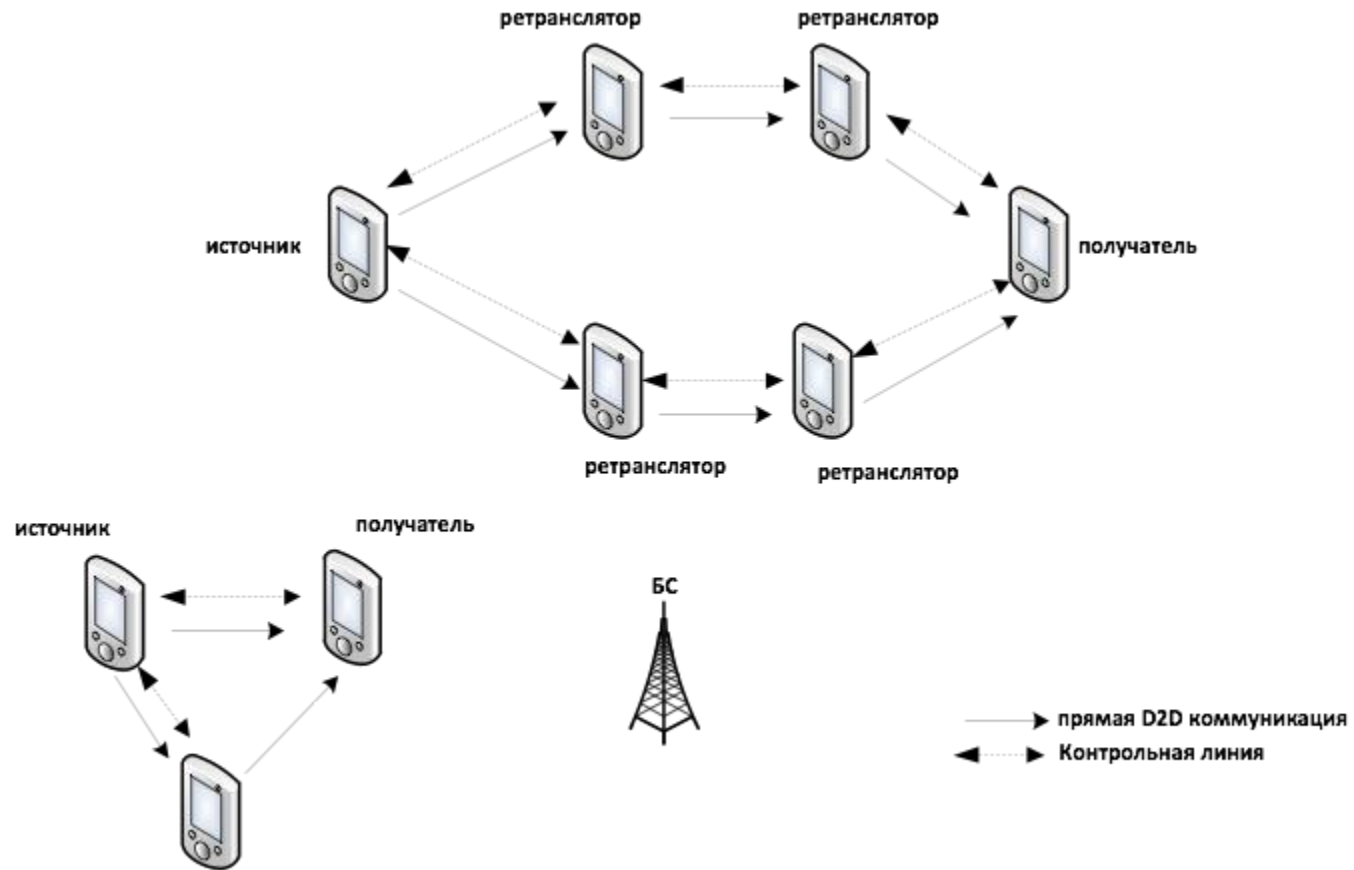
# D2D- коммунікації



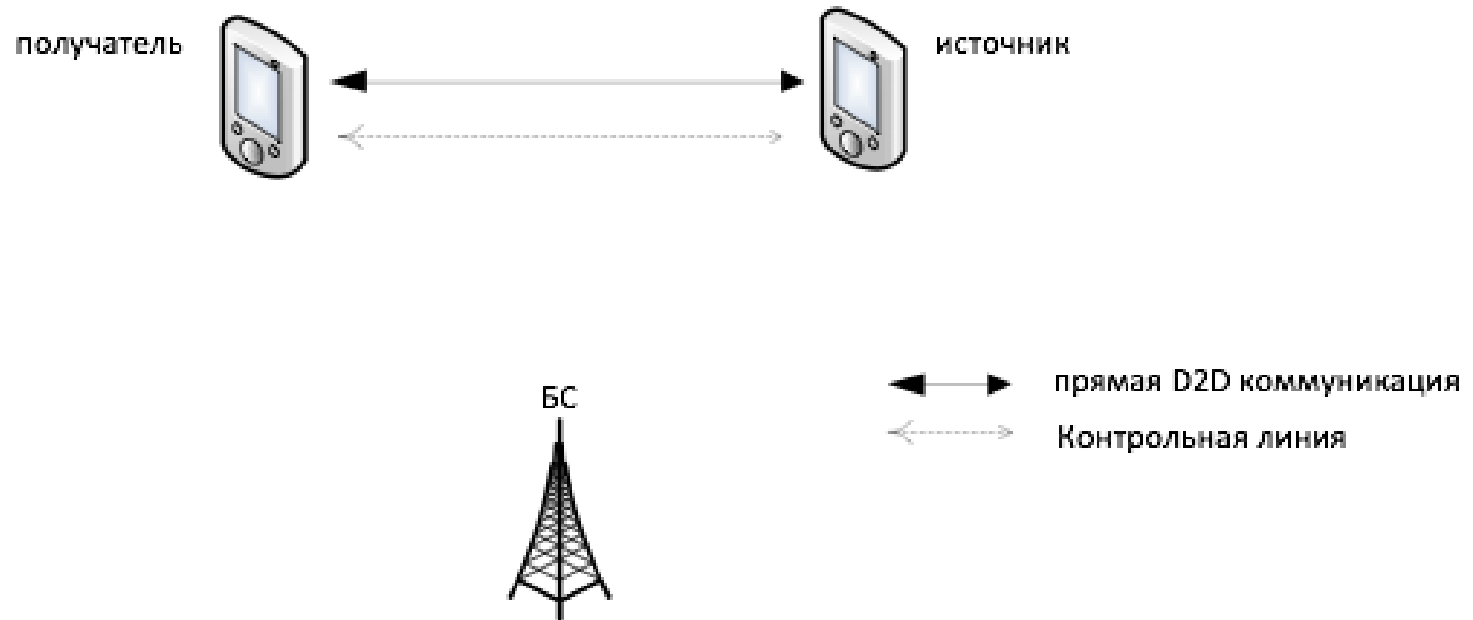
# Прямая D2D-коммуникация



# Взаимодействие источника и потребителя через устройства ретрансляции



# Прямая D2D-коммуникация по типу DC-DC



# Параметры качества обслуживания (NGN)

Задержки (IPTD), 100мс

Джиттер (IPDV), 50 мс

Потери (IPLR),  $10^{-3}$

Ошибки (IPER),  $10^{-4}$

# Новые виды трафика

Игры в реальном времени

Услуги e-health



# Терминология

e-health (е-здоровье) – общее (umbrella) понятие, определяющее область взаимодействия здоровья, медицинской информатики, телекоммуникаций и бизнеса, когда услуги для здоровья и информация о нем обеспечиваются посредством сети Интернет и ей подобных.

Включает в себя телемедицину, мобильное здоровье (m-health), телездоровье (telehealth) и т.д.

# Стандарты для сетей

1. Body Area Network (BAN) – нательные сети, IEEE 802.15.6.
2. Для иных целей, например, контроль характеристик окружающей среды в доме – IEEE 802.15.4.

Важнейшие сетевые параметры – безопасность и идентификация пользователя.

## Интерфейсы сети для передачи данных о здоровье (ISO/IEEE 11073)

1. ISO/IEEE 11073 - 10407 – интерфейс для передачи данных о давлении.
2. ISO/IEEE 11073 - 10417 - интерфейс для передачи данных об измерении сахара.
3. ISO/IEEE 11073 – 10442 – интерфейс для передачи информации об усилиях на оборудовании для фитнеса.

# Требования по качеству обслуживания (ITU-T, Focus Group M2M)

Характеристики QoS – требуемая скорость, задержки, потери, мобильность, безопасность.

Классы качества обслуживания:

- критические ситуации в реальном времени,
- некритические ситуации в реальном времени,
- WEB – консультации.

# Параметры качества обслуживания

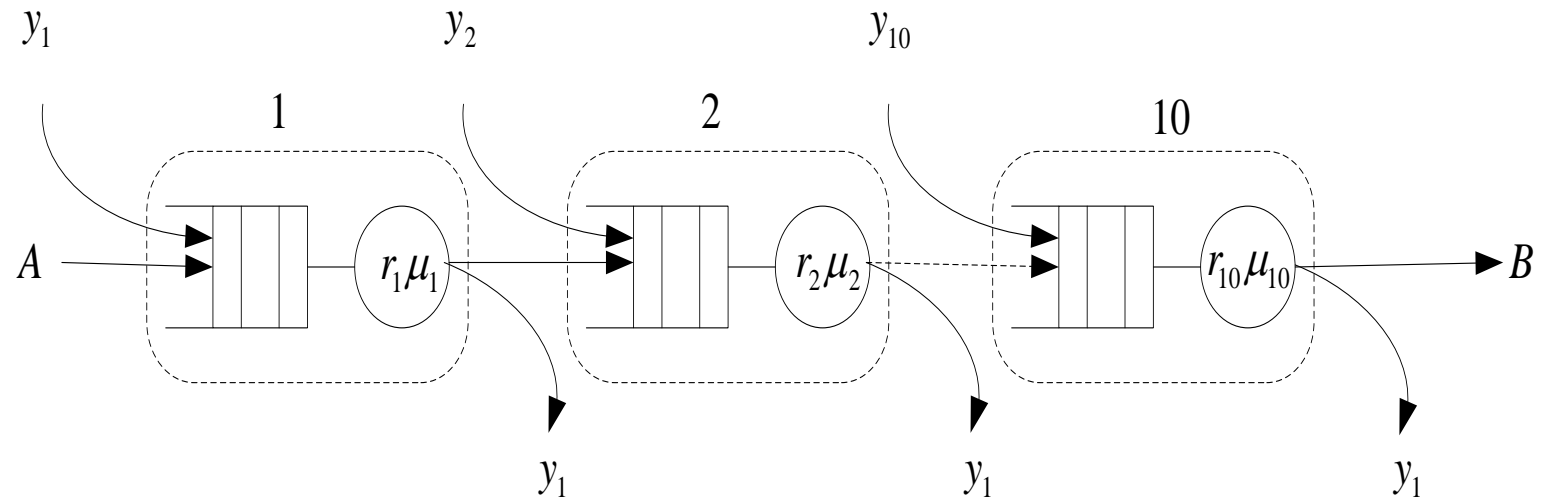
Услуга e-health	Скорость доступа	Задержки	Потери
Физиологический мониторинг в реальном времени	10 – 100 кбит/с	< 300 мс	$10^{-6}$
Аудио и видео системы, в том числе для оперативного вмешательства	10 кбит/с – 1Мбит/с	10 мс – 250 мс	$10^{-4}$
Доступ к базе данных пациента (например, с мобильного устройства)	1 – 10 Мбит/с	< 1с	Услуга толерантна к потерям

ITU-T Draft Recommendation. M2M enabled ecosystems: e-health.

# Классы качества обслуживания (3GPP TS 23.203)

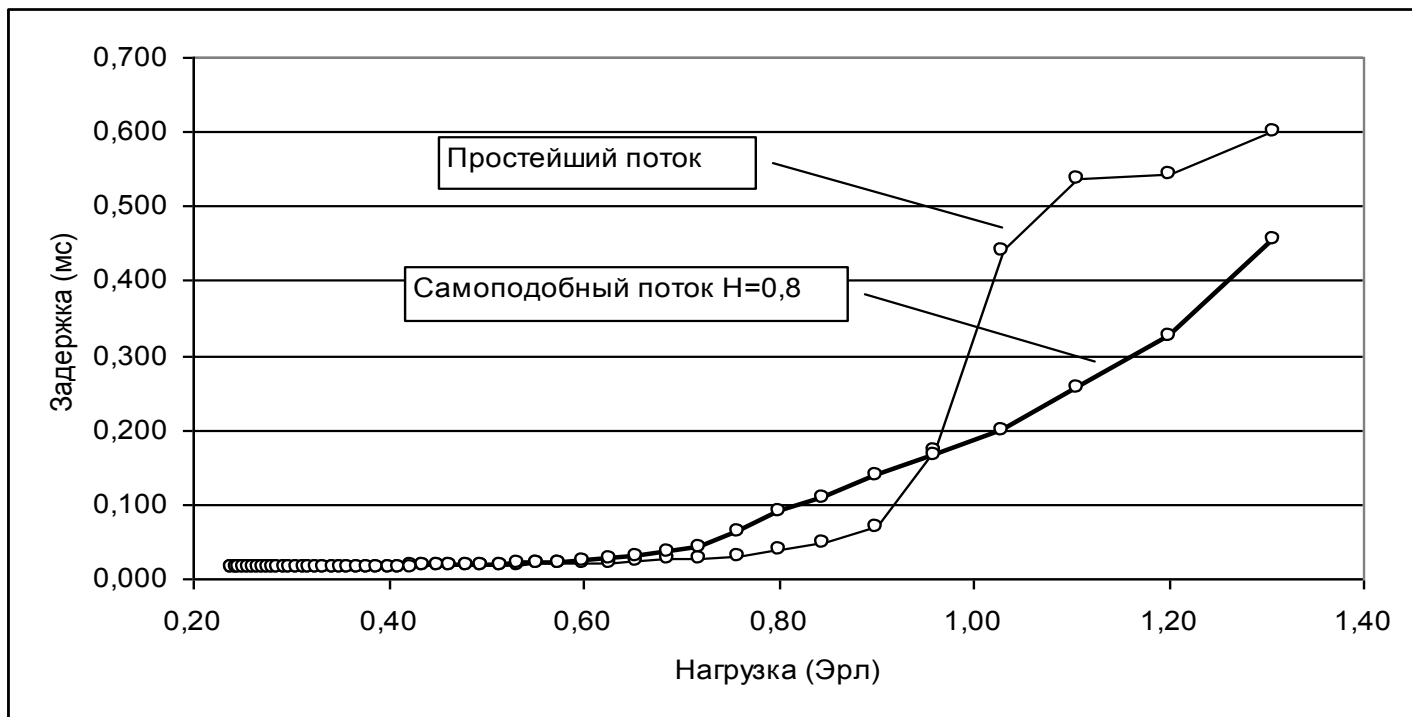
Приоритет	Задержки	Потери	Приложения
1	100 мс	$10^{-6}$	Сигнализация IMS
2	100 мс	$10^{-2}$	VoIP
3	50 мс	$10^{-3}$	Игры в реальном времени
4	150 мс	$10^{-3}$	Видеозвонки
5	300 мс	$10^{-6}$	Потоковые услуги
6	300 мс	$10^{-6}$	Web
7	100 мс	$10^{-3}$	Интерактивные игры
8	300 мс	$10^{-6}$	e-mail
9	300 мс	$10^{-6}$	Загрузка файлов

# Сети с малыми и сверхмалыми задержками



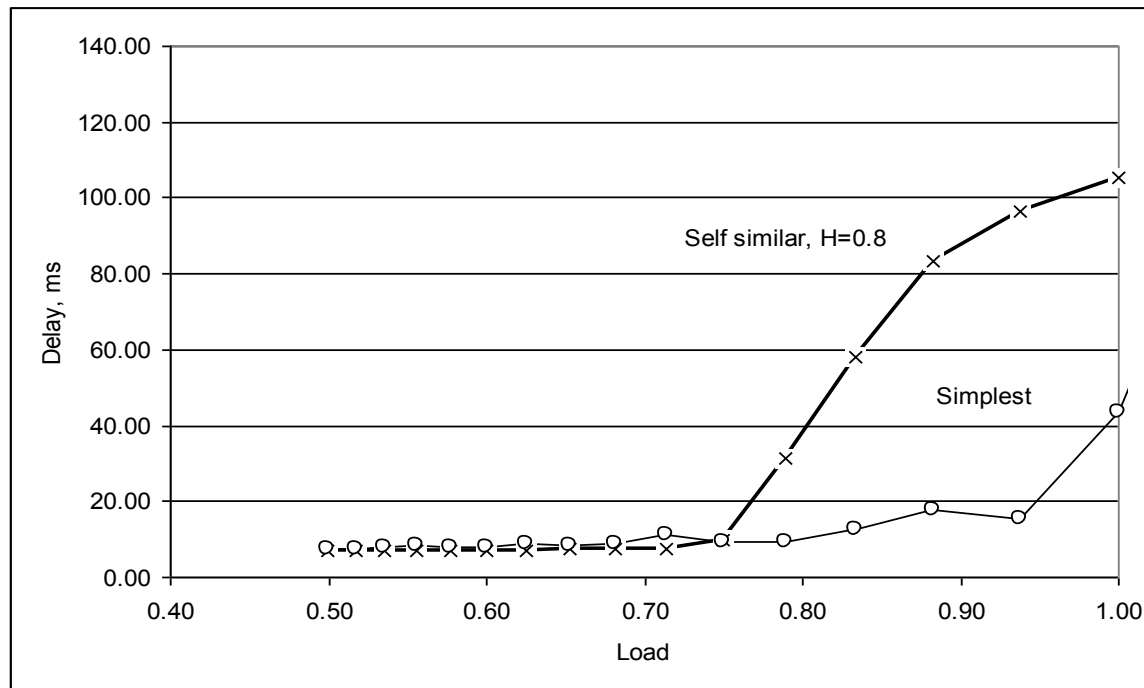
10 узлов, скорость передачи для 2-9 узлов 10 Гбит/с, для 1-2 и 9-10 – 4 Мбит/с

# Задержки для участка 10 Гбит





# Задержки для сети доступа (4Мбит/с)



# Тактильный Интернет

Слух – 100мс

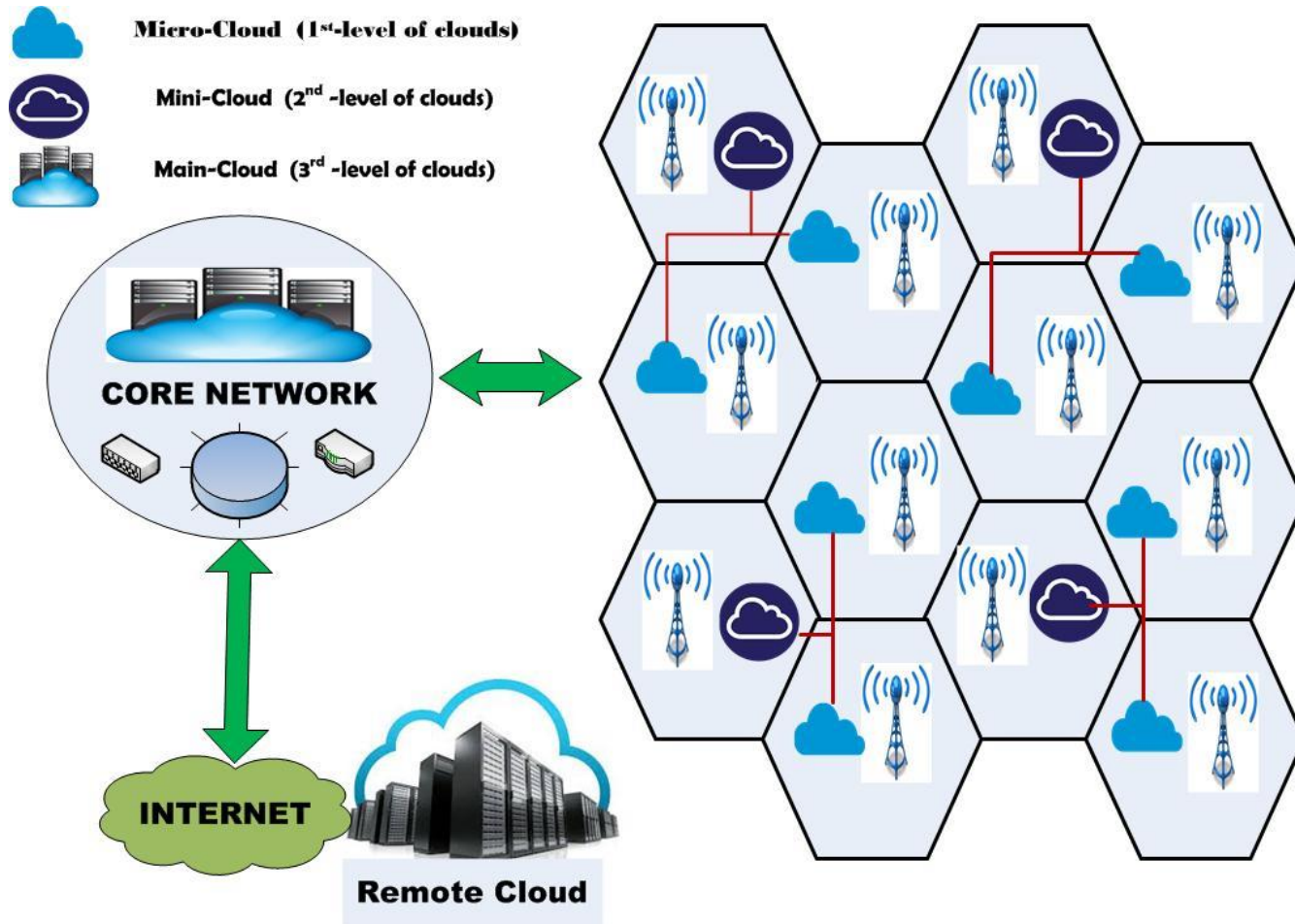
Зрение – 10 мс

Тактильное ощущение – 1 мс

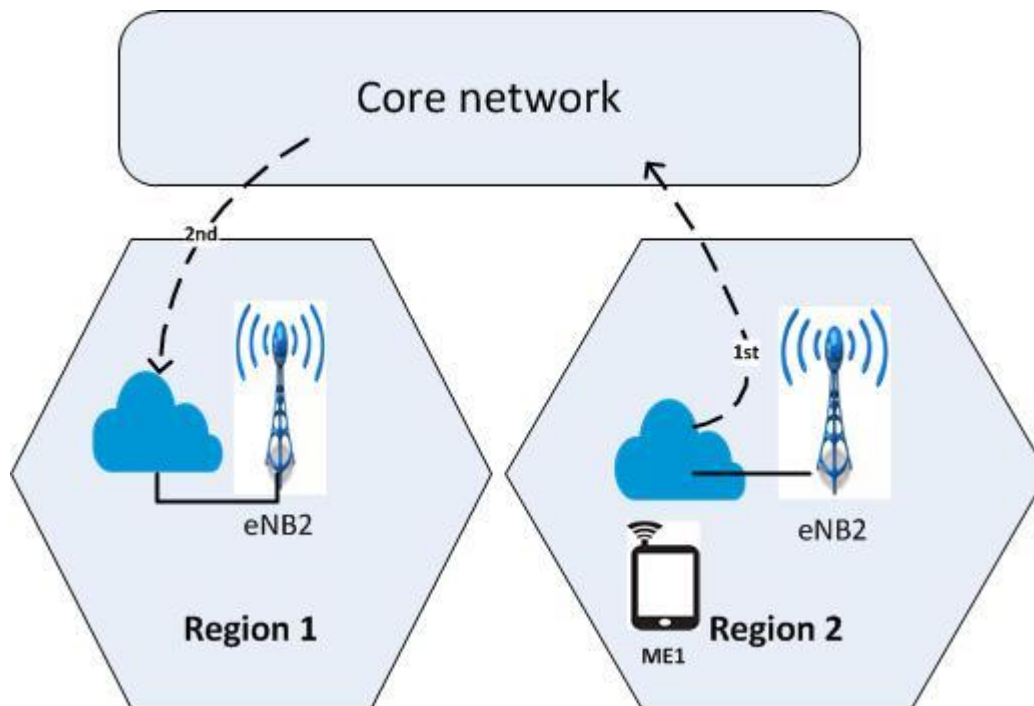
# Задержки в сетях связи

$$T = R \times \tau + \Theta$$

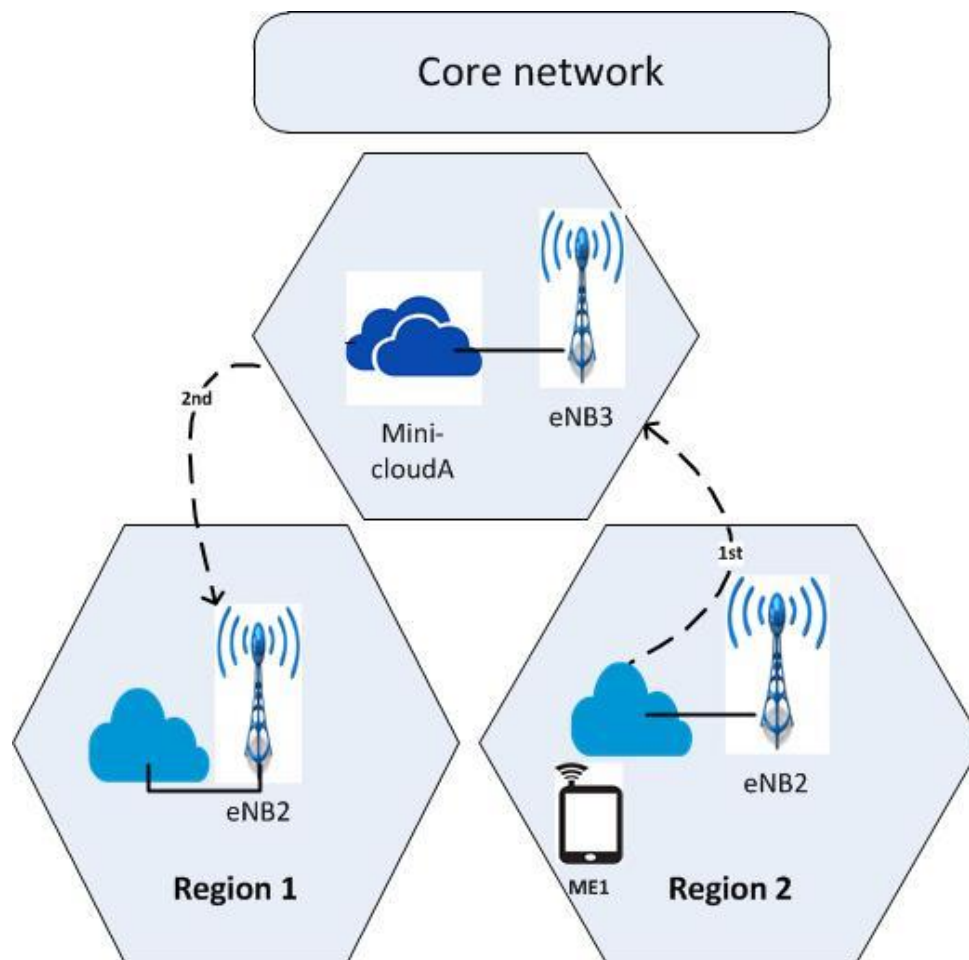
# Многоуровневая система облаков для Тактильного Интернета



# Роуминг через ядро сети



# Роуминг через мини-облако



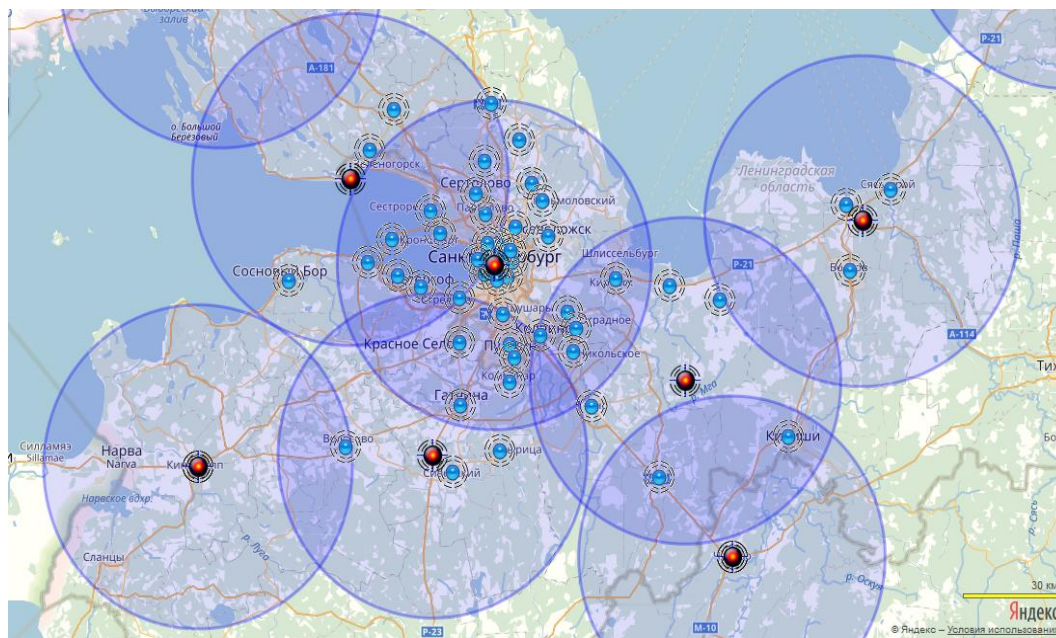
# Децентрализация сети и децентрализация экономики.

Физические ограничения на топологию сети при передаче тактильных ощущений требуют децентрализации облачной инфраструктуры операторов связи.

Размещение макро облаков операторов с радиусом охвата территории в 50 км требуют децентрализации размещения квалифицированных трудовых ресурсов и, соответственно, децентрализации экономики.

Пример размещения макро облаков операторов для Ленинградской области приведен на следующем слайде. Оптимизация размещения проводилась на основе метода формального элемента FOREL.

# Кластеризация сети при внедрении услуг Тактильного Интернета





# Влияние сетей с ультра малыми задержками на экономику страны

## ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ДЕЛИМИТАЦИЯ «УМНЫХ» ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ И РЕГИОНОВ

В.И. Блануца

Пространственная Экономика

2018. <sup>1</sup>2. С. 17–35.

# Агломерации (1)

Реализация в полном объеме «Тактильного Интернета» и многих других технологий цифровой экономики требуют минимальной задержки информационного потока из ситуационно-управленческого центра.

Из этого следует, что наиболее эффективное управление из центра будет распространяться на все города в пределах задержки сигнала до 1 мс. Именно эту величину можно рассматривать в качестве критерия делимитации цифровой городской агломерации.

## Агломерации (2)

Тогда следующее критическое значение задержки информационного потока – 10 мс – позволит выделить «умный» регион как некоторое территориальное образование, состоящее из агломерации и цифровой периферии. В будущем для эффективного управления «умными» объектами желательно сделать так, чтобы большинство населения проживало в агломерациях, меньшинство – на их периферии и никто – вне цифровых регионов (задержка более 10 мс).

# Сети пятого поколения

- Интеграция возможностей на сетях доступа
- Сверхплотные сети
- Сети с ультрамалыми задержками

# Интеграция возможностей на сетях доступа

5G – это не только сеть  
радиодоступа

5G – интегральная сеть

5G = мобильная + фиксированная  
сеть

# Сверхплотные сети

Концепция Интернета Вещей:  
вещи физические и виртуальные.

Прогноз: 3000-5000 на жителя  
планеты (J.-B. Waldner, *Nanocomputers  
and Swarm Intelligence*, 2008).

Примерно 50 трлн интернет вещей.

Оценки плотности в городах: 1 млн  
интернет вещей на 1 кв. км.

# Гетерогенные сети

Сверхплотные сети приводят к необходимости создания гетерогенных сетей, в которых в рамках одной территории (например, зона обслуживания базовой станцией) могут присутствовать и терминалы пользователей, и терминалы беспроводных сенсорных сетей, и терминалы автомобильных сетей и т.д.

# Взаимодействия D2D

Взаимодействия устройство-устройство D2D (Device-to-Device) без участия базовой станции в сверхплотных сетях – естественный выход для разгрузки базовой станции и экономии электроэнергии. Оценка замыкания внутреннего трафика D2D – 40% от общего трафика.



# Дополненная реальность

Иной взгляд на возможности использования видео.

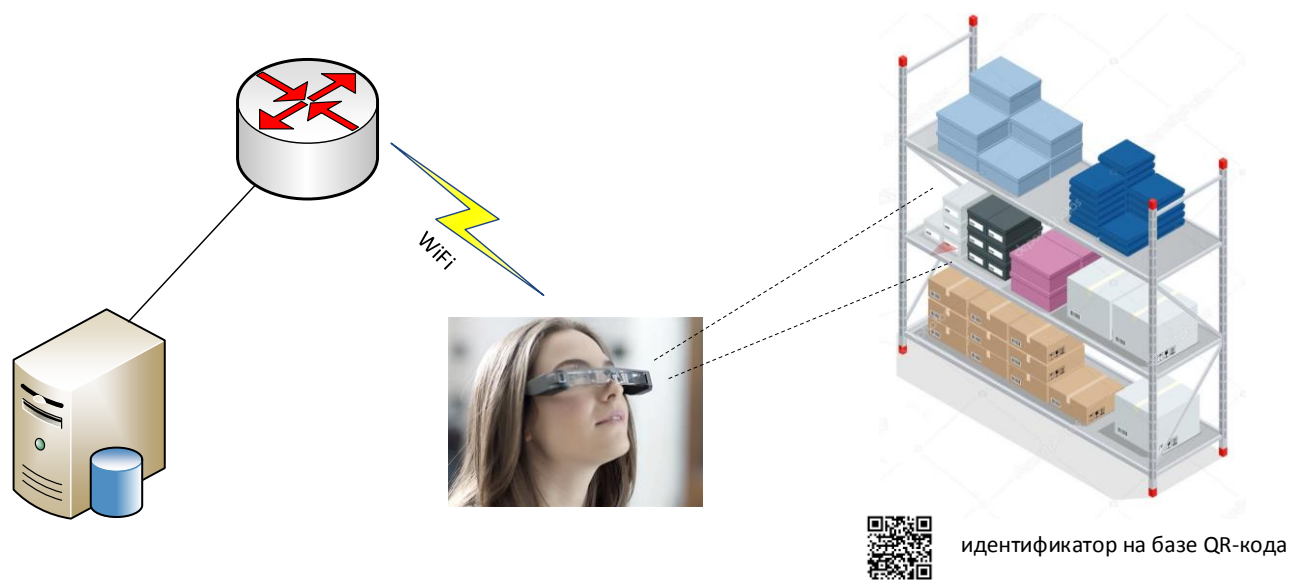
Пример: Олимпийские Игры 2018 года.



# Программно-аппаратный комплекс учета имущества на базе приложения дополненной реальности на базе лаборатории Интернета вещей СПбГУТ

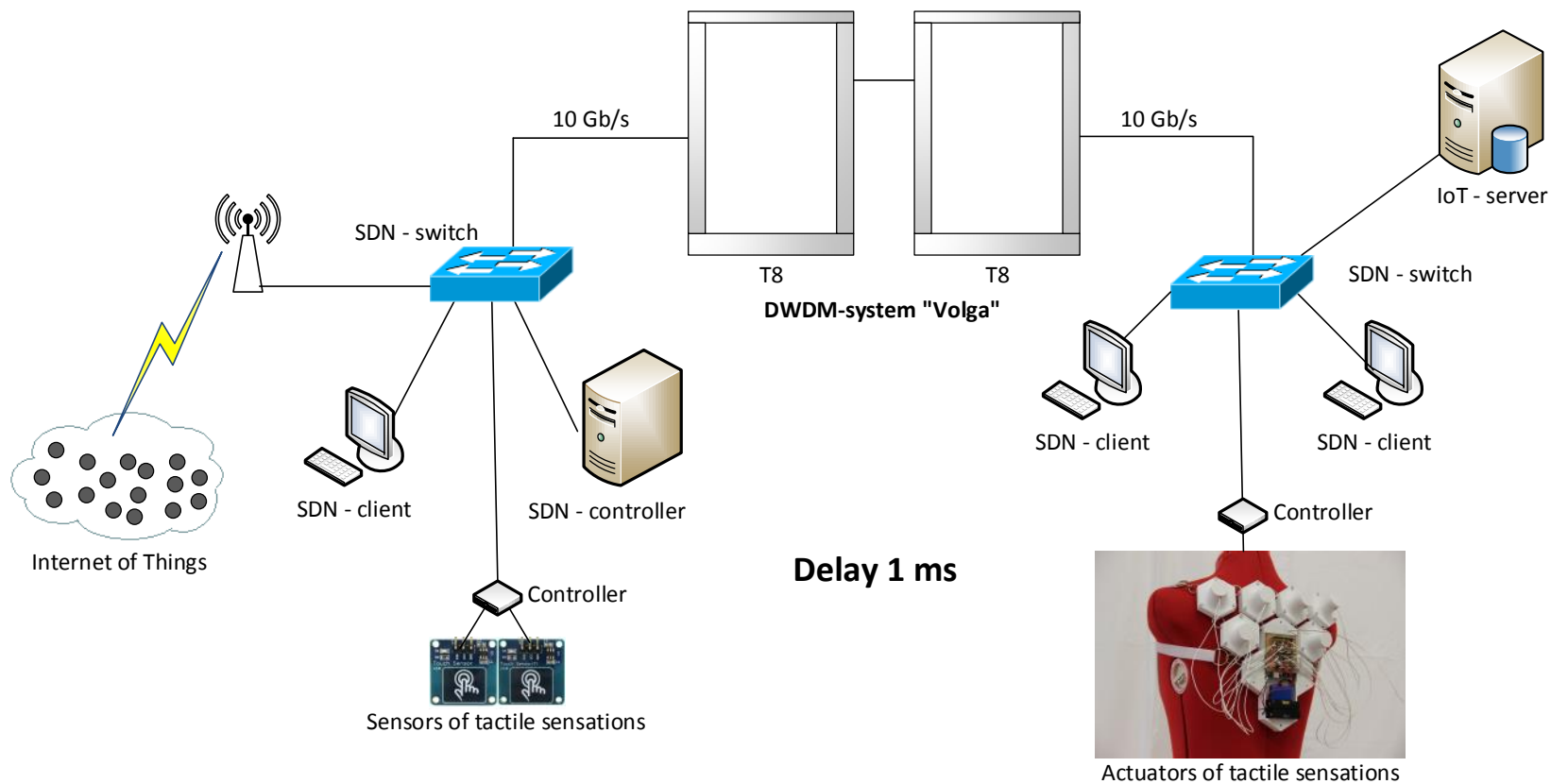


Традиционная инвентаризация



Инвентаризация на базе дополненной реальности

# Структура опытной зоны лаборатории Тактильного Интернета в СПбГУТ



# Интернет Навыков

Интернет Навыков (Internet of Skills) – новое приложение для сетей связи.

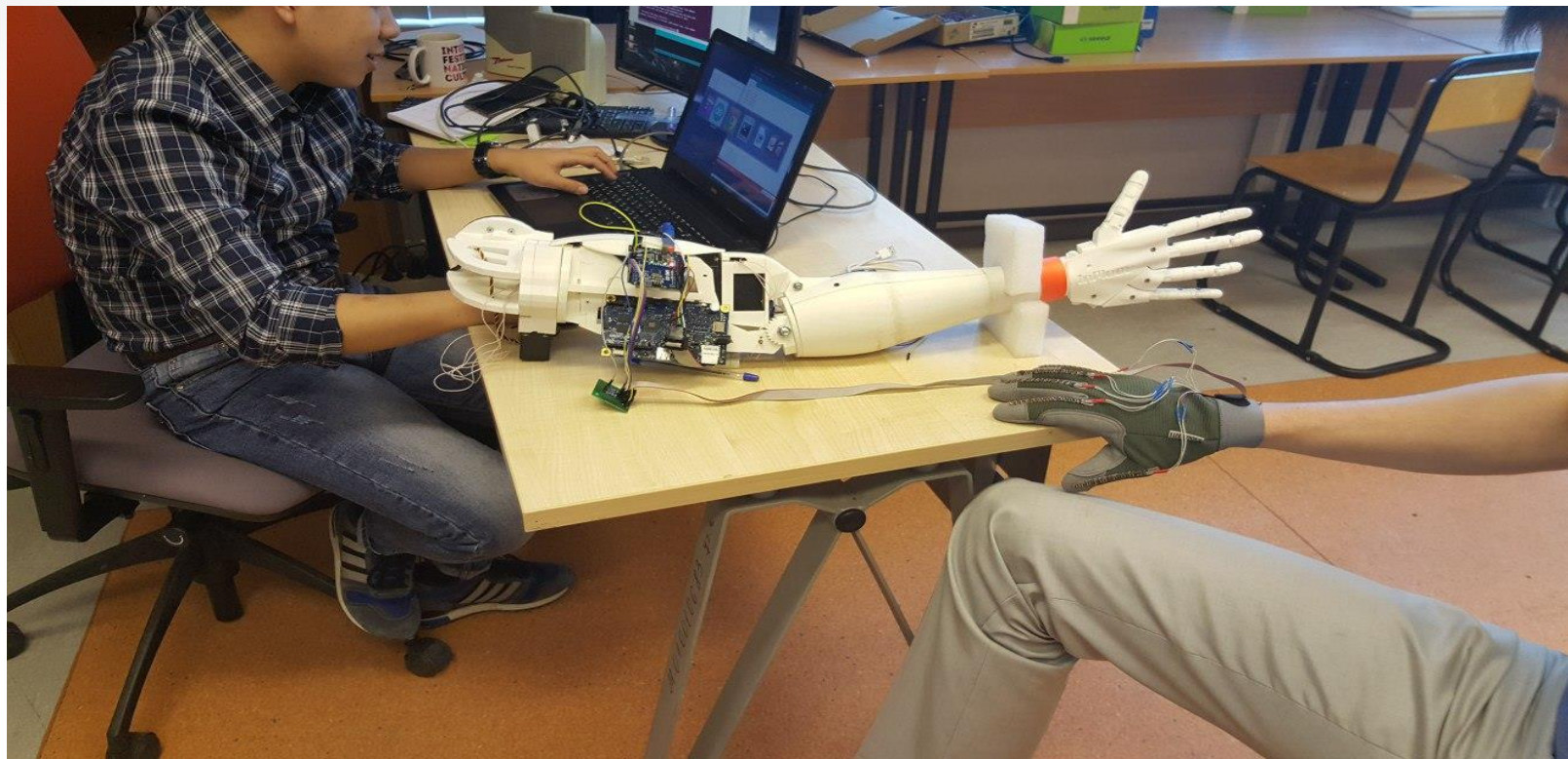
## Исследования в лабораториях кафедры ССиПД в области Интернета Навыков

Стенд состоял из тактильной перчатки, которая считывала движения кисти руки, преобразовывала движения отдельных фаланг пальцев в цифровой вид и отправляла на сервер, для которого была предварительно разработана нейронная сеть. В тактильную перчатку были вшиты датчики изгиба Flex sensors, которые при изменении угла изгиба изменяли сопротивление. Датчики с помощью шлейфа подключались к платформе Arduino Uno, которая преобразовывала значения сопротивлений в цифровой вид.

# Тактильная перчатка



# Лабораторный стенд «Тактильный Интернет»











# Результаты исследований

В результате передачи образа (хранимого в базе данных нейронной сети) на исполнительный контроллер осуществлялось преобразование этого образа в управляющие команды для сервоприводов, которые пропорционально поворачивали шестерни и изменяли натяжения нитей. В результате роботизированная рука воспроизводила образ с допустимой точностью. По субъективным оценкам воспроизводимых образов была зафиксирована достаточная для первых экспериментов точность воспроизведения.

# Интернет нановещей

Наносеть является самоорганизующейся сетью, в которой в качестве узлов сети используются наномашинны, а информация и сигнализация могут быть переданы в том числе и путем перемещения вещества.

# Наносети

WNSN

```
graph TD; WNSN[WNSN] --- Molecular[Молекулярные]; WNSN --- Electromagnetic[Электромагнитные];
```

Молекулярные

Электромагнитные

# Электромагнитные наносети

Фундаментальные изменения:

- Наноантенна
- Наноприемопередатчик (нанотрансивер)

Аналитические модели каналов, сетевой архитектуры и протоколов

# Физический и канальный уровни

- ТГц
- Импульсная передача
- Новые протоколы для импульсной передачи

# Наноантенны

- Размер: до нескольких сотен нанометров
- Материал: графен
- Достижения: Графеновая антенна длиной 1мкм. Диапазон 0.1 – 10 ТГц



# Перспективные исследования по электромагнитным наносетям (1)

- Терагерцовый диапазон:
  - Шумы молекул, потери для различных композиций молекул и условий распространения
  - Информационные возможности терагерцового диапазона
  - Какие нужны мощности передатчика для преодоления шума молекул?

## Перспективные исследования по электромагнитным наносетям (2)

- Новые виды модуляции на уровне фемтосекунд
- Новые схемы кодирования и декодирования (простые и малопотребляющие)
- Нужен ли MAC уровень?
- Энергетическая модель, механизмы адресации, маршрутизация, надежность

# Молекулярные наносети

Тело человека, животного	$\text{Ca}^{2+}$
продукты (нм – мкм)	
Средние расстояния	
(мкм – мм)	бактерии
Сотни метров и	
километры	феромоны

# Феромоны

Релизеры – запускают определенную поведенческую реакцию

Праймеры – изменяют физиологическое состояние особи

Расстояние: до нескольких км.

Концентрация: рецепторная система, до 1 молекулы.

Релизеры: аттрактанты (феромоны агрегации), репелленты (феромоны отпугивающие), аррестанты (феромоны останавливающие), стимулянты (феромоны активности), детерренты (феромоны тормозящие реакцию).

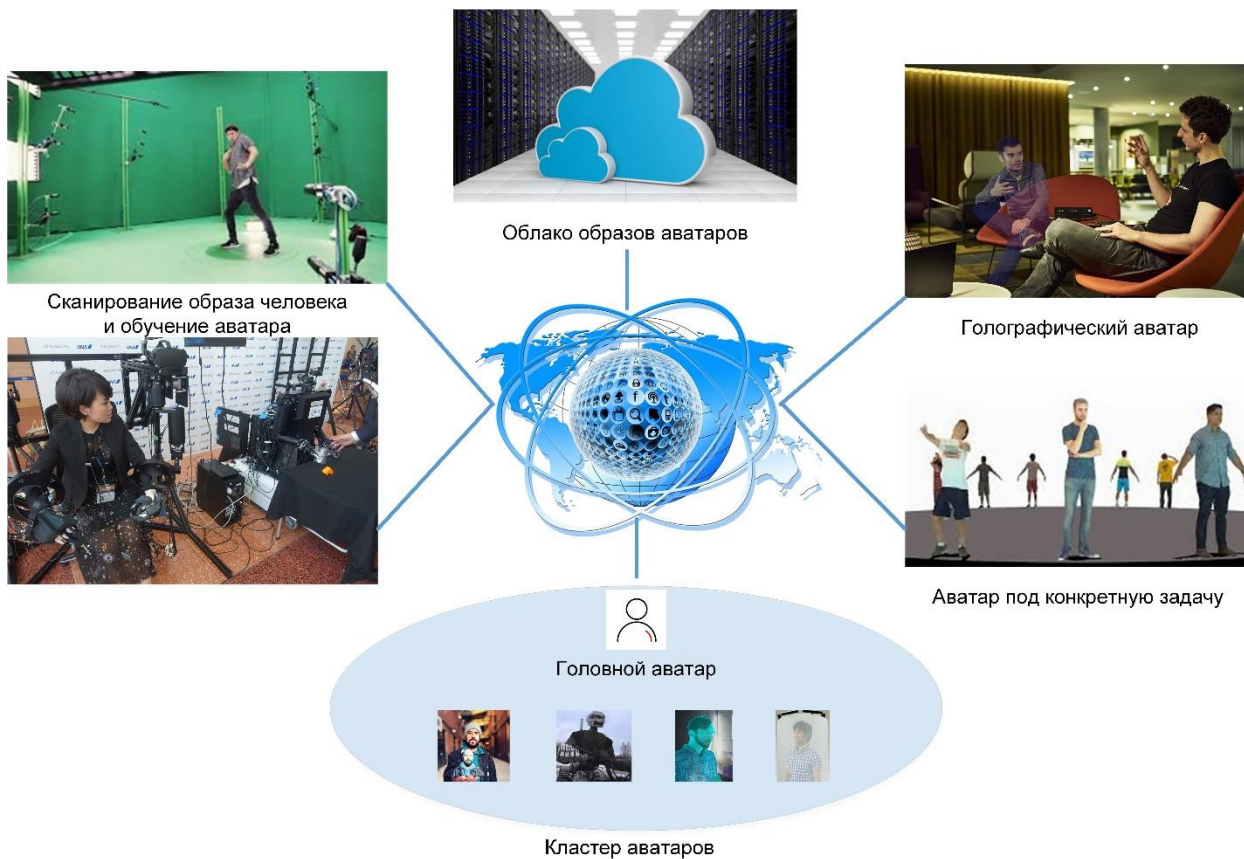
# Бактериальные проводные и беспроводные наносети

- Примером проводной связи для бактерий является передача генов или генетического материала между различными бактериями (конъюгация). Примером беспроводной связи может быть формирование так называемого “кворума понимания” для определения размера своего сообщества бактерий.

# Сети связи 2030 (1)

Видение сетей связи 2030 основывается на понятиях о сверхплотных сетях и сетях с ультра малыми задержками, которые будут реализованы при внедрении концепции сетей связи пятого поколения. При этом учитывается, что ключевая роль в дальнейшем развитии сети принадлежит сетям с ультра малыми задержками, внедрение которых позволяет децентрализовать сетевые ресурсы и реально сократить цифровой разрыв между территориями страны. В качестве основных новых приложений для сетей связи 2030 рассматриваются телеприсутствие и персонализация ресурсов сети, проявляющиеся как при взаимодействиях человек-аватар, так и при голографическом телеприсутствии, а также возможные приложения наносетей.

# Сети 2030 (2)



# Сети связи 2030 (3)



Беспилотный автотранспорт



Тактильный Интернет



Дополненная реальность



Медицинские сети



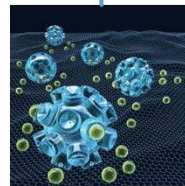
Сеть связи с ультра малыми задержками 2030



Летающие сети



Промышленные гуманоиды



Наносети



Индустрия 4.0



# Сети uRLLC. Коэффициент ГОТОВНОСТИ

- Коэффициент готовности для существующих сетей 0,9999
- Коэффициент готовности для сетей uRLLC 0,999999 (Z.Li, M.Uusitalo, H.Shariatmadari, B.Singh. 5G URLLC: Design Challenges and System Concepts. 15<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), October 8-9. Tokio, Japan, 2018, 6p.).

# Сети uRLLC. Время недоступности.

Время простоя системы коммутации 2 часа за 40 лет

Время недоступности сети uRLLC 4мс в сутки (M.F.Zhahi, H.ElBakoury . Introducing FlexNGIA: A Flexible Internet Architecture for the Next-Generation Tactile Internet. 4th ITU Workshop on Network 2030 jointly with ITU FORUM on Future Applications and Services. Perspective 2030. Saint-Petersburg, Russian Federation, 21-23 May 2019, <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Pages/programme.aspx>).