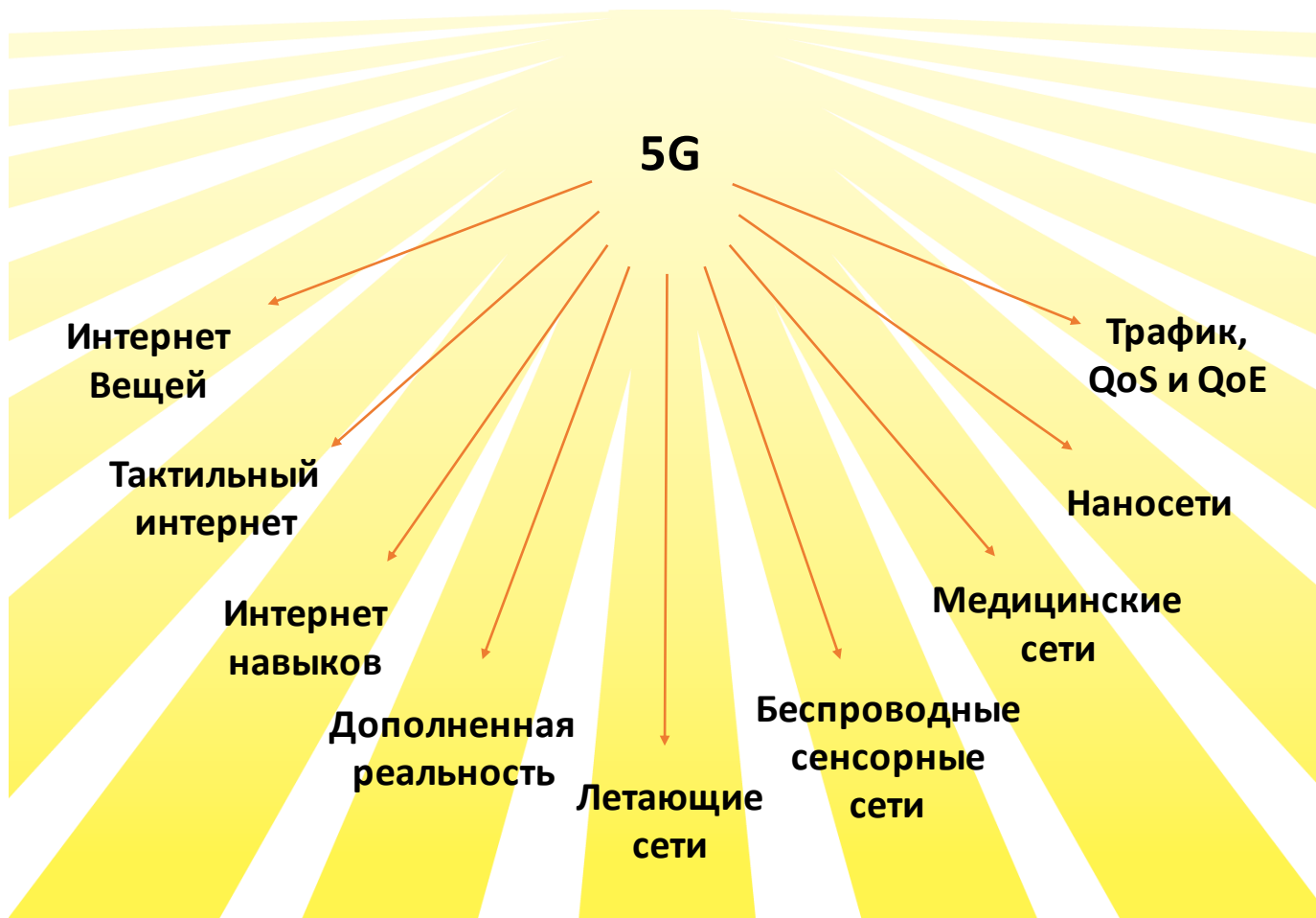


Сети связи пятого поколения и цифровая экономика

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

Сети и технологии



Сети связи и общество

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

Доходы и инновации у зарубежных операторов

- Отчеты за 2017 год:

Orange

Deutsche Telekom

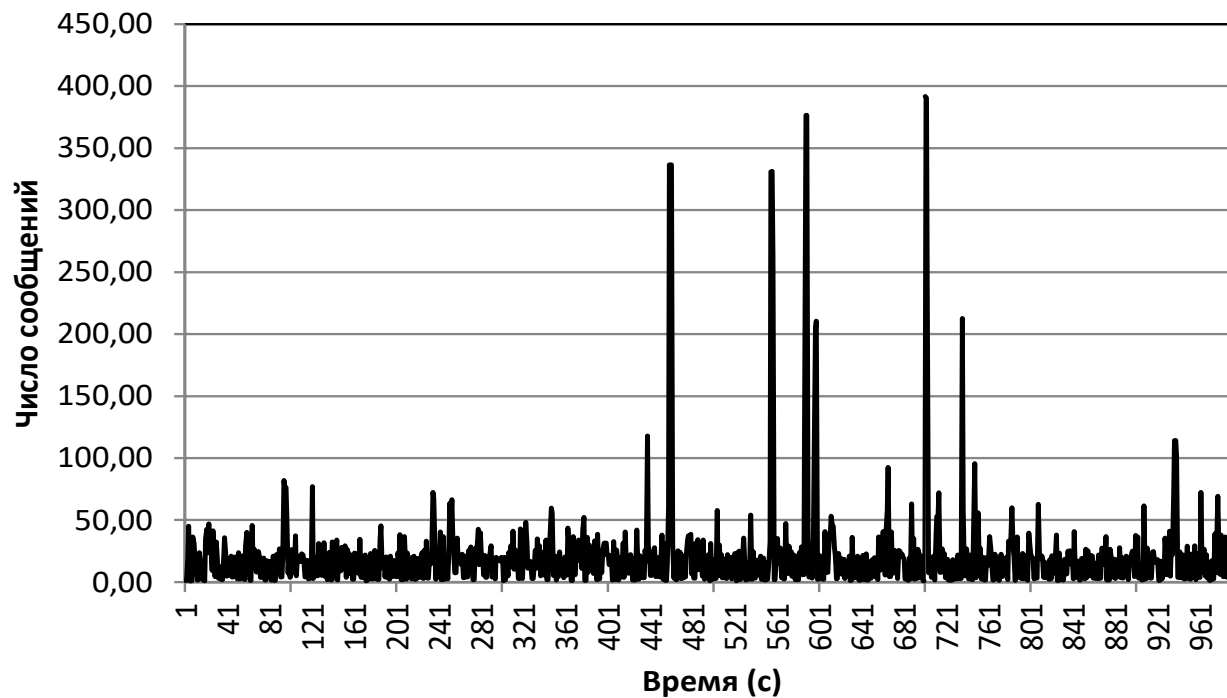
Классификация трафика M2M

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

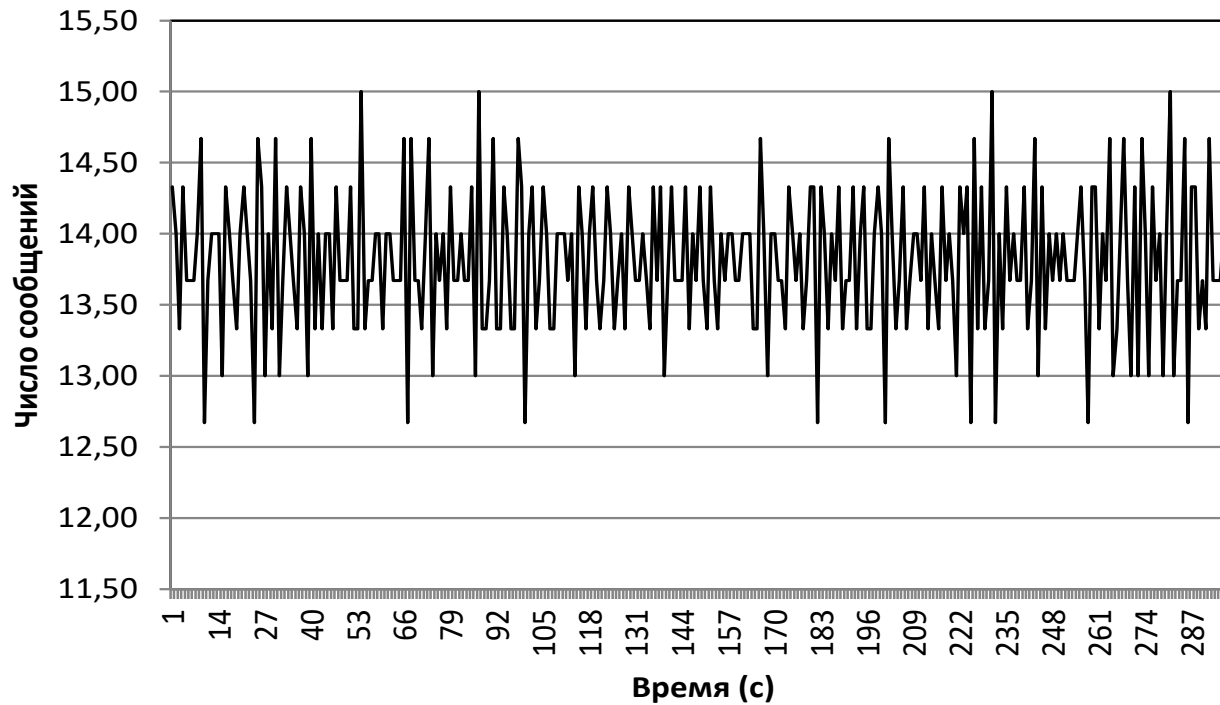
Опосредованный трафик

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



5G

Сети сверхвысокой плотности

Предшественники – кооперативные сети в
рамках 4G

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.

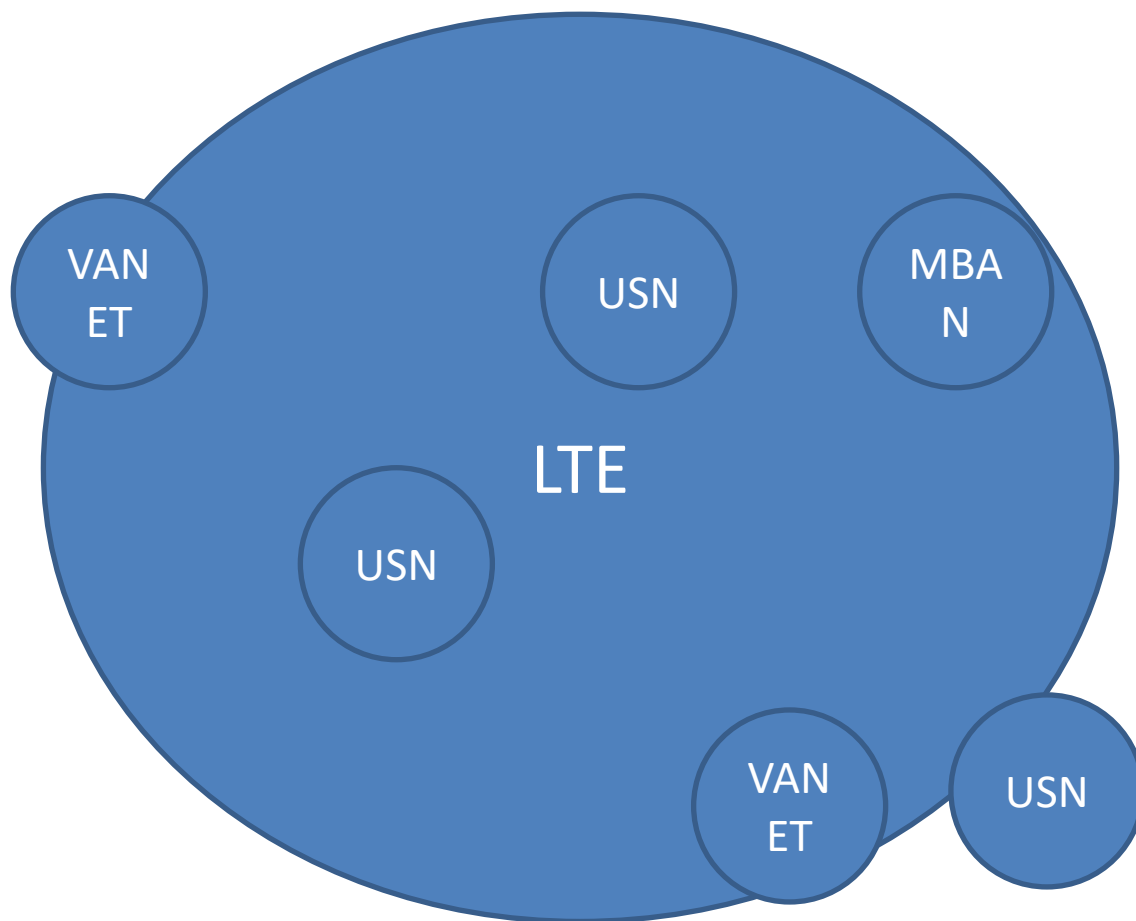
Гетерогенные сети

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.

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).

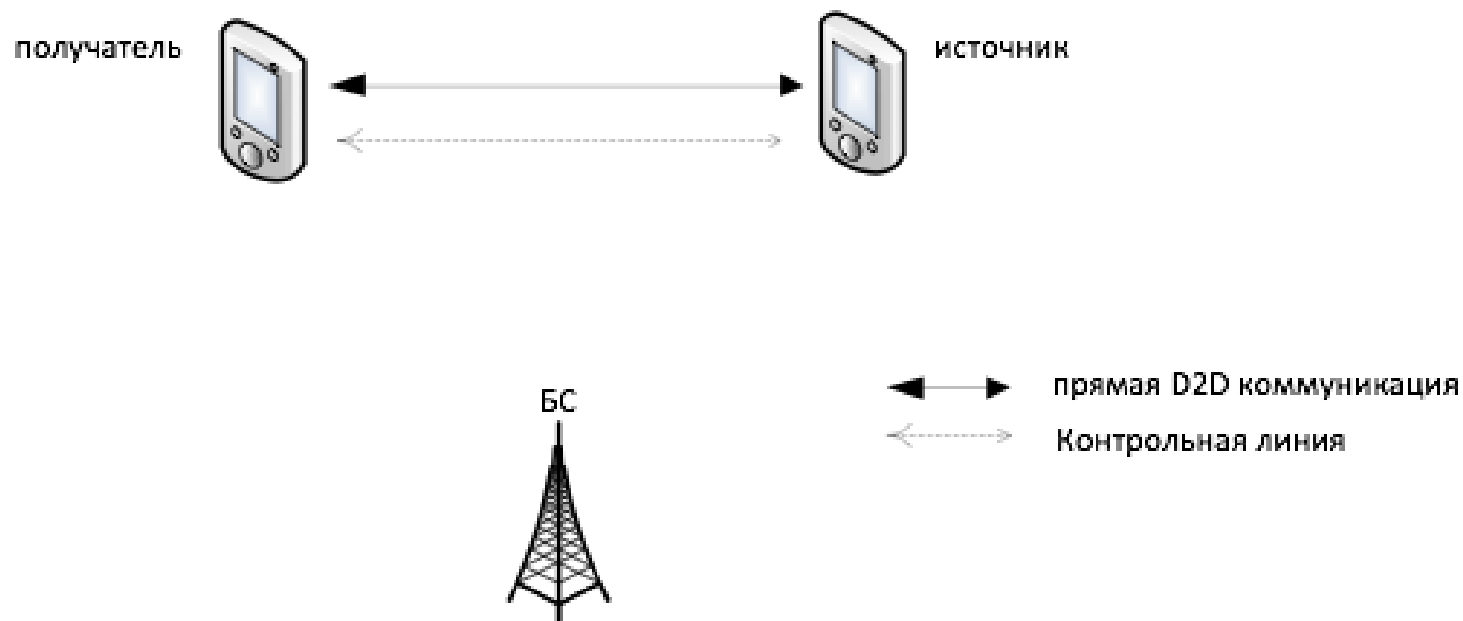
Кооперативные сети (2)

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).

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.

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

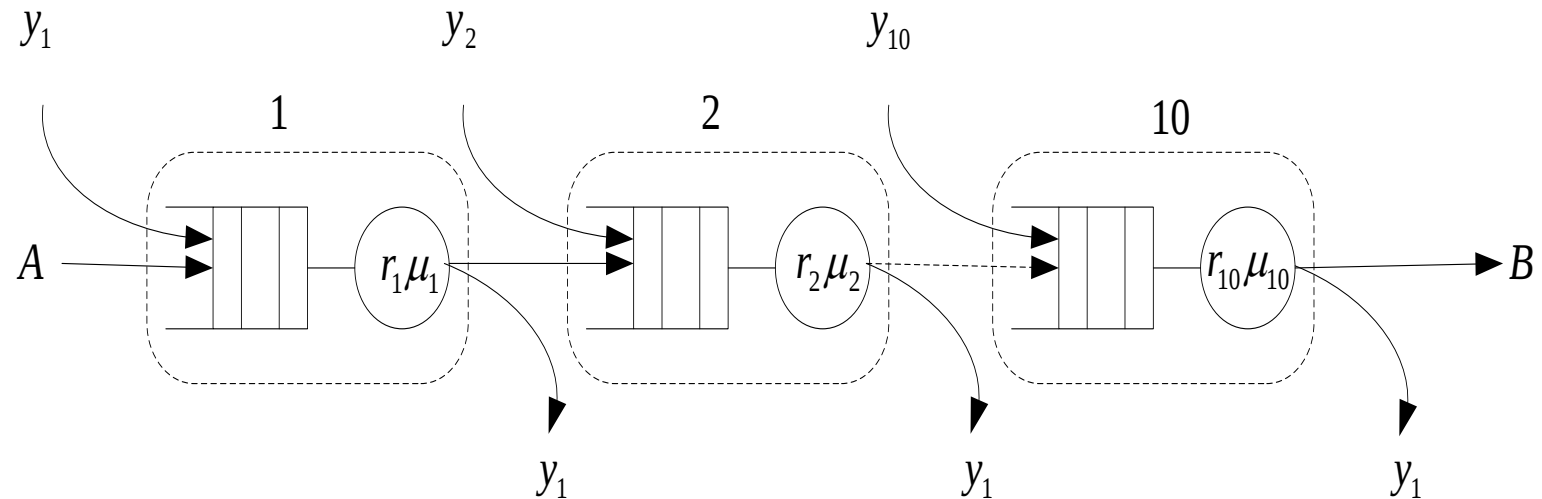
Услуга e-health	Скорость доступа	Задержки	Потери
Физиологический мониторинг в реальном времени	10 – 100 кбит/с	< 300 мс	10^{-6}
Аудио и видео системы, в том числе для оперативного вмешательства	10 кбит/с – 1Мбит/с	10 мс – 250 мс	10^{-4}
Доступ к базе данных пациента (например, с мобильного устройства)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

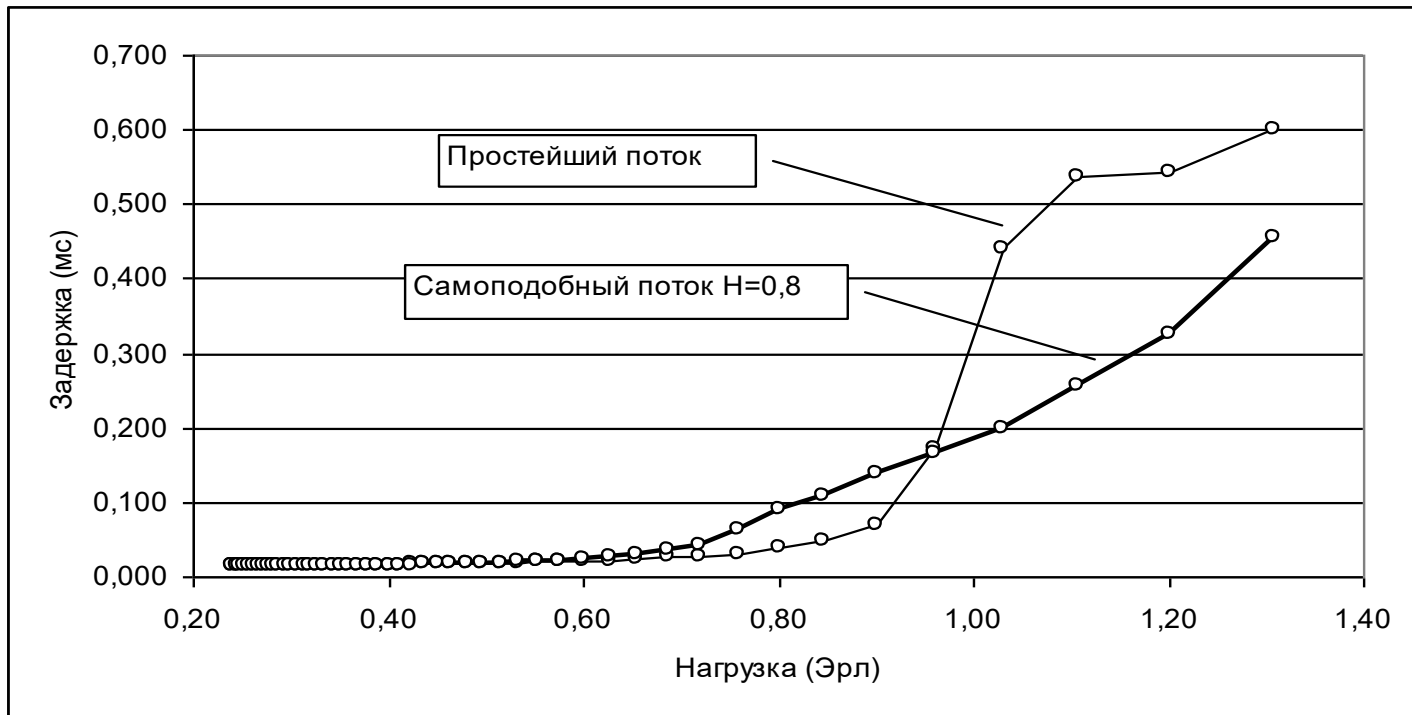
Приоритет	Задержки	Потери	Приложения
1	100 мс	10^{-6}	Сигнализация IMS
2	100 мс	10^{-2}	VoIP
3	50 мс	10^{-3}	Игры в реальном времени
4	150 мс	10^{-3}	Видеозвонки
5	300 мс	10^{-6}	Потоковые услуги
6	300 мс	10^{-6}	Web
7	100 мс	10^{-3}	Интерактивные игры
8	300 мс	10^{-6}	e-mail
9	300 мс	10^{-6}	Загрузка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

Сети с малыми и сверхмалыми задержками

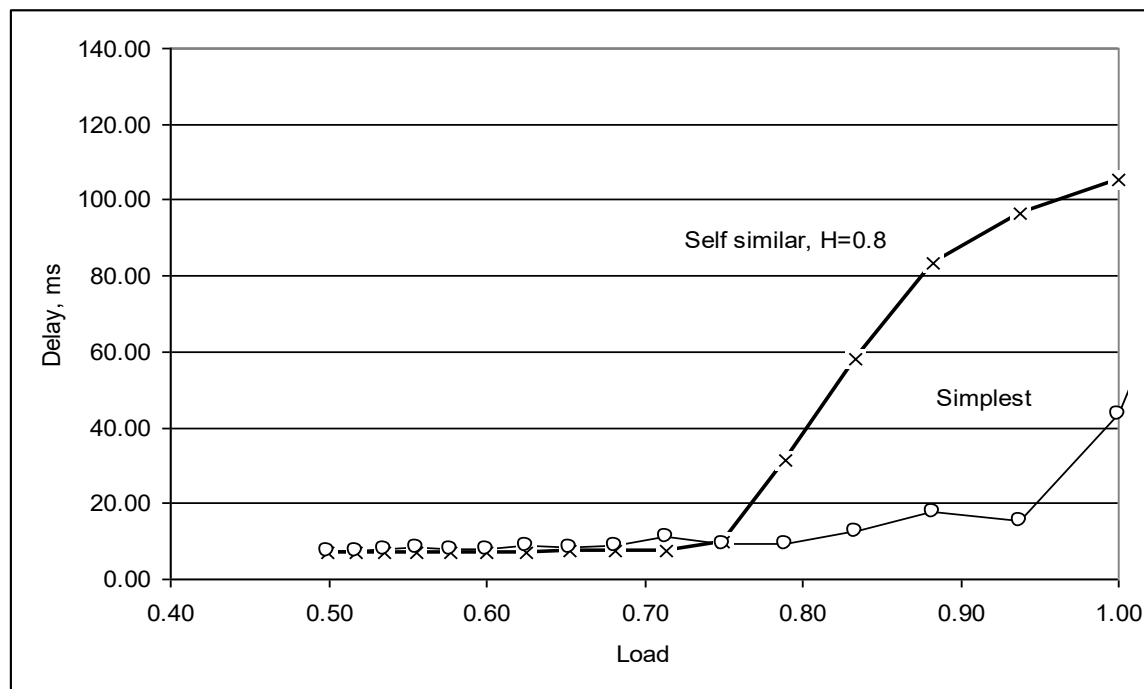


10 узлов, скорость передачи для 2-9 узлов 10 Гбит/с, для 1-2 и 9-10 – 4 Мбит/с

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

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

Эволюция задержек

Наименование сети	Значение задержки
NGN	100 мс
Медицинские сети	10 мс
Тактильный Интернет	1 мс

Эволюция скоростей

Наименование сети	Скорость на доступе	Скорость на магистральном участке
NGN	Мбит/с	Гбит/с
Сети связи с малыми задержками	Гбит/с	Тбит/с
Тактильный Интернет	Тбит/с	Пбит/с

Приложения Тактильного Интернета

1. Дополненная реальность.
2. Медицинские сети.
3. Чрезвычайные ситуации.

Сети с ультрамалыми задержками

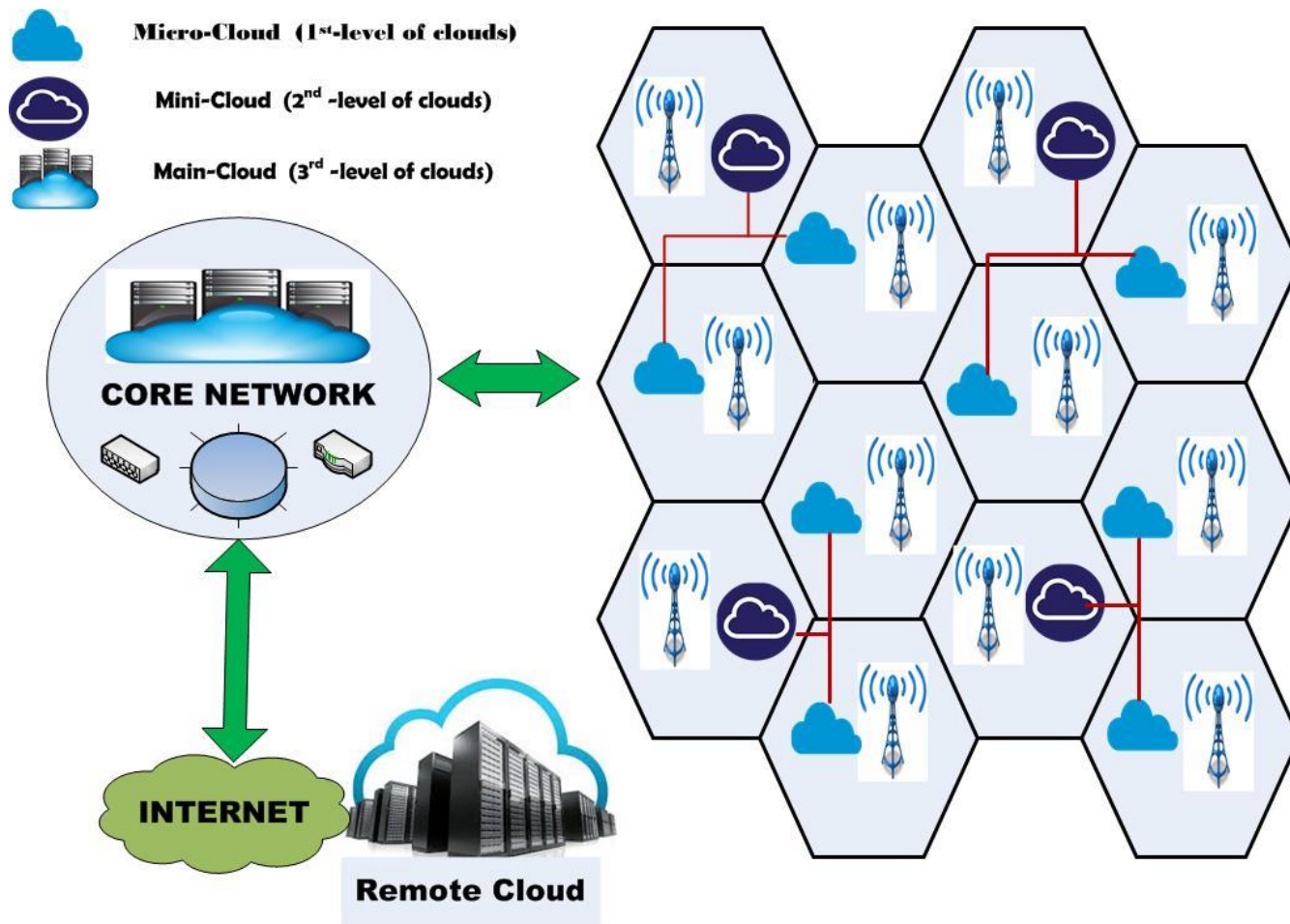
1. Передача тактильных ощущений.

Существенно меньшие задержки.

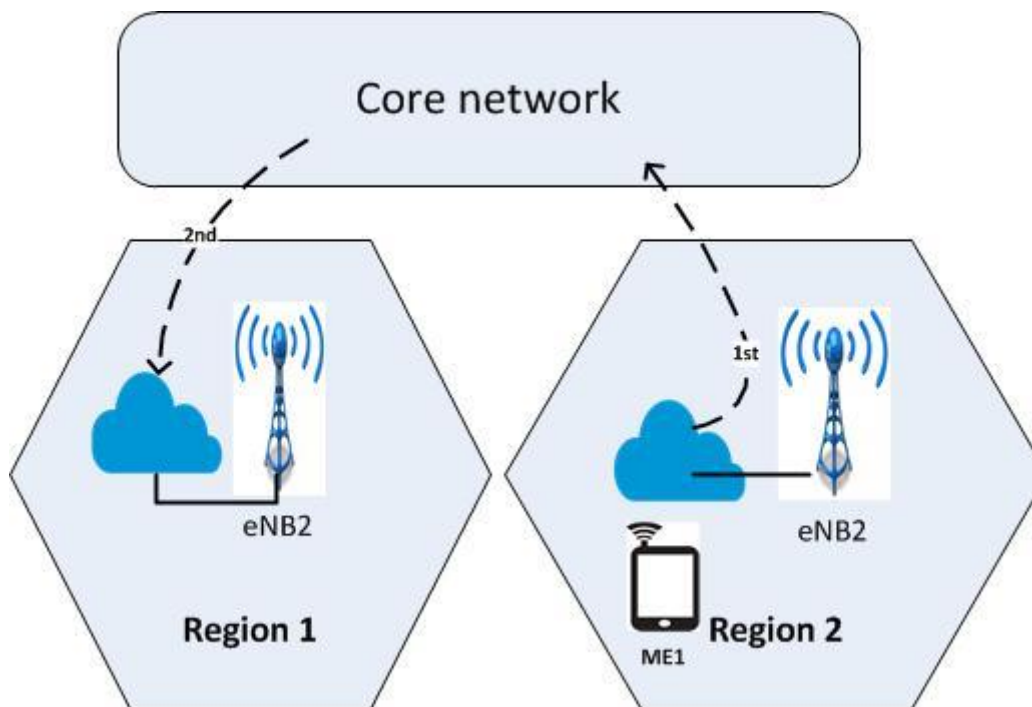
2. Робототизированные производства - одно из основных приложений передачи тактильных ощущений.

3. Медицина.

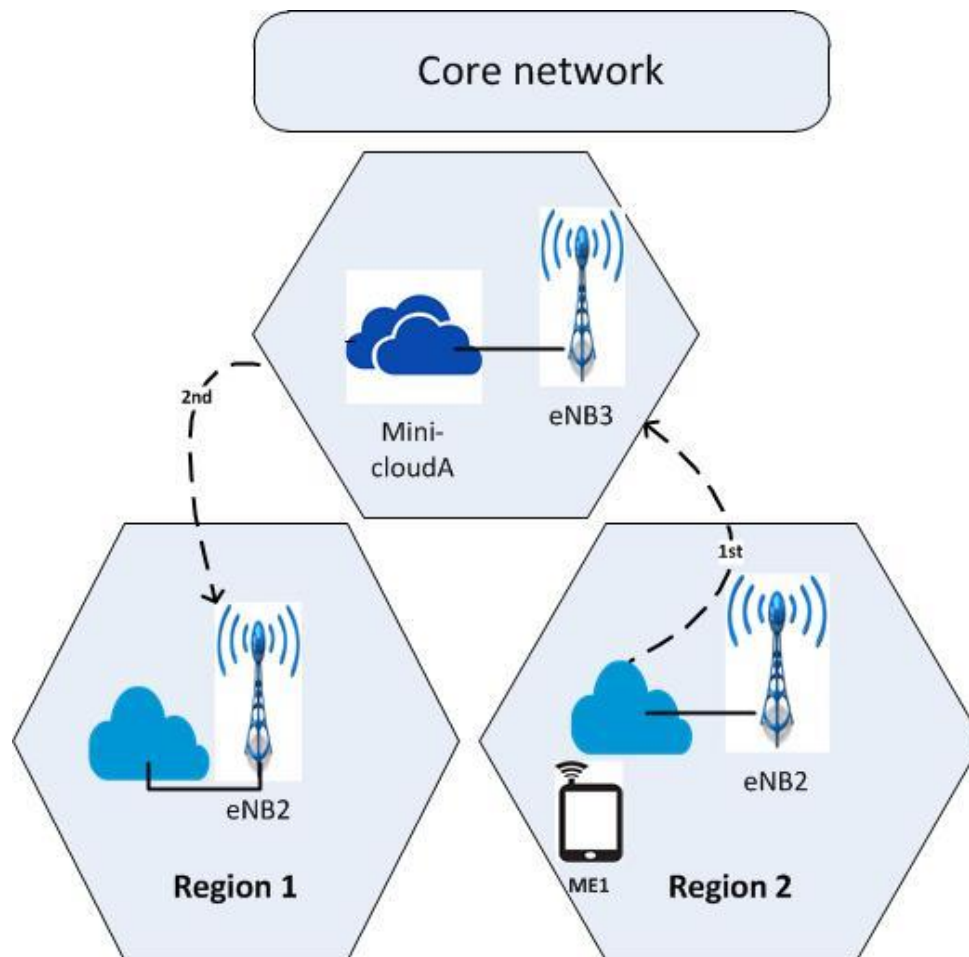
Многоуровневая система облаков для Тактильного Интернета



Роуминг через ядро сети



Роуминг через мини-облако



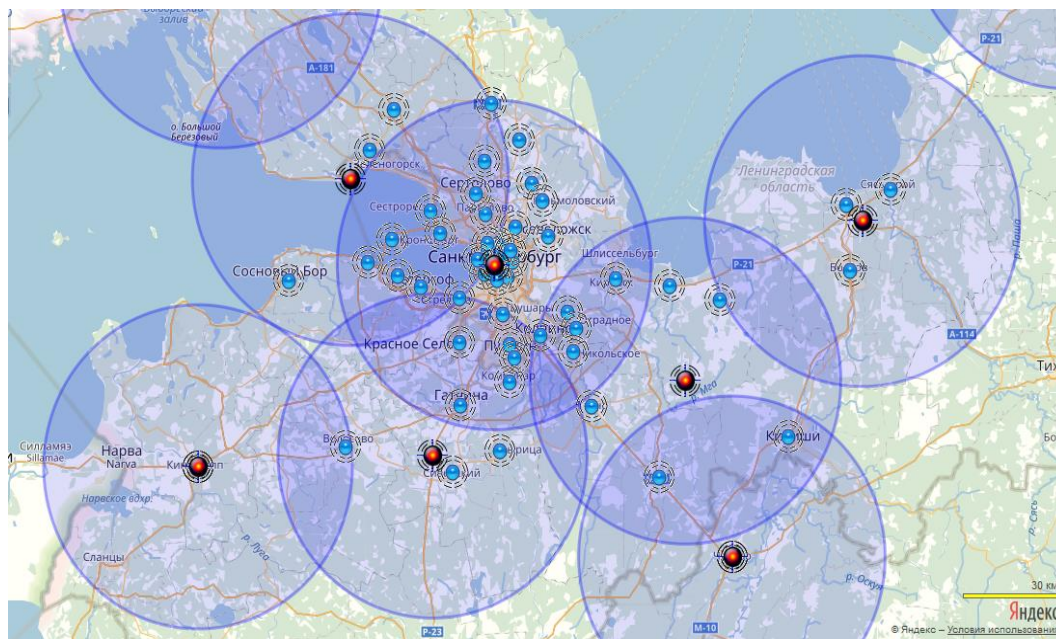
Децентрализация сети и децентрализация экономики.

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. ¹2. 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).

Перечень городов, которые могут войти в цифровую агломерацию Санкт-Петербурга

Великий Новгород, Волосово, Волхов, Всевожск, Выборг, Высоцк, Гатчина, Ивангород, Каменногорск, Кингисепп, Кириши, Кировск, Комму-нар, Любань, Малая Вишера, Никольское, Новая Ладога, Отрадное, Приморск, Приозерск, Санкт-Петербург, Светогорск, Сертолово, Сланцы, Сосновый Бор, Сясьстрой, Тосно, Чудово, Шлиссельбург

Дополненная реальность

Иной взгляд на возможности использования видео.

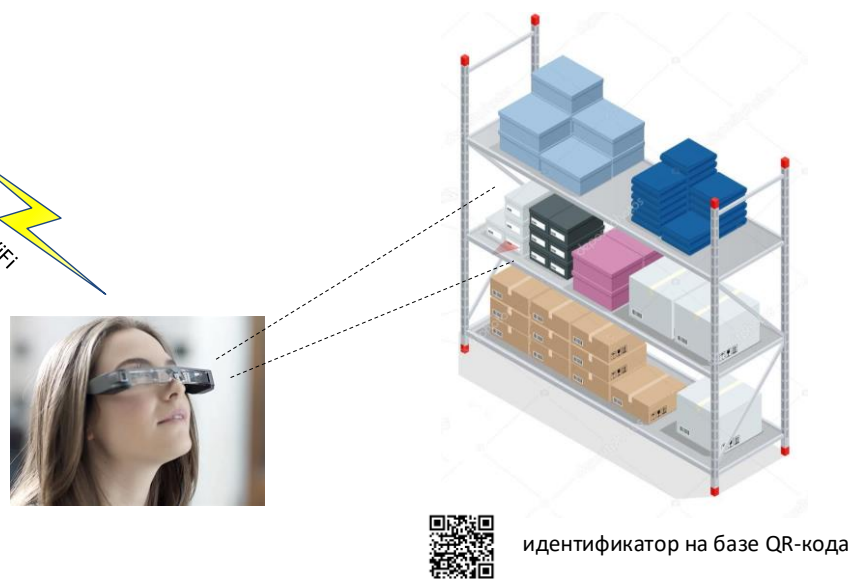
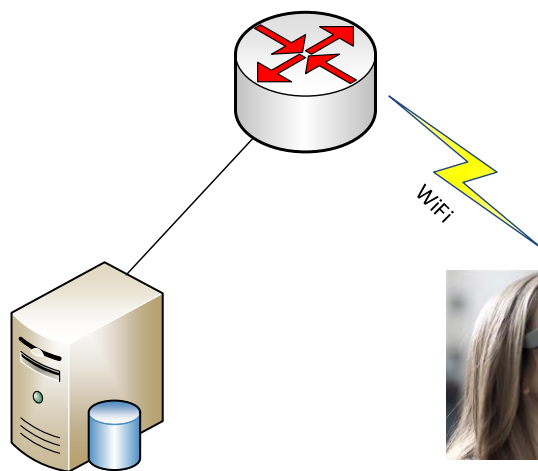
Пример: Олимпийские Игры 2018 года.



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

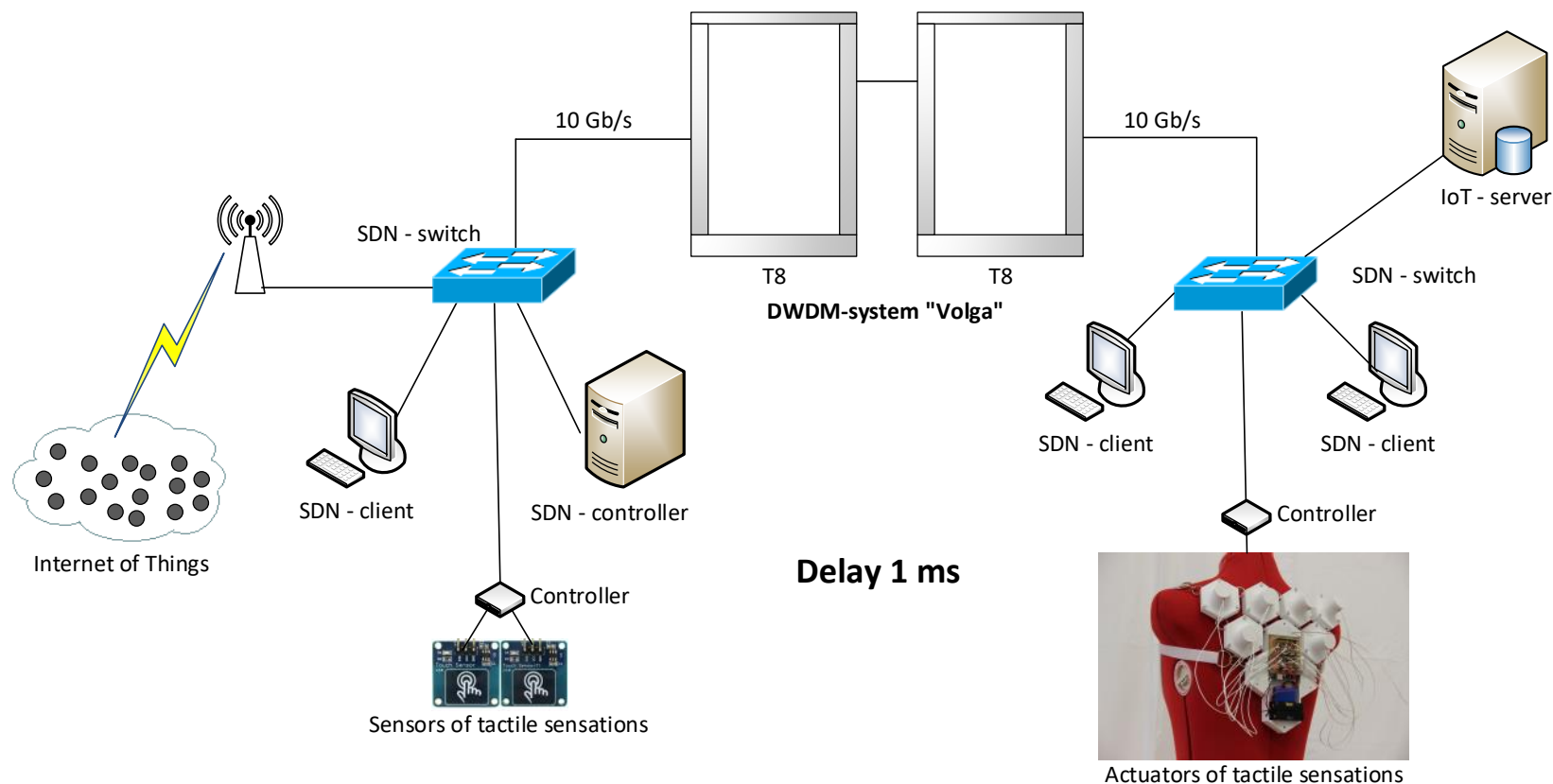


Традиционная
инвентаризация



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.

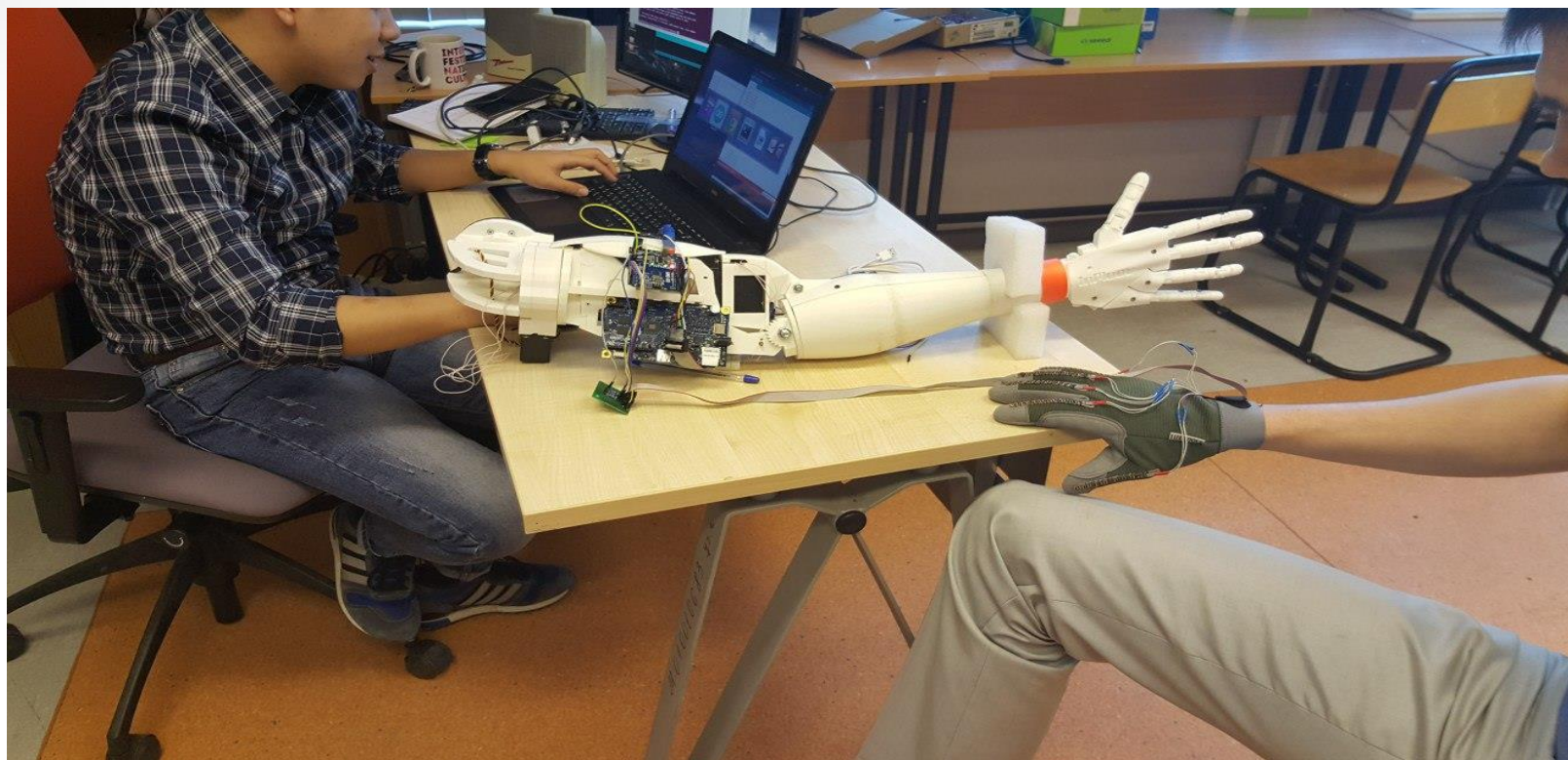
Исследования в лабораториях кафедры ССиПД в области Интернета Навыков

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»









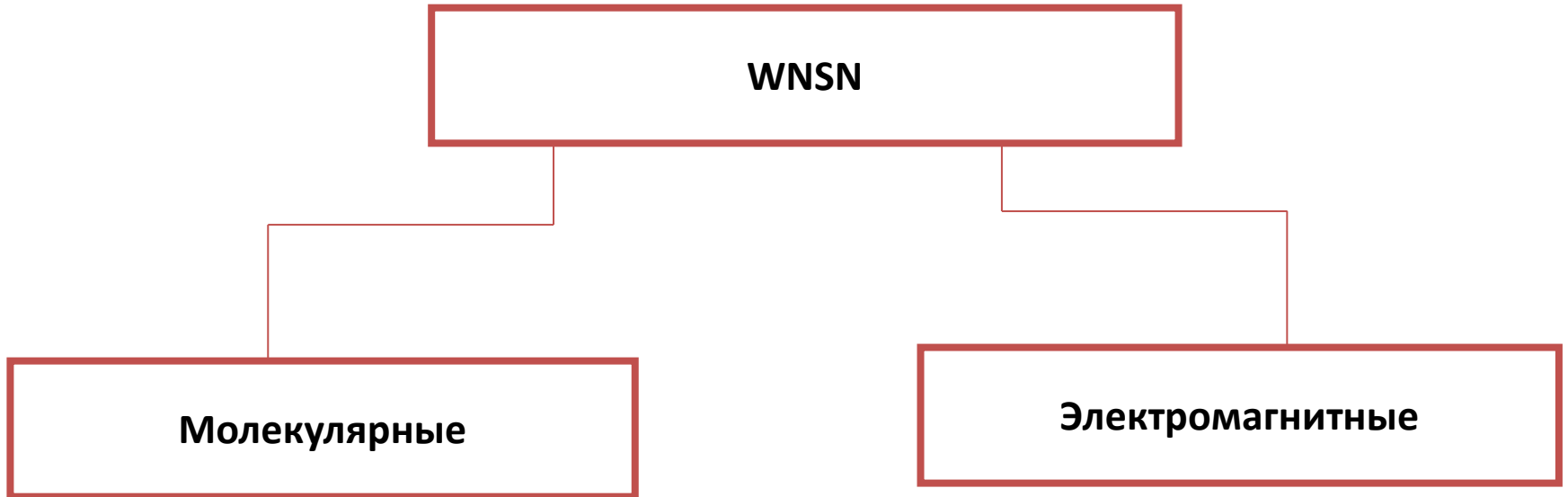
Результаты исследований

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



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

J.M.Jornet, I.F.Akyildiz. Graphene-based nanoantennas for electromagnetic nanocommunications in the terahertzband. EUCAP, Proceedings, April 2010.

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	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).

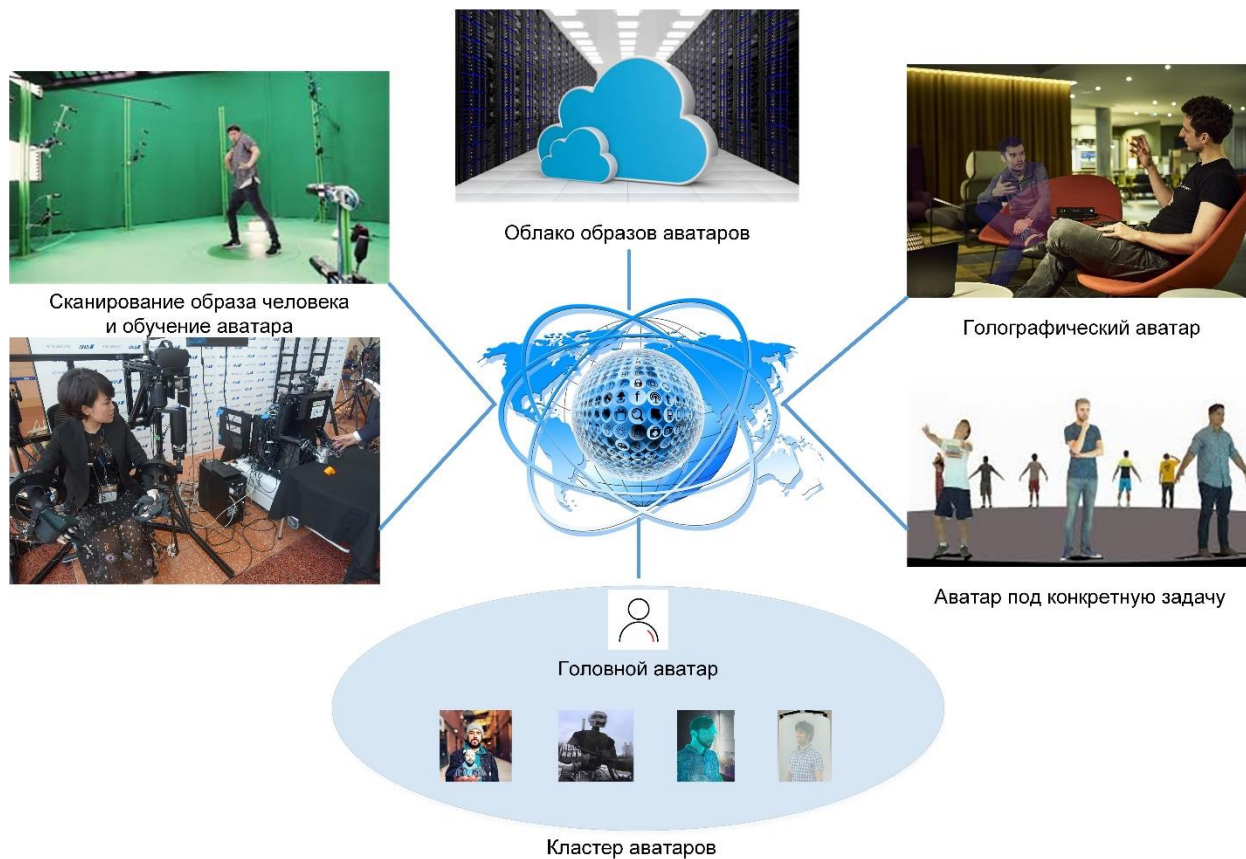
Бактериальные проводные и беспроводные наносети

- 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



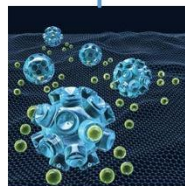
Сеть связи с ультра малыми задержками 2030



Летающие сети



Промышленные гуманоиды



Наносети



Индустрия 4.0

Направления научной деятельности (1)

- - Всепроникающие сенсорные сети,
- - Сети машина-машина M2M,
- - Целевые автомобильные сети,
- - Летящие сенсорные сети,
- - Медицинские сети, включая нательные сети,
- - Наносети,
- - Энергетическая эффективность современных сетей связи,
- - Самоорганизующиеся сети,

Направления научной деятельности

(2)

- - Самоподобный и антиперсистентный трафик в современных сетях связи,
- - Качество обслуживания и качество восприятия,
- - Программно-управляемые сети,
- - Биоподобные алгоритмы для самоорганизующихся сетей,
- - Сети с низким энергопотреблением и потерями,
- - Сети с малыми и сверхмалыми задержками,
- - Надежность и связность в современных сетях связи,
- - Современные многоканальные системы передачи,
- - Сетевая безопасность для сенсорных сетей.