

Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций

А.Е.Кучерявый, зав. кафедрой
сетей связи и передачи данных

akouch@mail.ru

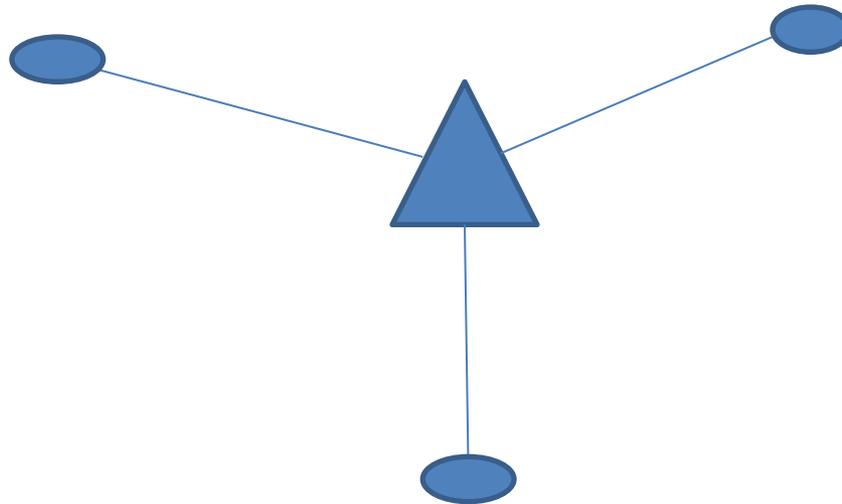
Сети связи и общество

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)

История развития сетей связи

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

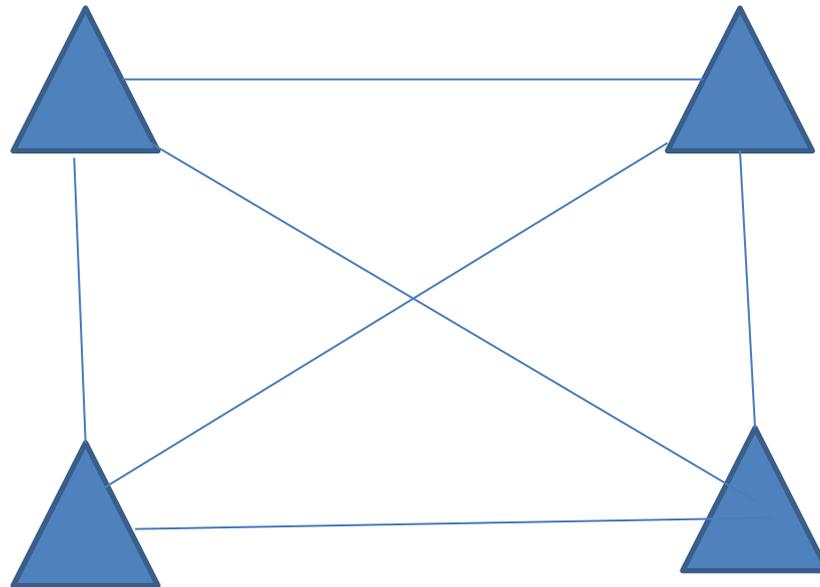
Нерайонированная сеть



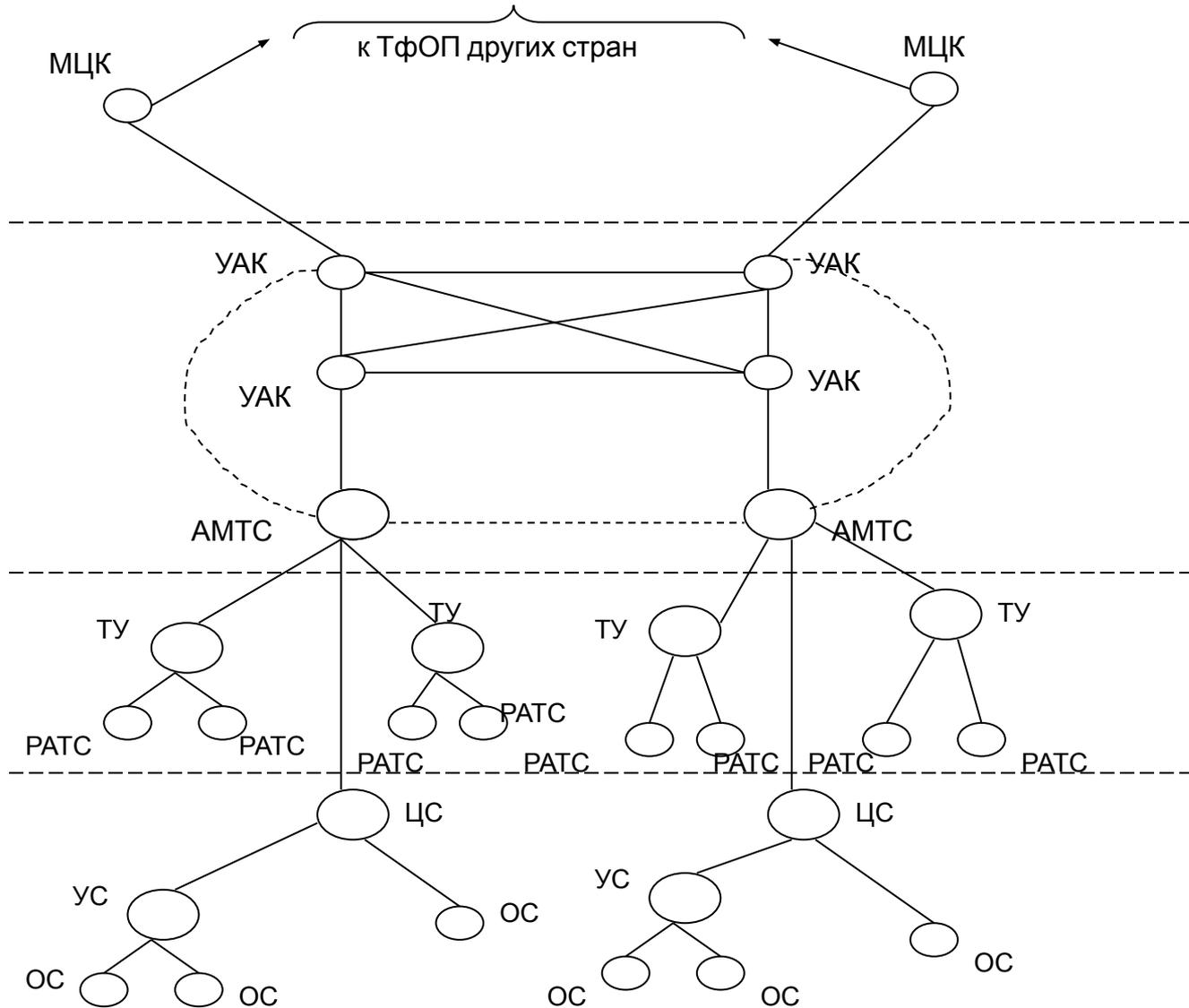
Районированные сети

1933 год – Ленинград, 4АТС

Районированная сеть



Архитектура сети. Иерархическая сеть ССОП.



Модели телефонных сетей

Сеть – гомогенная, один вид трафика – телефонный.

Модели сетей (телефонных):

- Потоки трафика,
- Длительность обслуживания (дисциплина обслуживания)
- Ресурсы (число линий, пропускная способность каналов и т.п.)

Формула Эрланга

А.К.Эрланг, 1909г.

Пуассоновский поток вызовов

Экспоненциально распределенная
длительность обслуживания

Дисциплина обслуживания с потерями

Число обслуживающих трафик приборов
телефонной станции

Формула Эрланга (2)

Пуассоновский поток (простейший):

- Одинарный поток (в каждый момент времени поступает только один вызов)
- Стационарный поток
- Поток без последствия

Экспоненциальный закон

распределения длительности времени
между поступлением вызовов

Формула Эрланга (3)

Классификация Кендалла-Башарина:

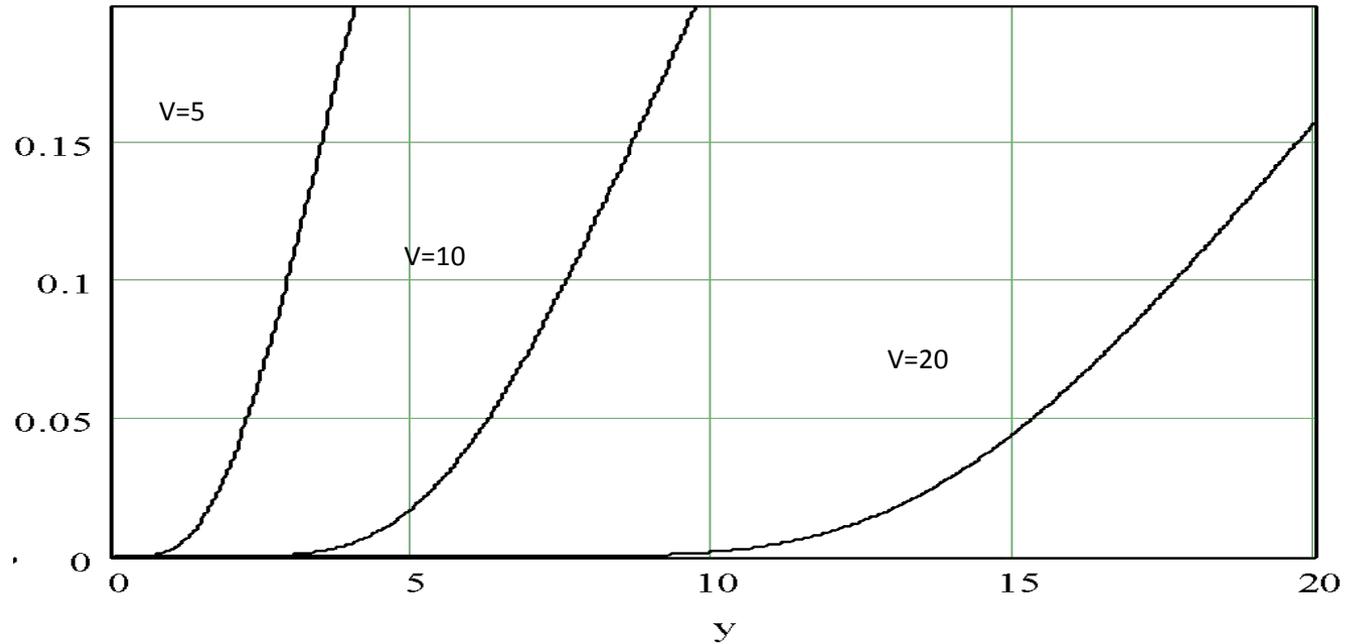
M/M/V

Пуассоновский поток:

Параметр Херста $H=0.5$

Потери по формуле Эрланга

$E_V(y)$



Конвергенция как концептуальное направление развития телекоммуникаций

1995 год – комбинированная система коммутации (для фиксированных и мобильных сетей).

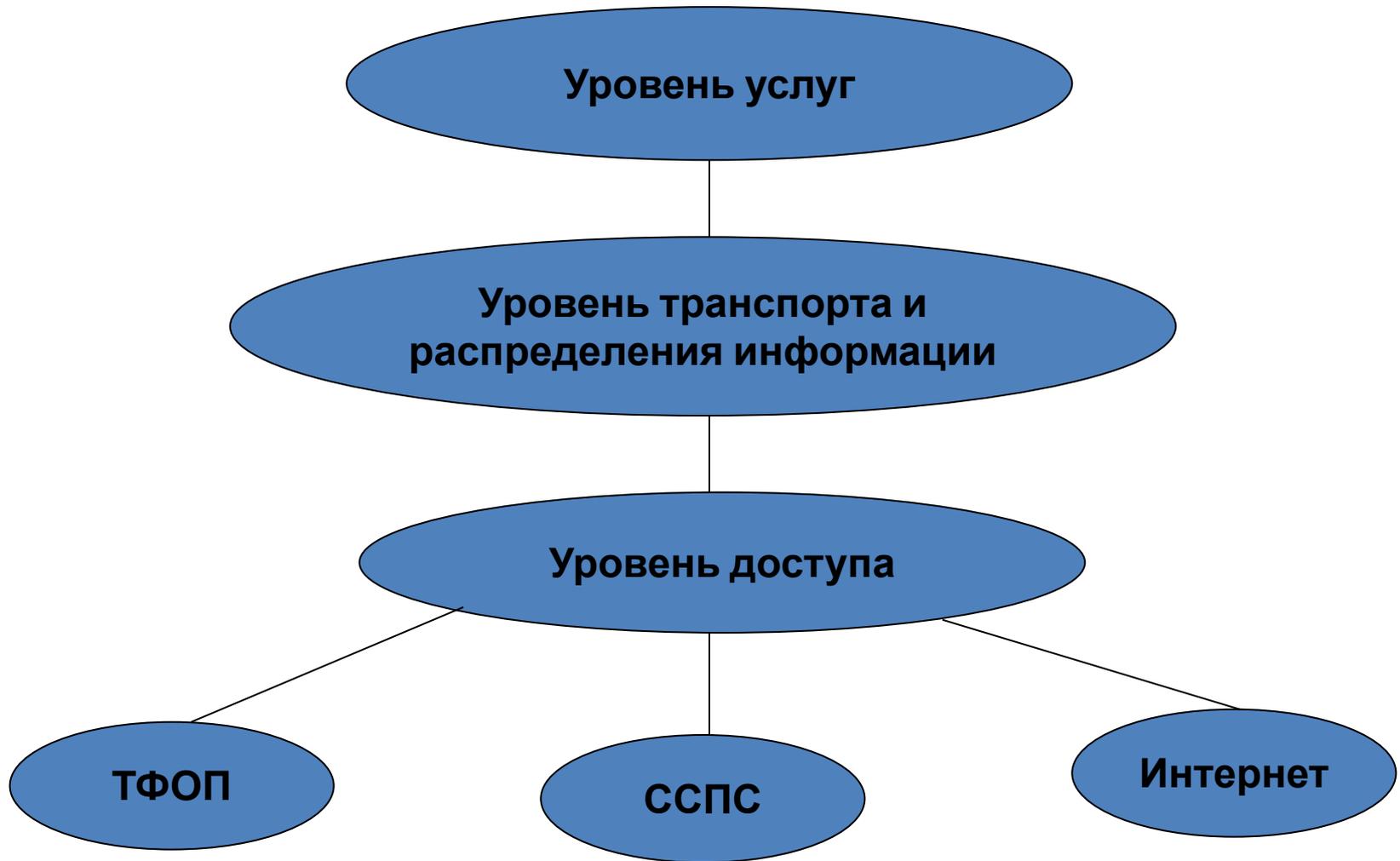
1997 год – ISS'97. Конвергенция как концепция. Конвергенция ТфОП и IP.

2000 год – NGN как перспектива развития сетей связи.

Конвергенция

- Латинское *convergo* – сближение, приближение
- Взаимопроникновение, совместное использование ресурсов

Архитектура NGN



Самоподобные процессы

Гетерогенные сети: речь+данные+видео

Параметр Херста:

$0.5 < H < 1$, 1 – детерминированный поток

Экспериментально в сетях связи
обнаружен I.Norros в 1995г.

Теория для сетей связи:

W.Willinger, M.Taqqu, R.Sherman – 1997.

Прогнозы развития сетей СВЯЗИ

7 триллионов Интернет вещей к
2017-2020 годам (WWRF, 2009)

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

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 людей

Интернет для повседневной жизни людей, организаций, обществ и т.д.

Интернет людей должен позволить снять барьеры между производителями и потребителями информации.

Интернет энергии

Интернет энергии предназначен для создания системы управления энергетическими ресурсами и обеспечения сохранности окружающей среды для последующих поколений (Sustainability)

Интернет Медиа

Интернет Медиа должен обеспечить человека видео в формате 3D, мобильными играми с возможностью множественного участия, цифровыми кинотеатрами, возможностями виртуальных миров

Интернет Услуг

Интернет Услуг – Web услуги уровня 3.0 и выше.

Интернет Вещей (МСЭ-Т, У.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

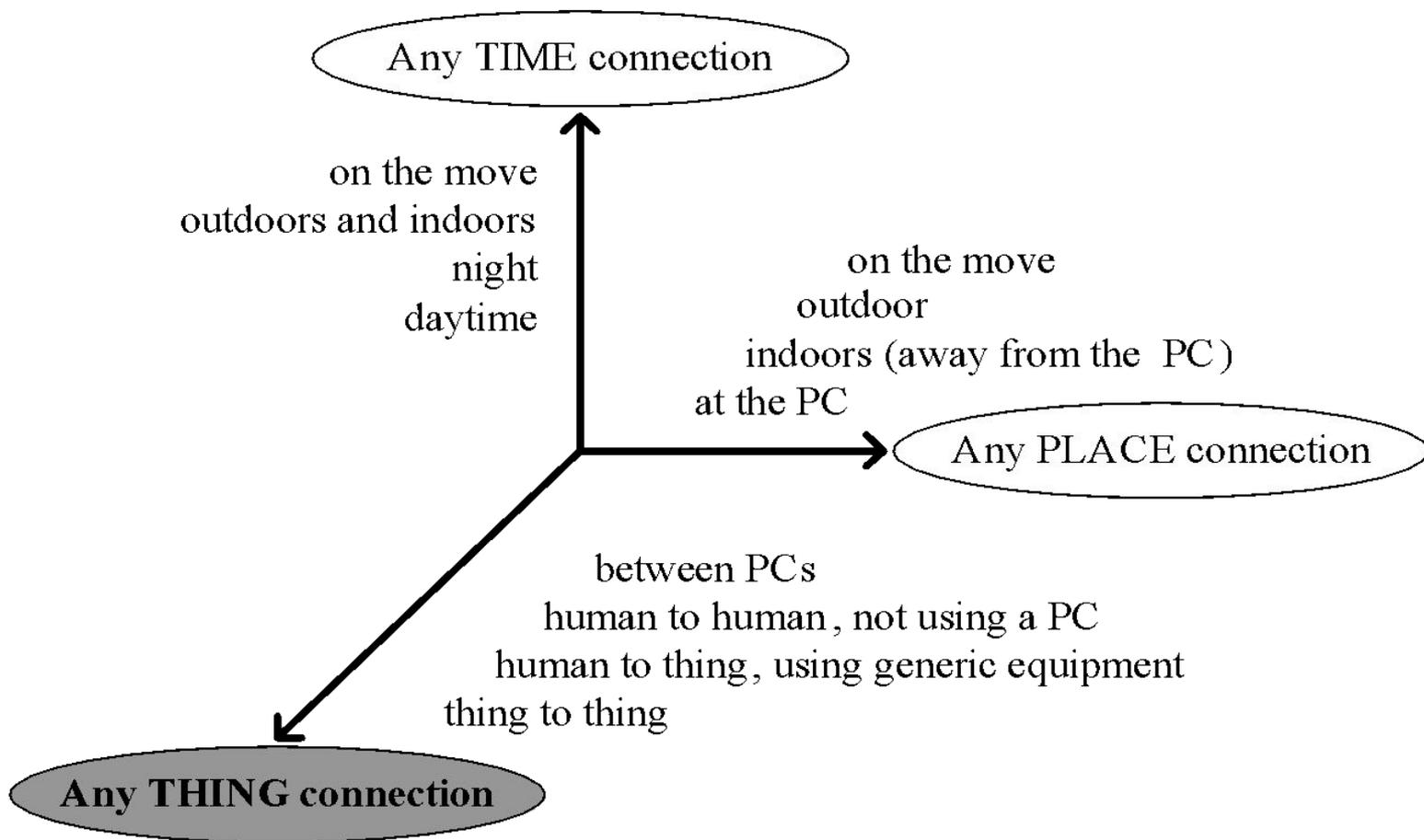
Определения (Y.2060)

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)

Идеология Интернета вещей (У.2060)



Изменение характера сети

Численное:

Миллиардная – Триллионная

Структурное:

Инфраструктурная -
Самоорганизующаяся

Число сообщений в Интернете Вещей

От 1000 до 10000 на жителя планеты в
день

(Internet 3.0. The Internet of Things. Analysis
Mason Limited, 2010).

Сравнение с другими технологиями

1. Современные мобильные сети – 3.3 вызова по мобильному телефону в день.
2. Facebook. Средний пользователь создает 70 сообщений каждый месяц и имеет 130 друзей
3. E-mail. 247 миллиардов сообщений в день, 176 сообщений на жителя планеты в день (81% - спам).
4. Твиттер. 60 миллионов сообщений в день. Средний пользователь имеет в сети 126 последователей. С учетом этого число сообщений, генерируемых в расчете на одного пользователя в день в Твиттере – 344.

(IoT Strategic Research Roadmap, EC, 2012)

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

Фундаментальные характеристики ИВ (1)

1. Связность.

Любая вещь должна иметь возможность быть связанной с глобальной инфокоммуникационной структурой.

2. Обеспечение вещей услугами.

ИВ должен быть способен обеспечить вещь относящимися к ней услугами без ограничений, таких как, например. конфиденциальность и семантика между физическими и виртуальными вещами. При этом. должны быть обеспечены все возможности ИВ как физического, так и инфокоммуникационного мира.

Фундаментальные характеристики ИВ (2)

3. Гетерогенность.

Устройства ИВ могут быть гетерогенными, построенными на различных аппаратных, программных платформах и сетях. Они должны иметь возможность взаимодействовать с другими устройствами или платформами услуг через различные сети.

Фундаментальные характеристики ИВ (3)

4. Динамические изменения .

Статус вещей может изменяться динамически, например, от спящих к активным, от связанных с сетью к несвязанным и наоборот, и т.д. Число вещей, местоположение, скорость и т.п. также могут изменяться динамически (самоорганизующиеся сети).

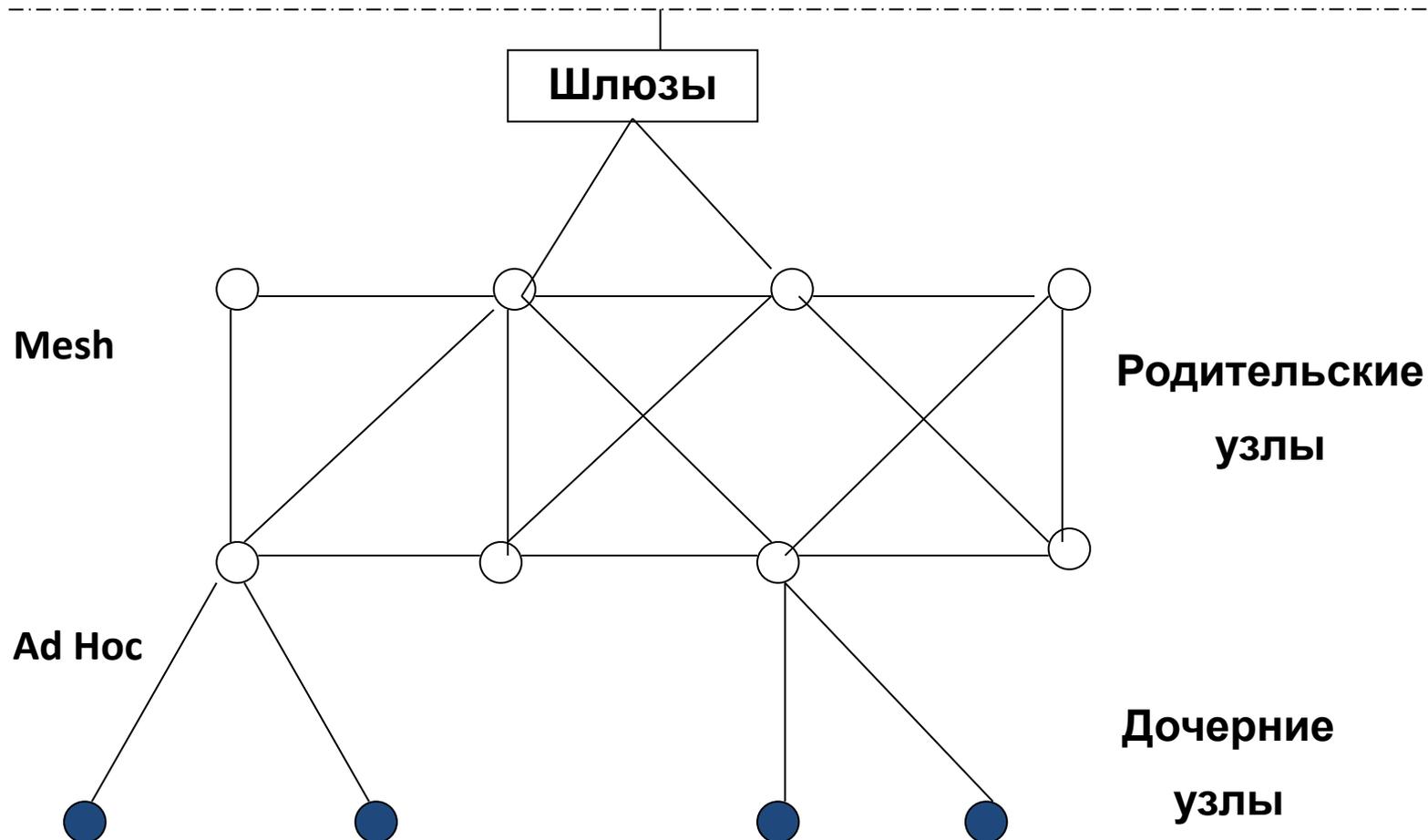
5. Огромная шкала вещей (enormous).

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

ССОП



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.

Сенсоры

21 ideas for the 21st century

(Business Week, August 30, 1999).

Беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Networks, WSN)

Два типа:

- для технических целей,
- для размещения на и в живых организмах.

История развития направления

u-Korea, февраль 2005 года ICACT'2005

u-Россия, 21 апреля 2005 года, НТС ЦНИИС

u-Japan, май 2005 года, подготовительная встреча к WSIS'05 в Токио

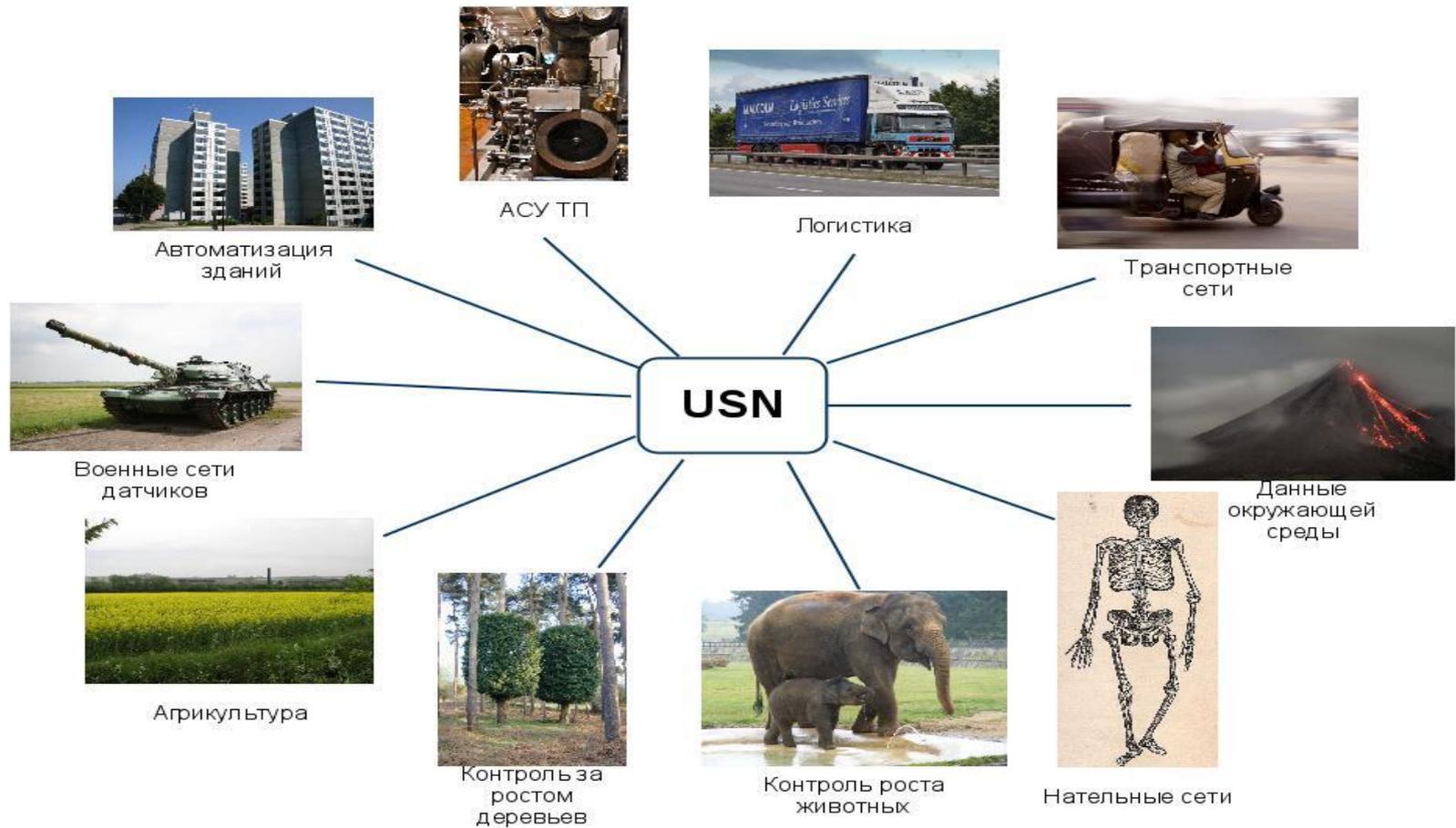
Семинар по u-Japan во время WSIS'05, Тунис, ноябрь 2005

ICACT'2006 – Toward Era of Ubiquitous networks and Ubiquitous Societies,

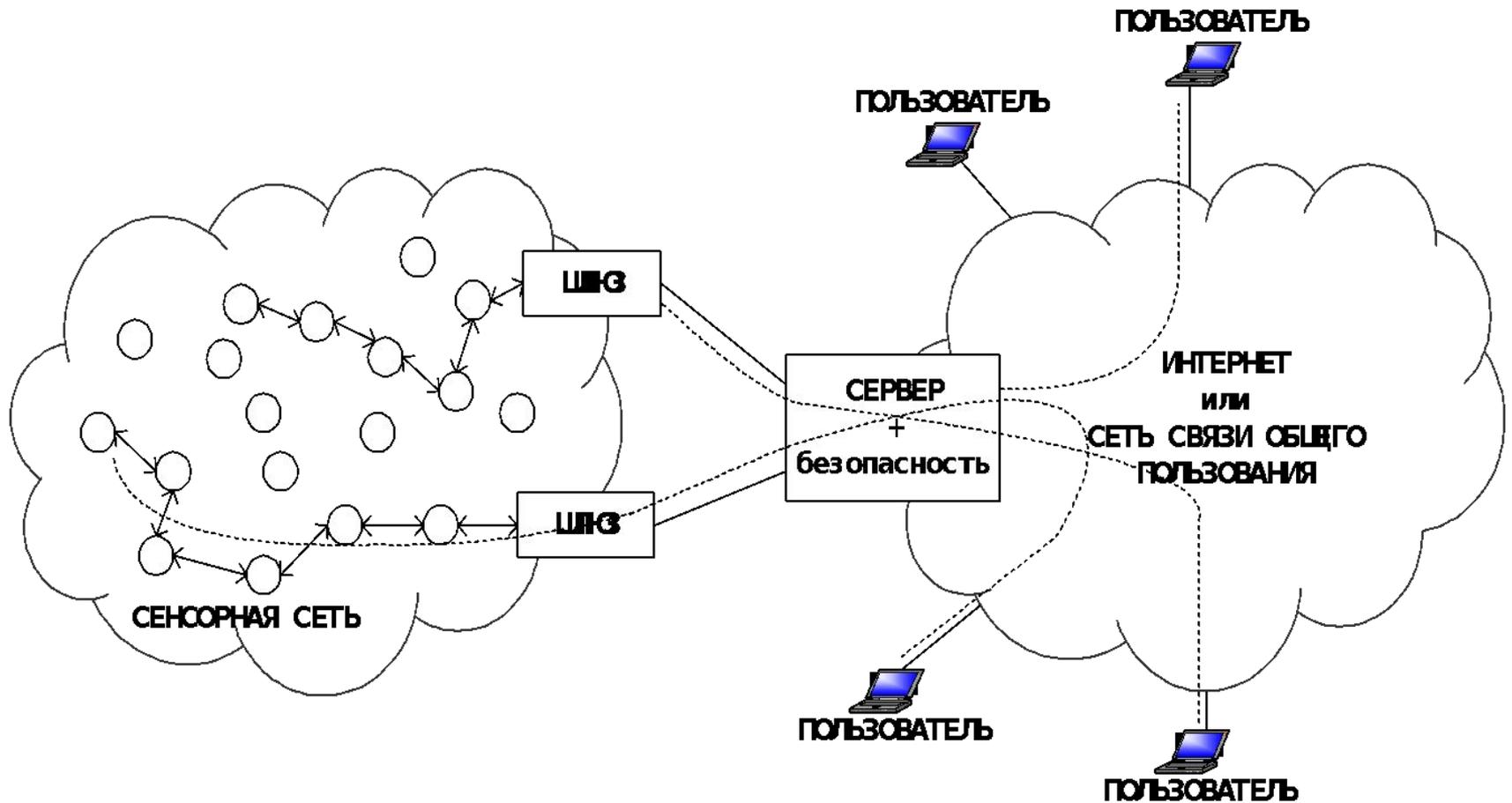
ICACT'2009 - Ubiquitous ICT convergence Makes Life Better

NEW2AN 2014 – Flying Ubiquitous Sensor Networks

Всепроникающие сенсорные сети



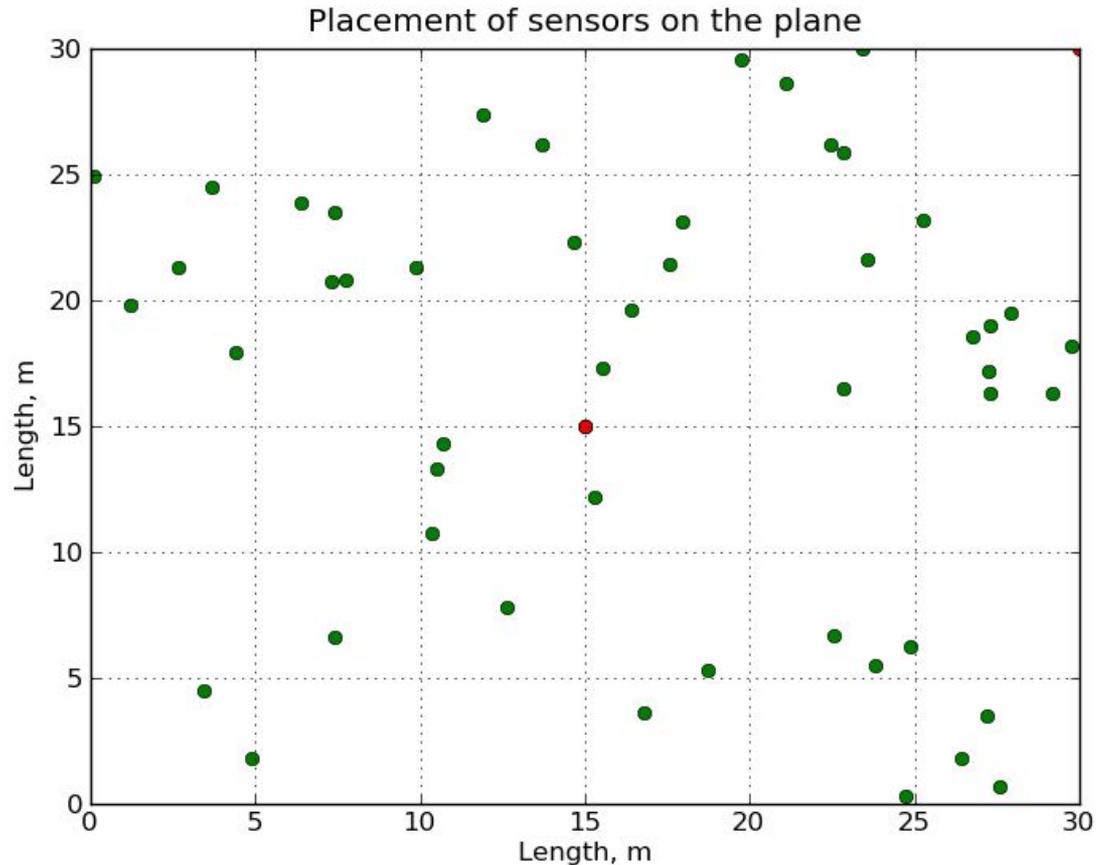
Архитектура сенсорной сети



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).

Модели для сенсорных сетей



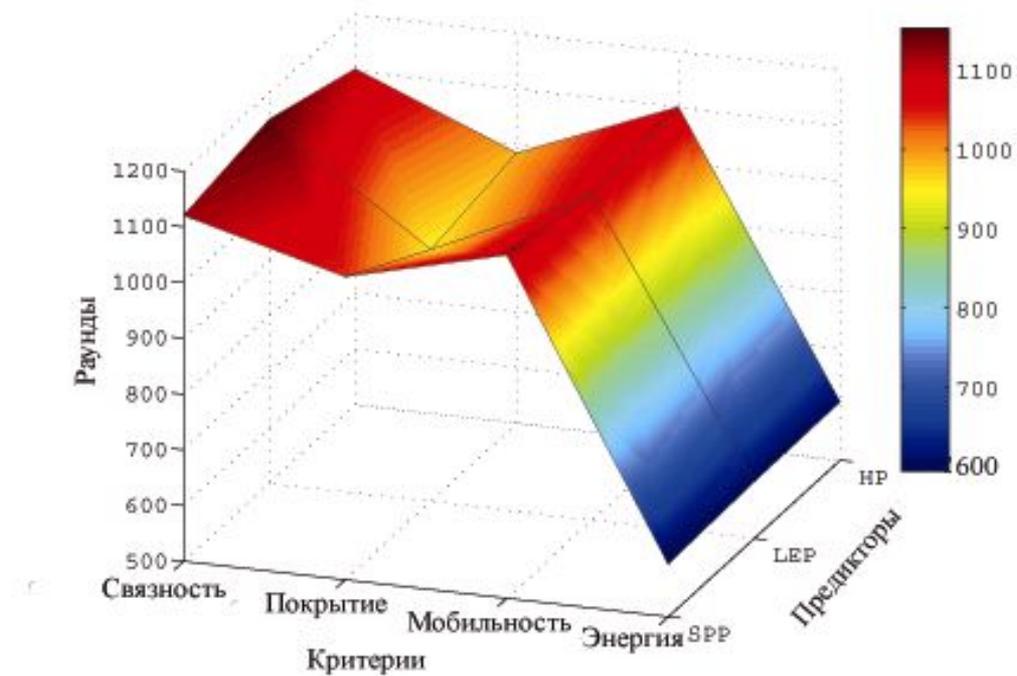
A.Koucheryavy, A.Prokopiev. USN Traffic Models for Telemetry Applications. LNCS 6869, 2011.

Алгоритмы выбора головного узла

Основные показатели:

- длительность жизненного цикла,
- k-покрытие

Изменение показателей качества



Кластеризация

Методы:

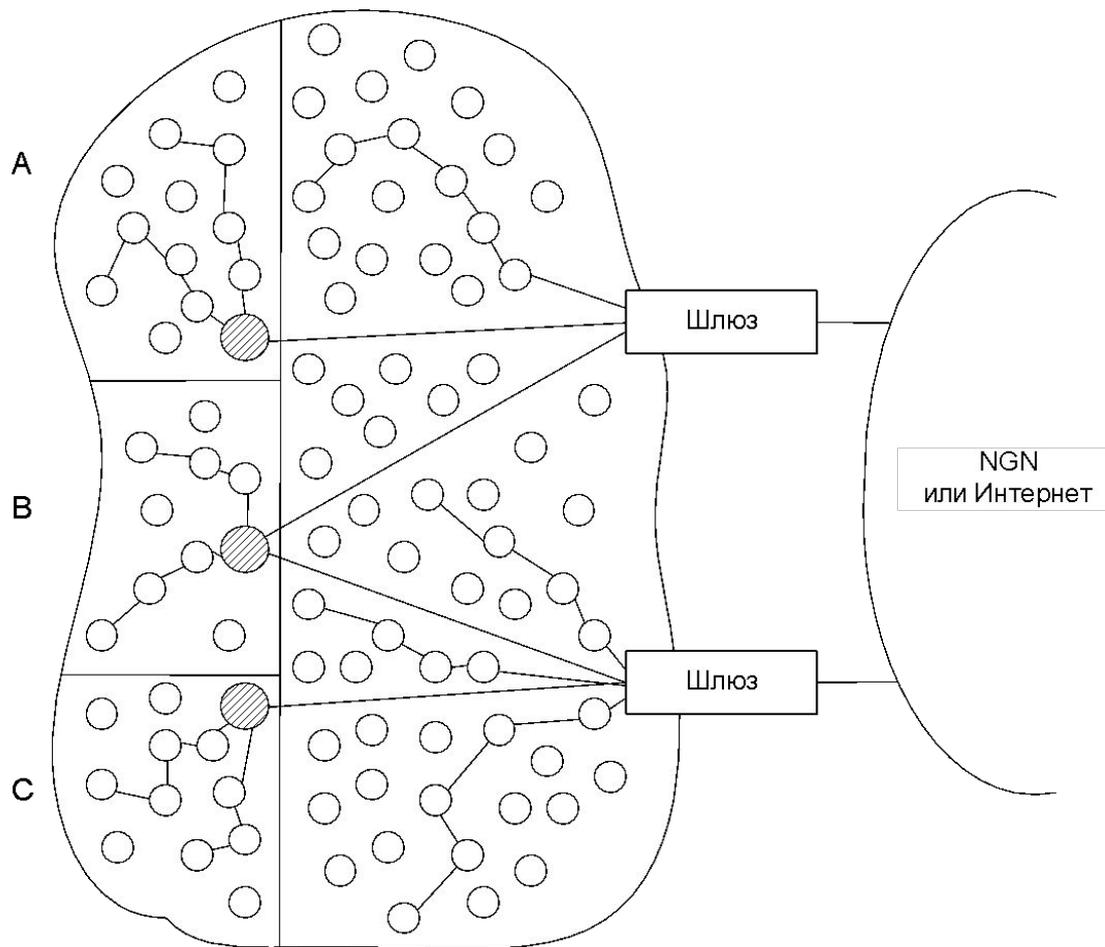
Формального элемента (FOREL)

K-средних

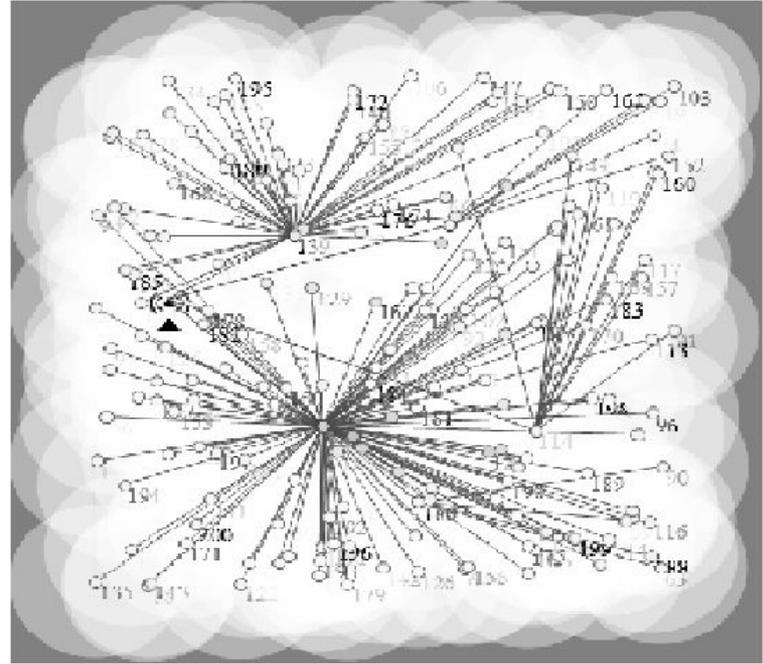
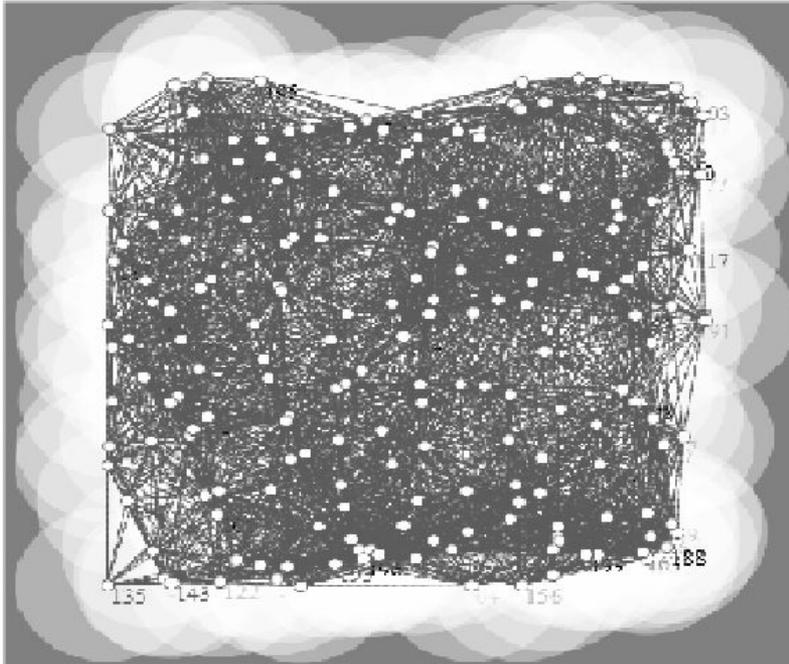
Используются в сотовых сетях подвижной
связи

Выбор головного узла – зависит от
приложений.

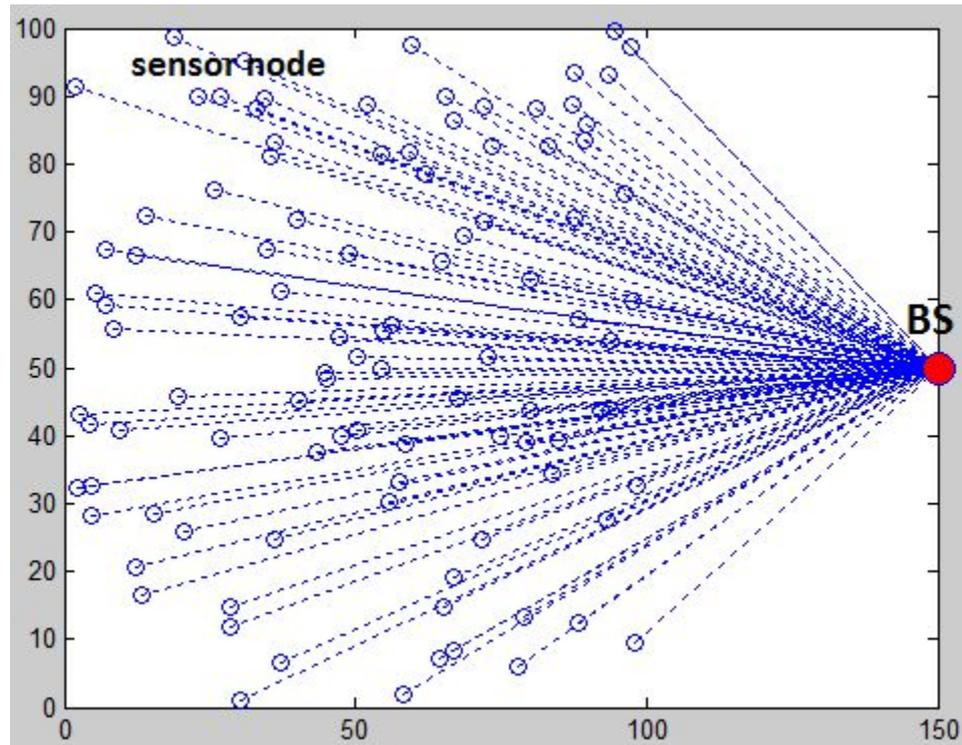
Кластерная организация сети



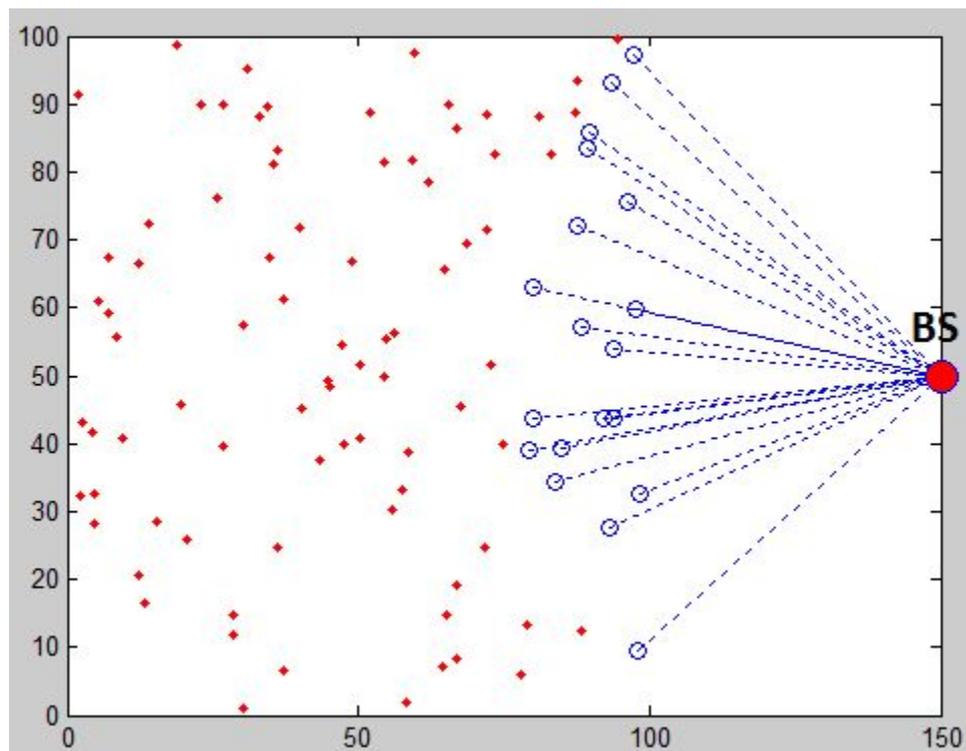
C#.NET



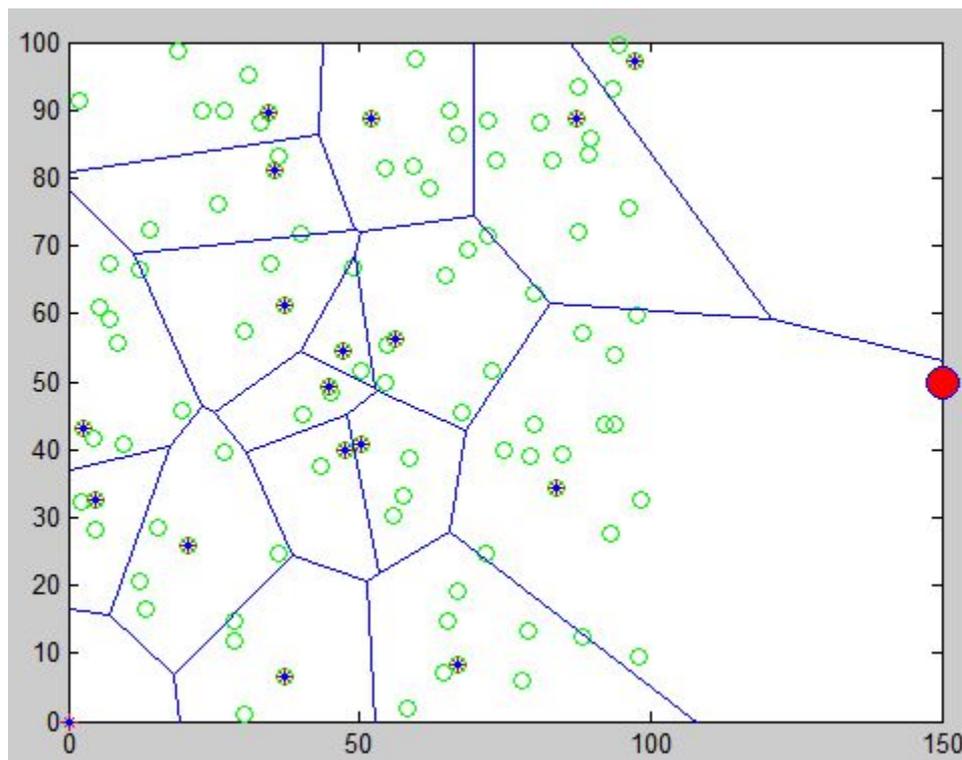
DT (Direct Transmission)



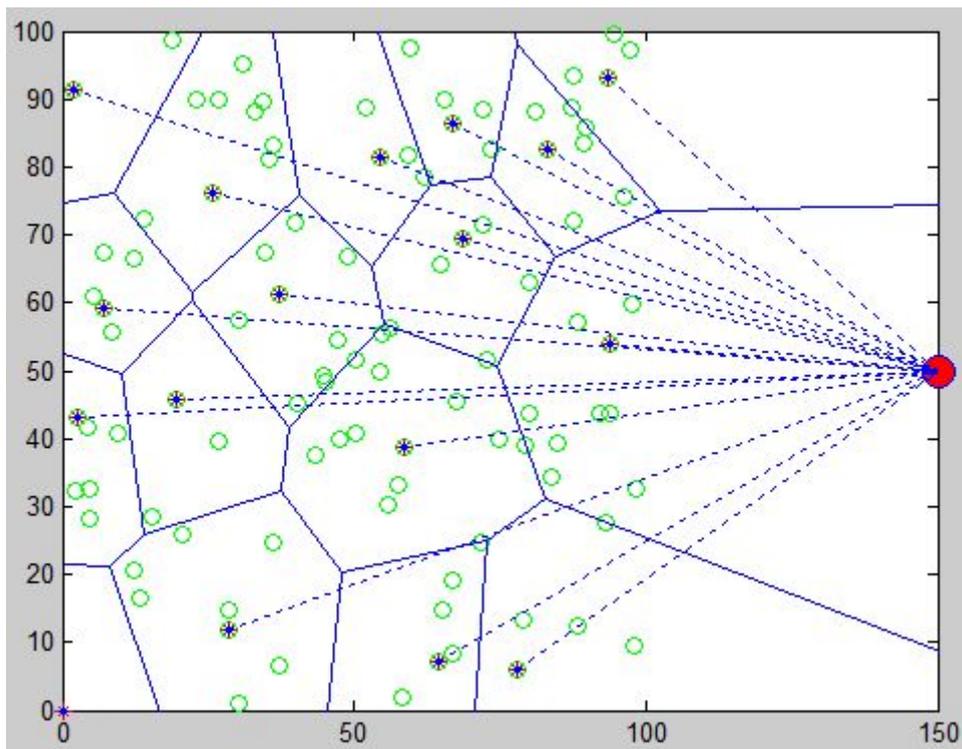
DT после 180 временных раундов



Кластеризация (LEACH)



Кластеризация (LEACH)

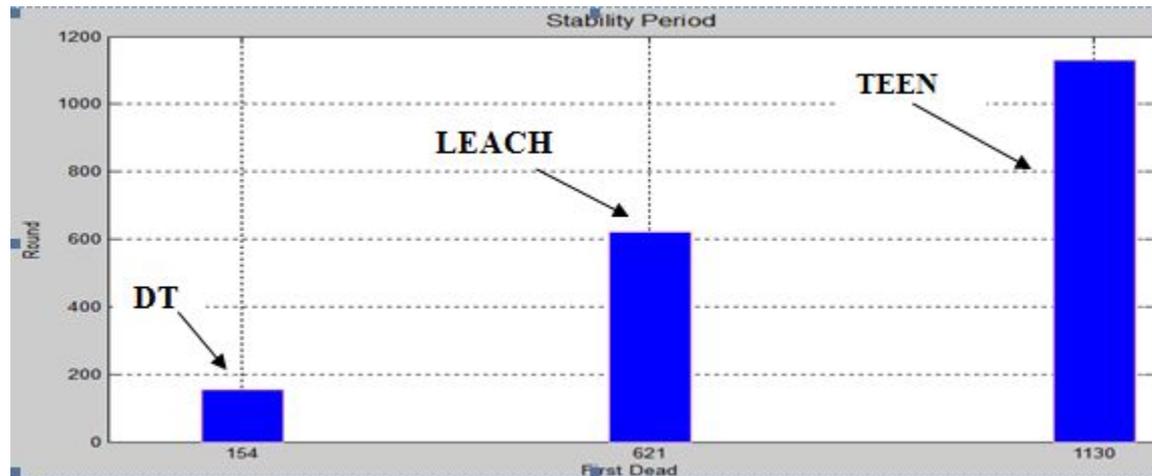


TEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols)

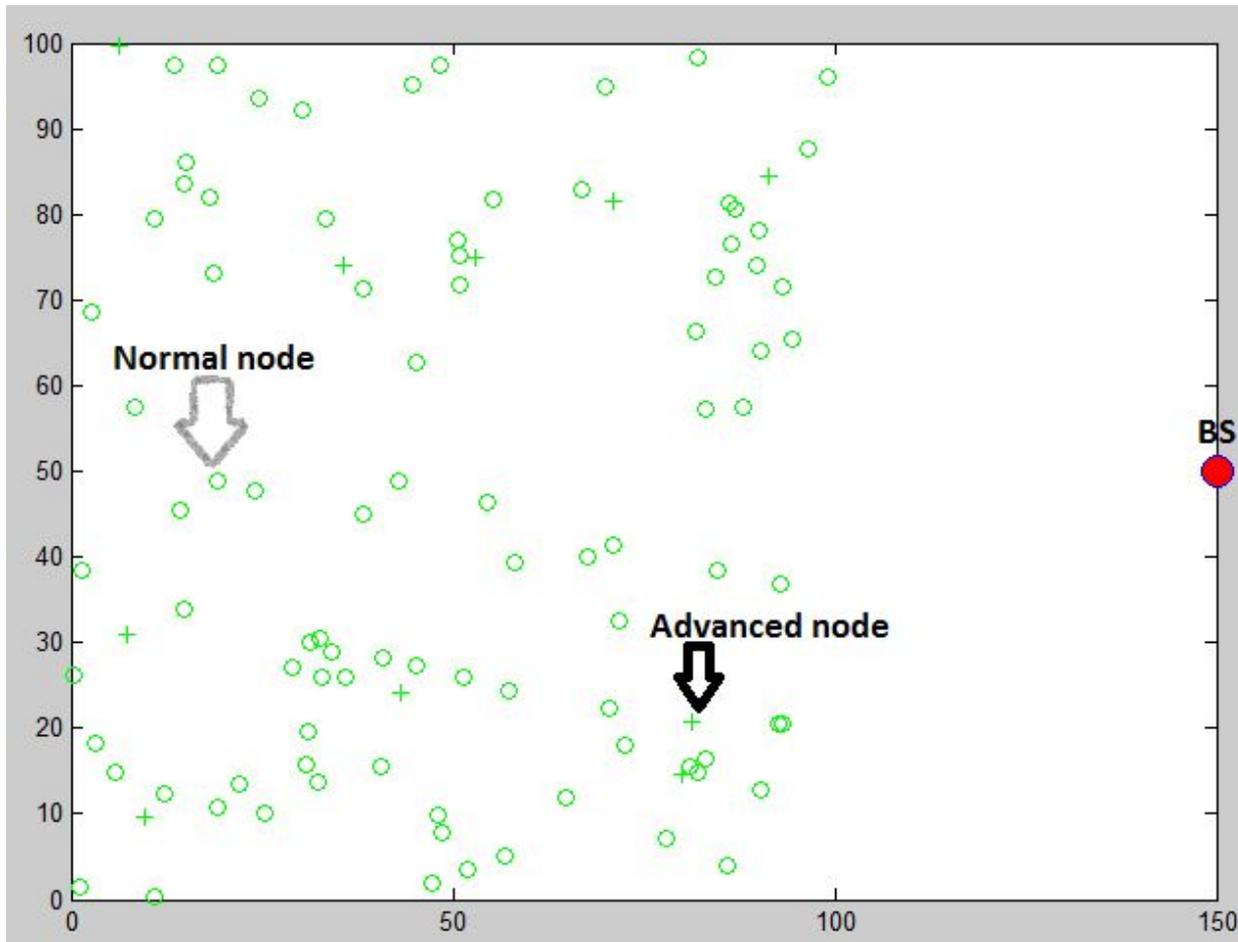
Жесткий порог (*Hard Threshold*): Узел передает информацию головному узлу, только если значение энергии находится в интересующих пределах

Мягкий порог (*Soft Threshold*): Узел передает информацию головному узлу только тогда, когда значение энергии изменилось как минимум на значение порога.

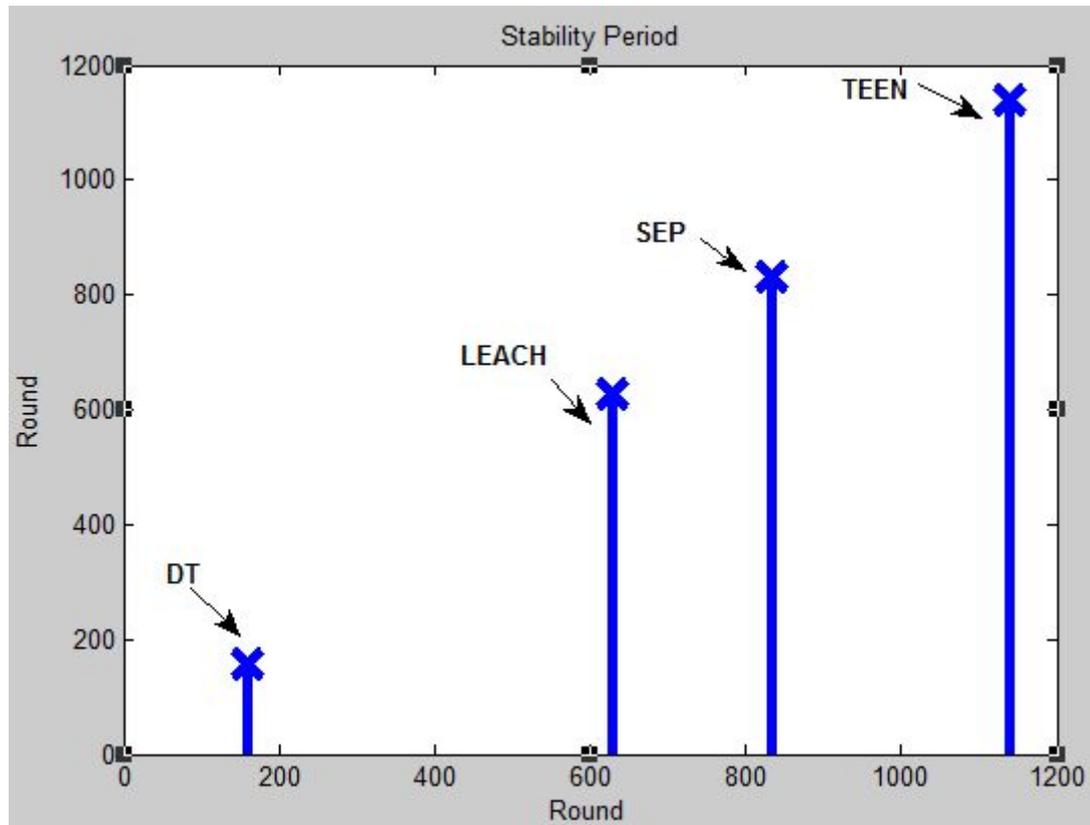
Сравнение алгоритмов



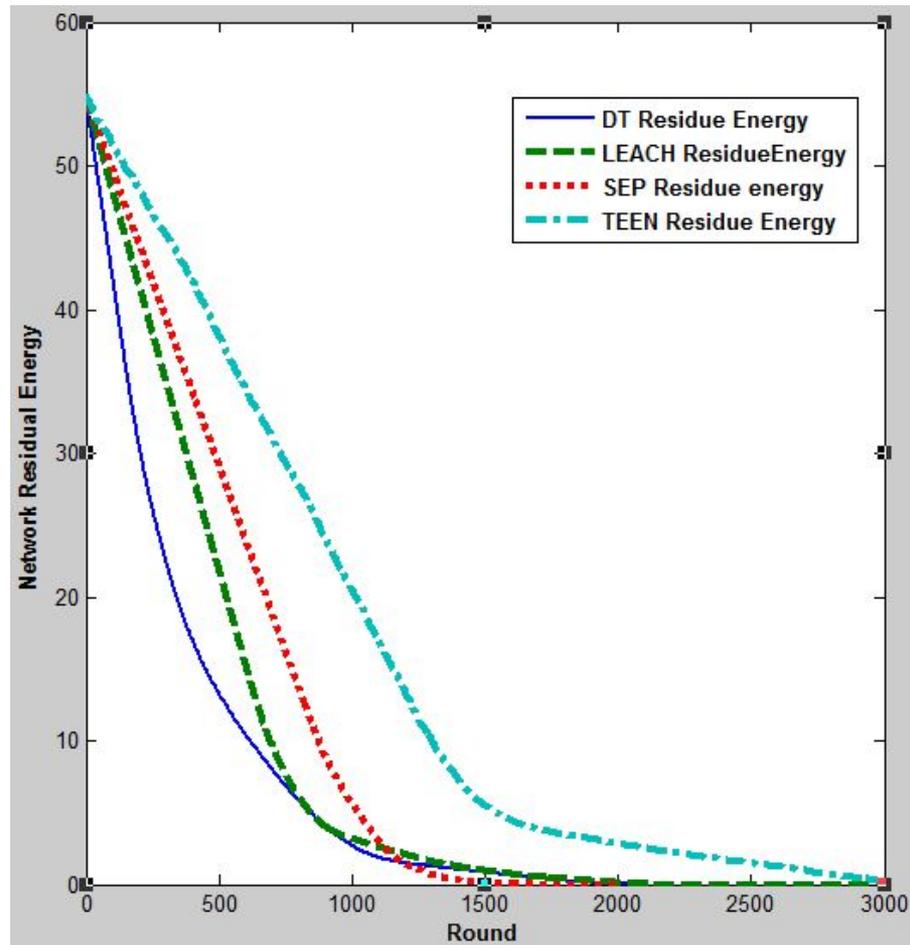
Гетерогенные сети



Сравнение жизненного цикла



Сравнение остаточной энергии



Алгоритмы выбора головного узла

1. Равновероятный.
2. LEACH (Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy), W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan.
Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proceedings 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Wailea Maui, Hawaii, USA, Jan. 2000.
3. DCA (Distributed Clustering Algorithm).

Биоподобные алгоритмы

Эффект роевого интеллекта:

- маршрутизация в мобильных сетях (G.D.Caro, F.Ducetelle, L.M.Gambardella. AntHocNet: an Adaptive Nature-Inspired Algorithm for Routing in Mobile Ad Hoc Networks. European Transaction on Telecommunications, v.16, n.5, 2005),
- передача пакетов без образования петель (X.Wang, Q.Li, N.Xiong, Y.Pan. Ant Colony Optimization-Based Location-Aware Routing for Wireless Sensor Networks. LNCS 5258, Springer, 2008),

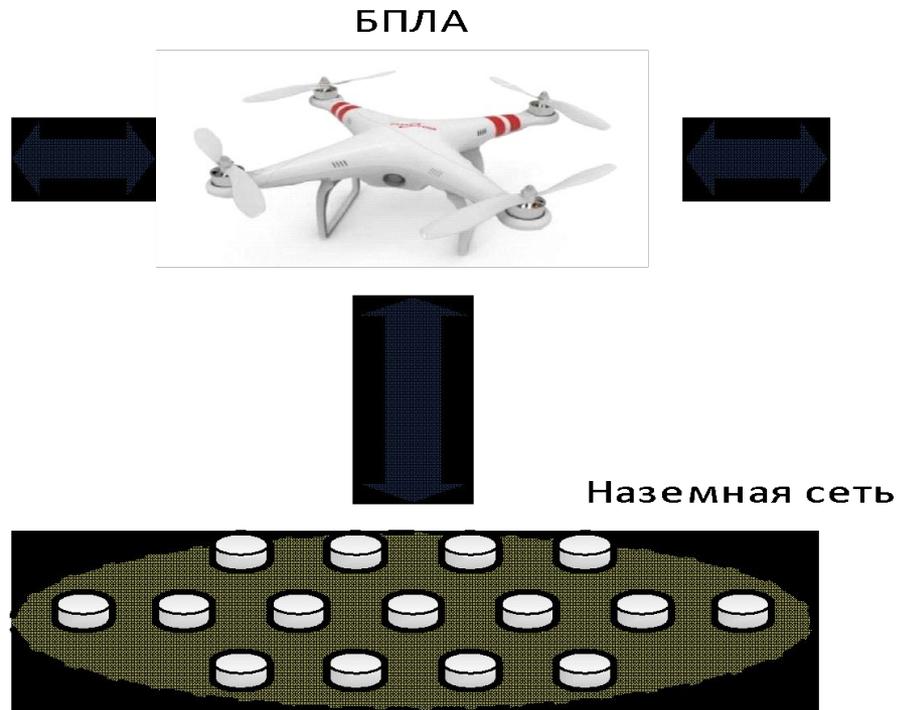
Алгоритмы с использованием нечеткой логики

1. I.Gupta, D.Riordan, S.Sampali. Cluster-head Election using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks. Communication Networks and Services Research Conference, May 2005.
2. K.Singh, S.Goutell, S.Verme, N.Pirohit. An Energy Efficient Approach for Clustering in WSN using Fuzzy Logic. International Journal of Computer Applications, v.48, n.18, April, 2012.

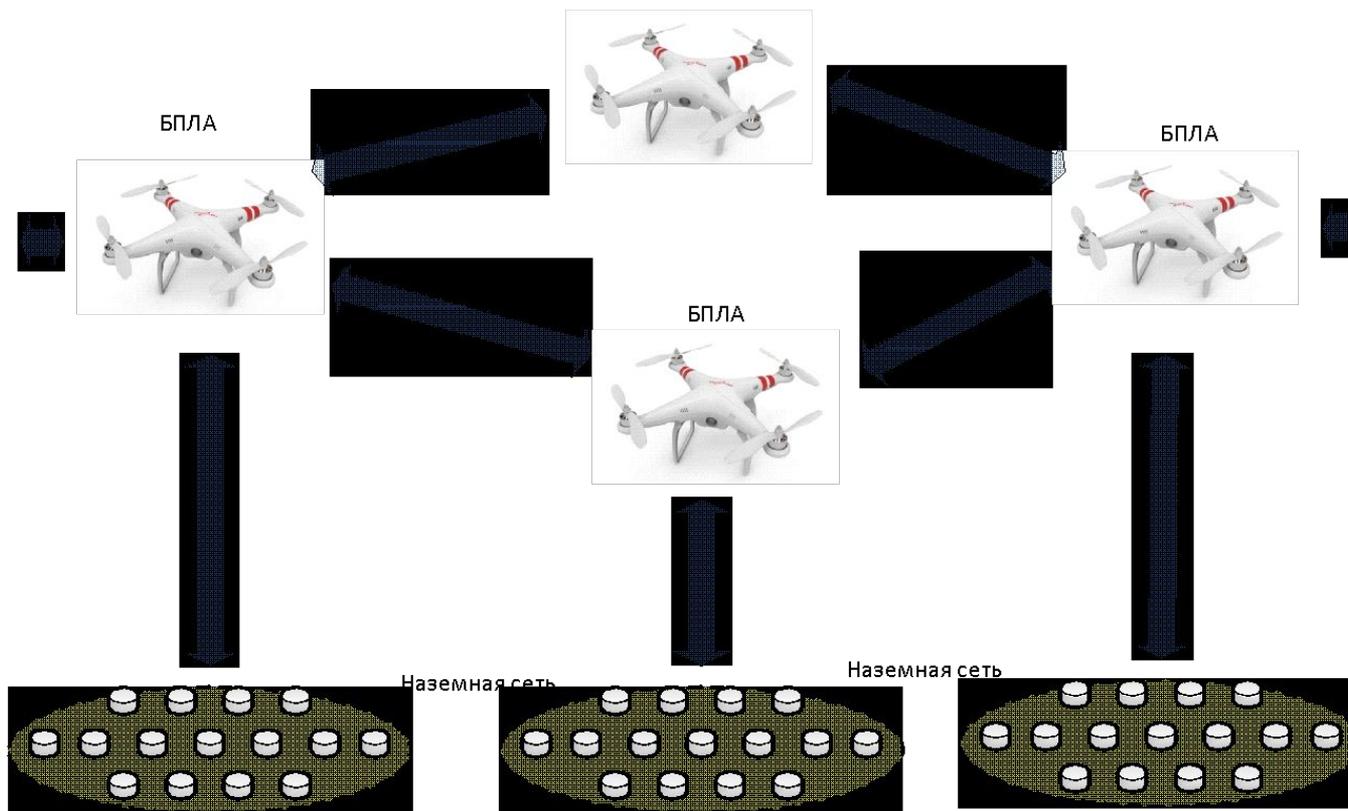
Социоподобные алгоритмы

S.M.Hosseini-rad, S.K.Basu. Imperialist Approach to Cluster Head Selection in WSN. Special Issue of International Journal of Computer Applications, n.1, January 2012.

Летающие сенсорные сети



Летающие сенсорные сети (2)



Временные головные узлы.

Модель сети (1).

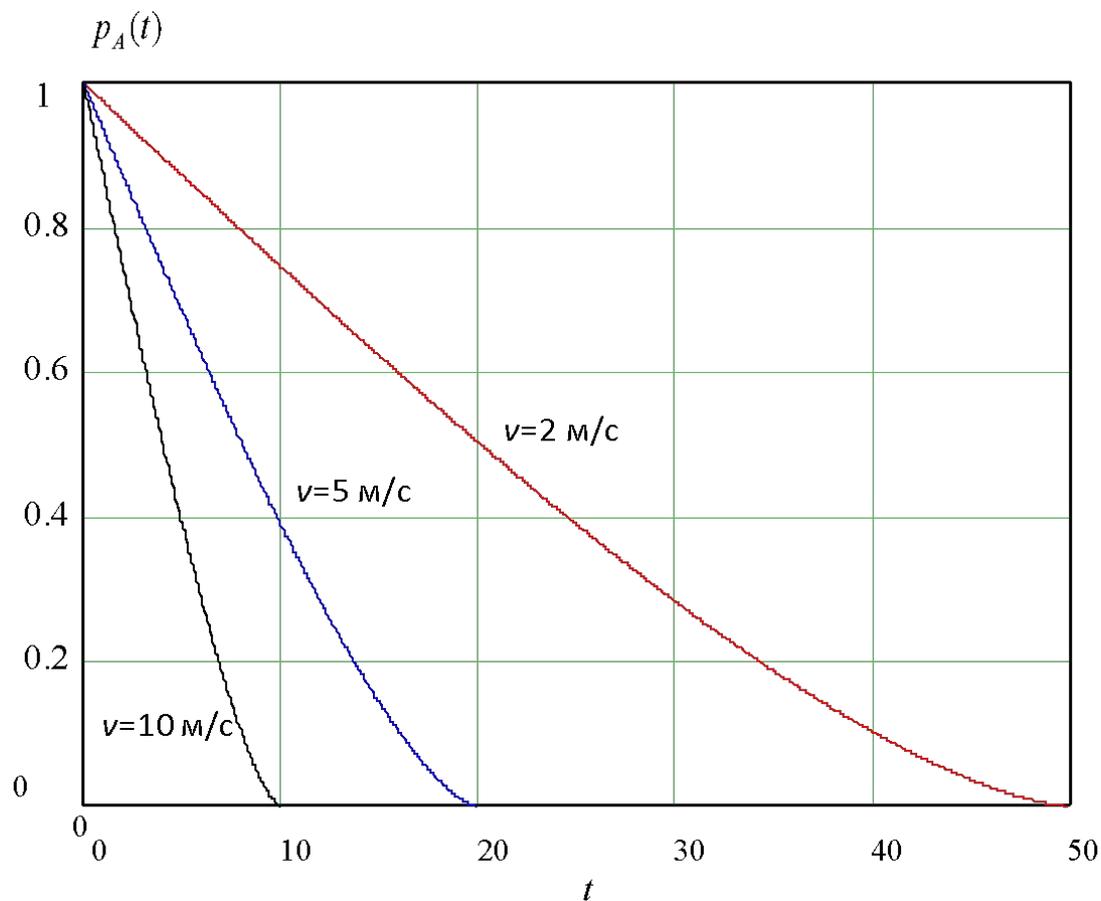
Пуассоновское сенсорное поле полностью расположено в гетерогенной зоне LTE. Шлюз расположен в центре сенсорного поля на расстоянии 500 м от базовой станции LTE. 100 сенсорных узлов распределены изначально случайным образом на плоскости размером 200 на 200 метров. Сенсорные узлы стационарны. Радиус действия 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 predetermined 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. Собранную 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

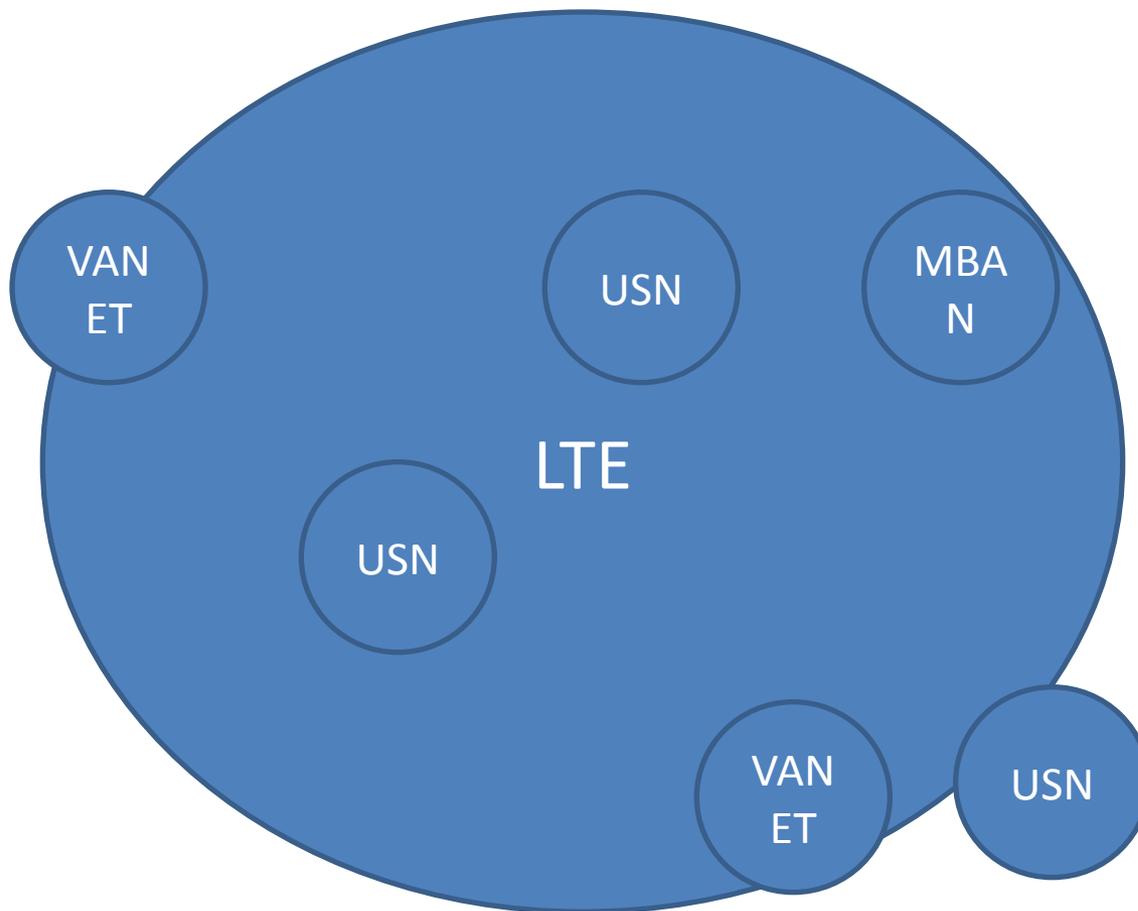


5G

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).

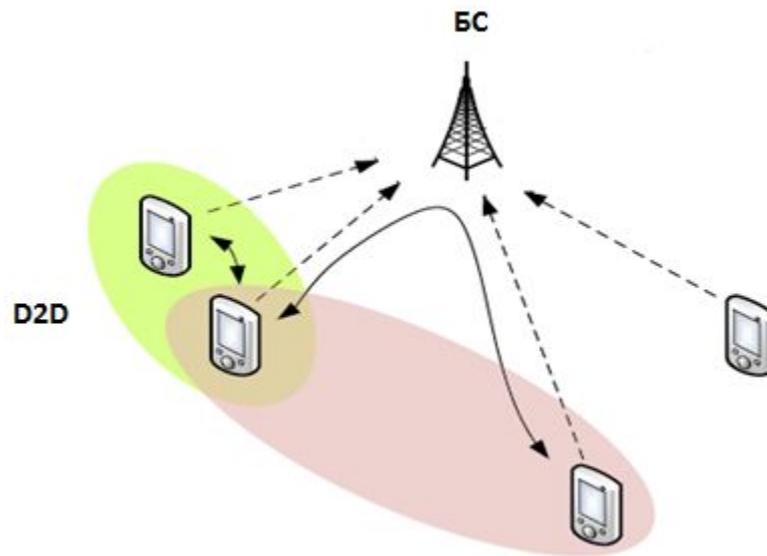
Кооперативные сети (2)

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).

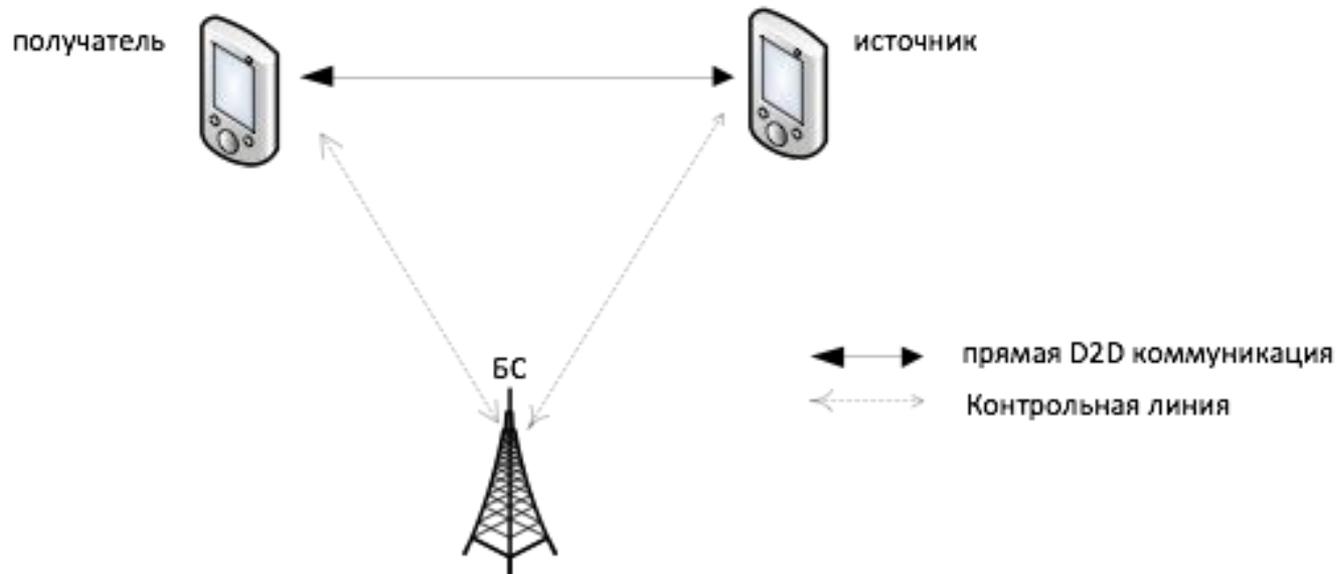
Кооперативные сети (3)

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

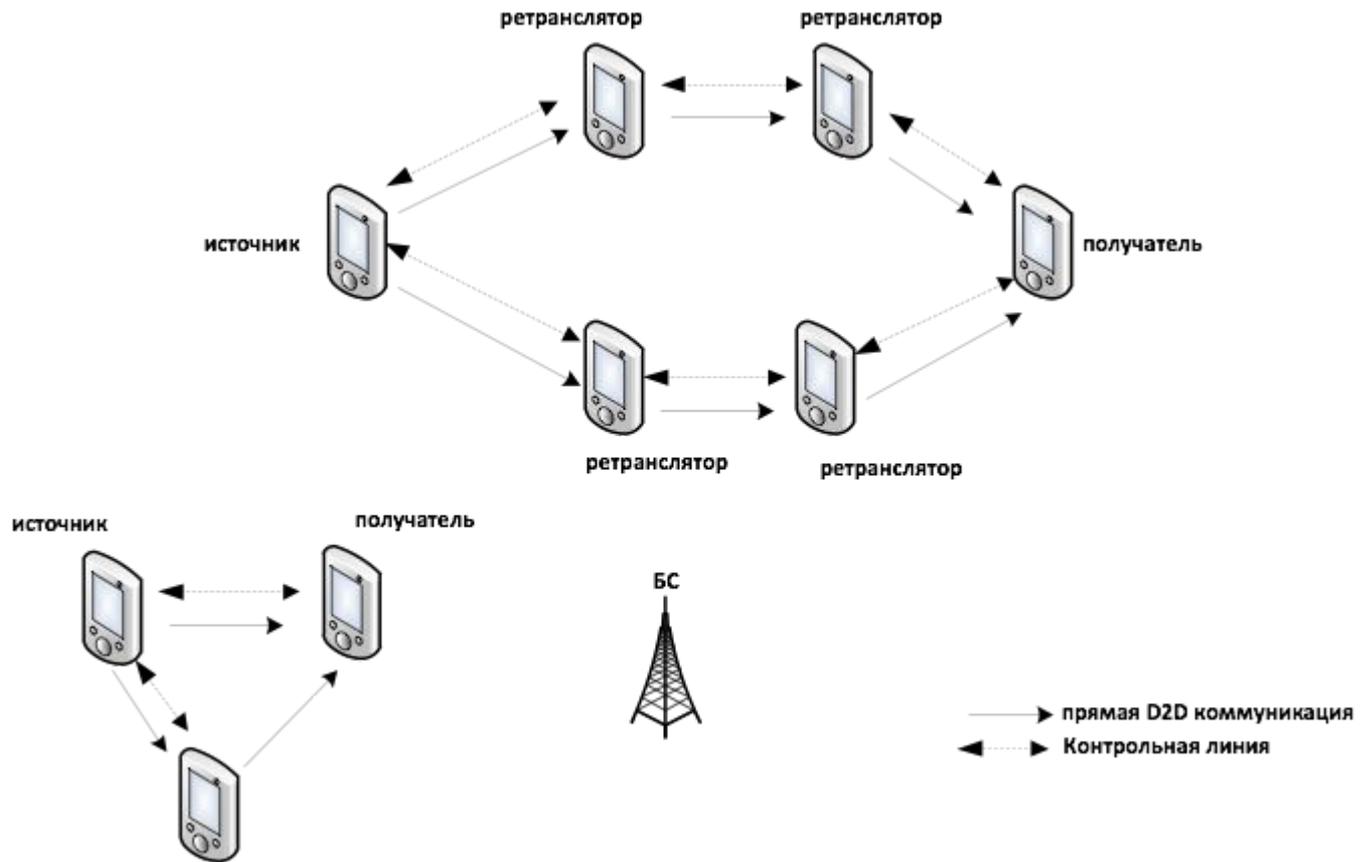
D2D- коммуникации



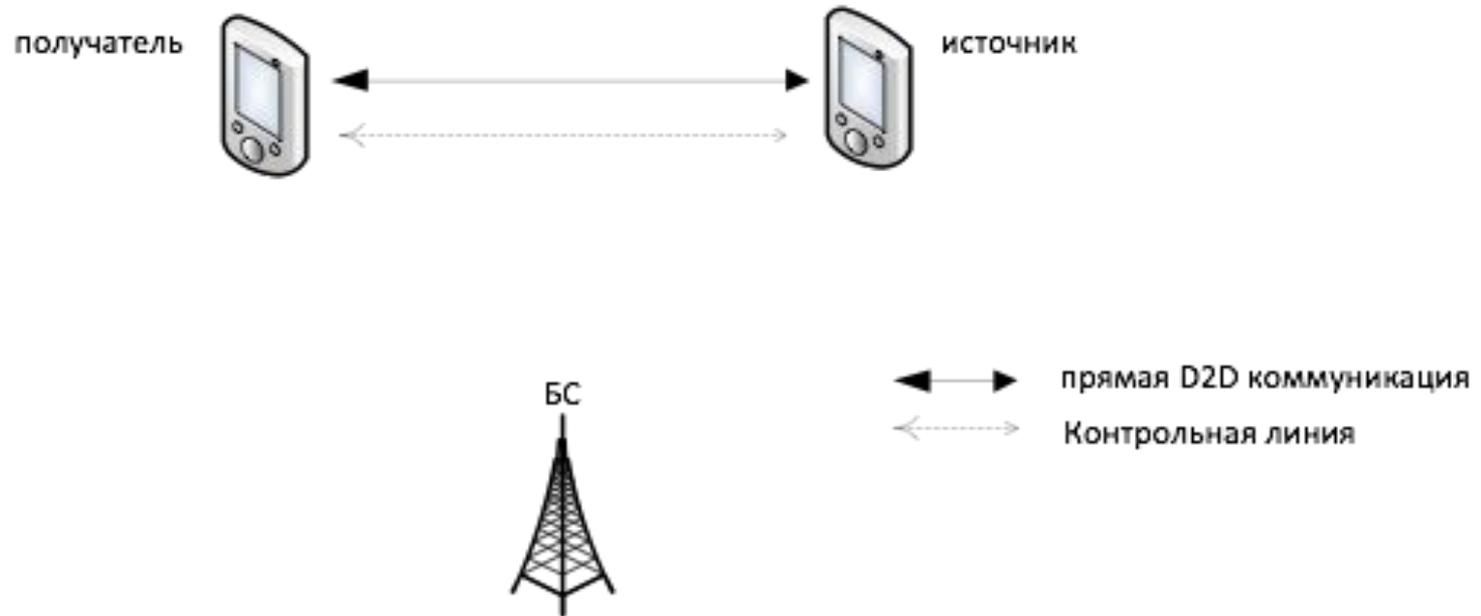
Прямая D2D-коммуникация



Взаимодействие источника и потребителя через устройства ретрансляции



Прямая D2D-коммуникация по типу DC-DC



Приложения Интернета Вещей

Интернет Вещей = физические вещи +
вещи информационного мира

Физические вещи: USN + VANET + e-health +
...=M2M

M2M СЕТИ

J.-B. Waldner “Nanocomputers and Swarm Intelligence”

K.-C. Chen, S.-Y. Lien. Machine-to-Machine communications: Technologies and Challenges. Ad Hoc Networks, Elsevier, v.18, July 2014.

Swarm or Ocean

Трафик в М2М

Взаимозависимая реакция на события.

Антиперсистентный трафик:

$$0 < \alpha < 0.5$$

Требуется трансформация трафика, например, путем введения расписания.

A.Paramonov, A.Koucheryavy. M2M Traffic Models and Flow Types in Case of Mass Event Detection. LNCS, Springer. 14 th NEW2AN, LNCS 8638, 27-29, August, 2014

M2M (оценки плотности)

Плотность жителей на 1 кв. км (можно найти предполагаемую плотность устройств M2M):

Центральный район СПб – 16.170

Василеостровский район СПб – 13.910

Выборгский район СПб – 4.240

Красносельский район СПб - 2770

LTE и M2M

- Моделирование:
30000 на базовую станцию (3GPP, WG2,
October 2010, Xian, China)

M2M СЕТИ

J.-B. Waldner “Nanocomputers and Swarm Intelligence”

K.-C. Chen, S.-Y. Lien. Machine-to-Machine communications: Technologies and Challenges. Ad Hoc Networks, Elsevier, v.18, July 2014.

Swarm or Ocean

M2M системы для пользователей

Deutsche Telecom

- QIVICON

Основные проблемы:

- комплексное предоставление услуг мультимедиа и M2M
- комплексное предоставление услуг M2M и e-health

Экономичная LTE

WiFi, ZigBee

- WiFi: Гб/с, ZigBee: 250 кб/с
- < 5 \$
- Нелицензируемый спектр
- Топология: звезда и mesh

LTE

- Гб/с
- ~ 10 \$
- Лицензируемый спектр
- Топология: звезда

Y. Morioka. Low cost LTE for M2M Consumer Electronics, ETSI M2M Workshop, 2012.

Сети LLN

Low-Power and Lossy Networks (LLN)

Стандарт IEEE 802.11 ah:

- радиус 1км,
- скорость передачи 100 кб/с.

Разделение сетей на Гигабитные и низкоскоростные.

Стандартизация E-Health (1)

1. CEN/TC 251 – European Committee for Standardization (CEN), Technical Committee 251.
2. Continue Health Alliance.
3. epSOS (european patients Smart Open Services)
4. GS1 Healthcare.
5. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).

Стандартизация E-Health (2)

6. HL7 - Health Level 7.
7. ISO/TC215 – International standardization organization/Technical Committee 215.
8. ISO/IEEE 11073.
9. ITU-T – Focus Group M2M.

CEN/TC251

Информатика здоровья.

Примеры стандартов:

1. Ресурсы клинических знаний – метаданные.
2. Процедуры управления для WEB баз данных терминов и концептуальных положений – словарь.

Continue Health Alliance

Cisco, IBM, GE Healthcare, Intel и т.д.

Разработка руководств для производителей по построению совместимых сенсорных узлов, домашних сетей, платформ телемедицины, услуг здоровья и фитнеса.

В центре внимания 3 составляющих e-здоровья:

- управление весом и предупреждение болезней,
- управление хроническими заболеваниями, система мониторинга и диагностики,
- увеличение активного возраста популяции и поддержка пожилых людей

eSOS

23 Европейских страны, IBM, Oracle, Microsoft и т.д.

е-здоровье без границ,
совместимые электронные записи о
здоровье, рецепты и страховки.

GS1 Healthcare

Глобальные стандарты для поддержки компаний, занимающихся e-здоровьем, с целью продвижения точности, скорости и эффективности оказания медицинских услуг и ухода за больными.

DICOM

Разработка стандартов файлов для медицинских изображений, протоколов записи медицинской информации, обработки и передачи медицинских изображений.

HL7

Технологические компании, провайдеры e-здоровья, фармацевтические фирмы. Очень крупная и эффективная организация. Множество рабочих групп.

Стандарты уровня приложений.

Стандарты передачи, записи и использования электронной информации о здоровье, такой как клинические данные и административная информация.

ISO/TC215

TC215 – Информатика здоровья.

Основная задача – обеспечение совместимости между различными системами e-здоровья.

ISO/IEEE 11073

Стандарты связи для медицинских устройств.

Совместимость медицинских устройств.

ITU-T

Фокус группа по M2M, основная задача в настоящее время – подготовка рекомендаций МСЭ по e-здоровью.

Текущие задачи фокус группы M2M.

Разработка проекта рекомендации
“Экосистемы, поддерживаемые M2M:
е-здоровье”.

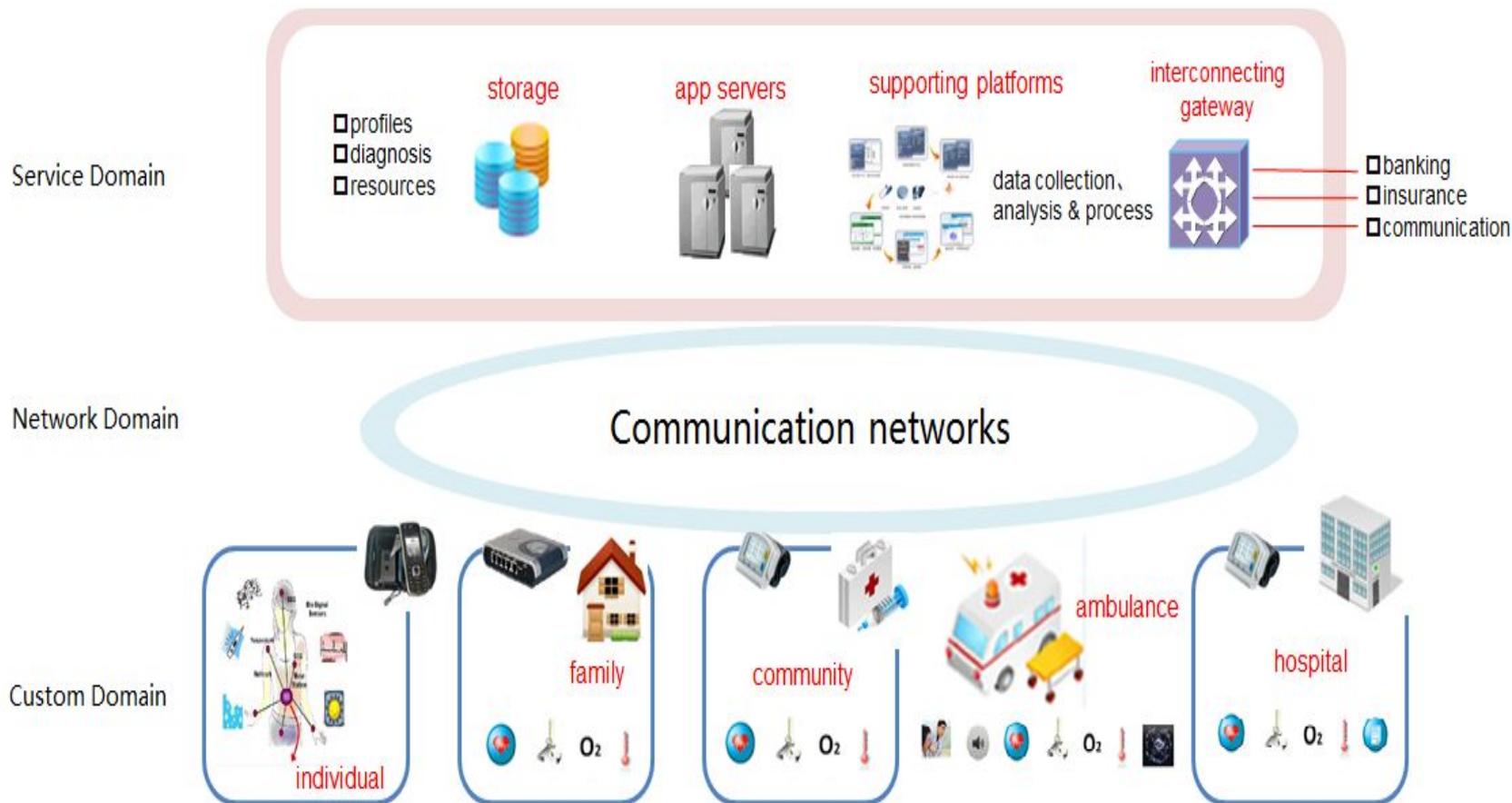
Анализ концепций е-здоровья и
разработка концептуальной модели
экосистемы е-здоровья на базе M2M.

Терминология

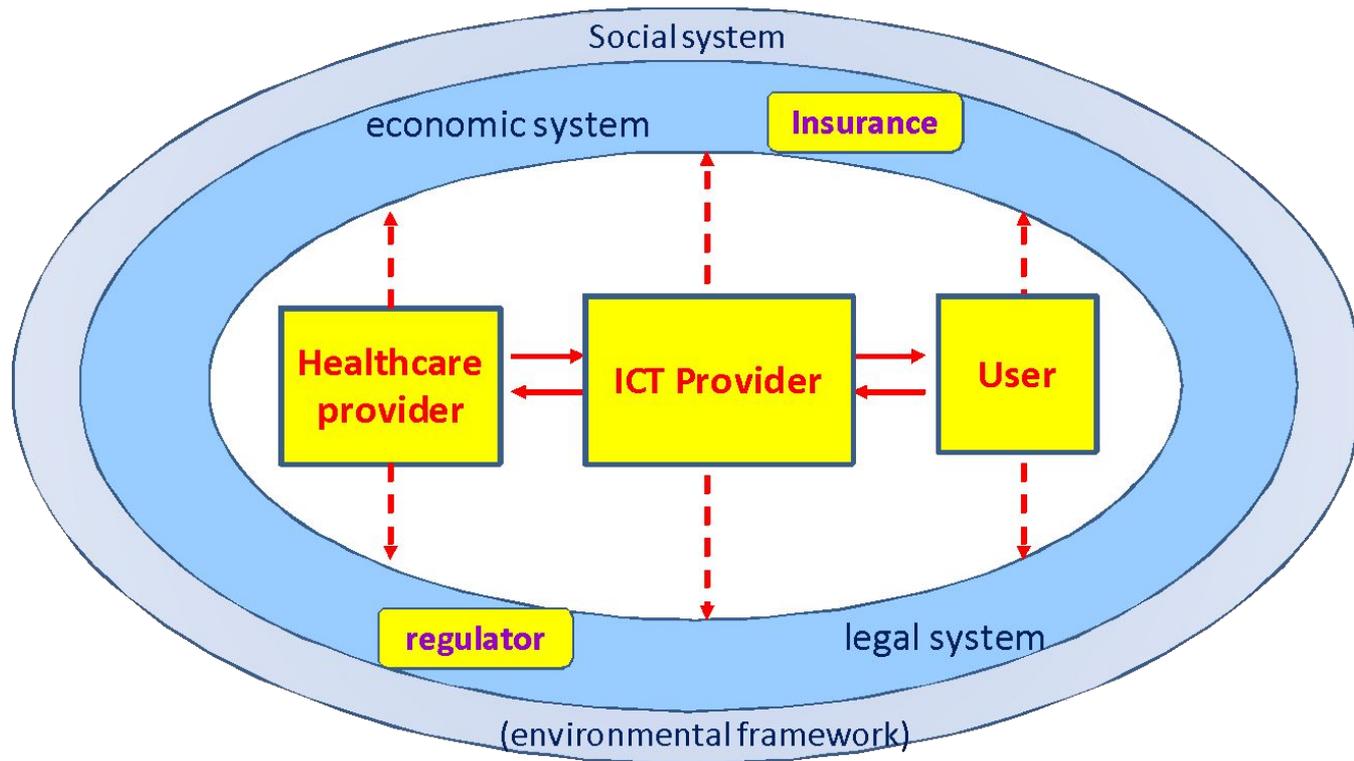
e-health (е-здоровье) – общее (umbrella) понятие, определяющее область взаимодействия здоровья, медицинской информатики, телекоммуникаций и бизнеса, когда услуги для здоровья и информация о нем обеспечиваются посредством сети Интернет и ей подобных.

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

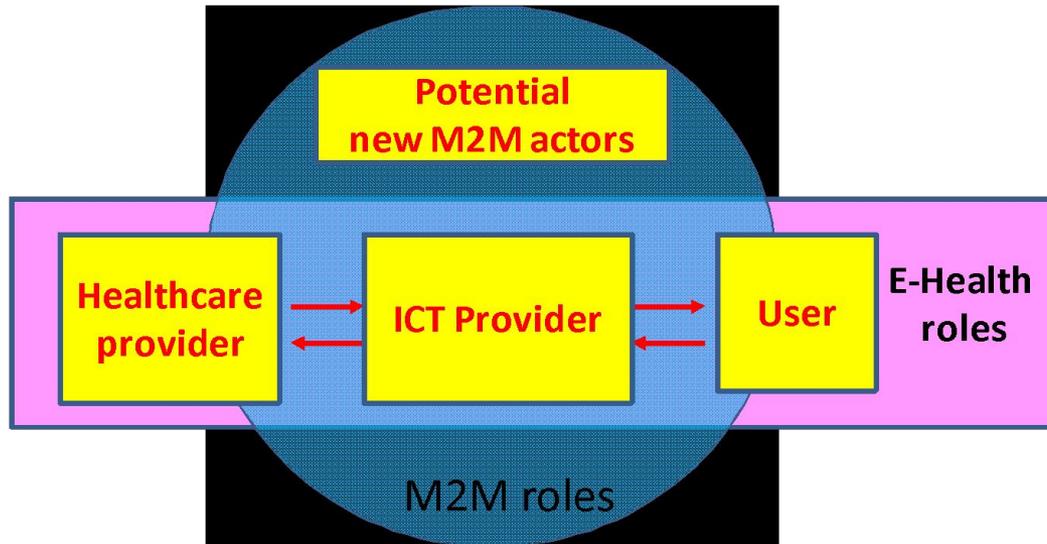
Система е-здоровья



Экосистема е-здоровья (верхний уровень)



Экосистема е-здоровья на базе M2M



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.

Задержки в 3G (HSPA), LTE

3G

Rel 99 – 68 мс

HSPA – 51 мс

HSPA+ - < 30 мс

LTE

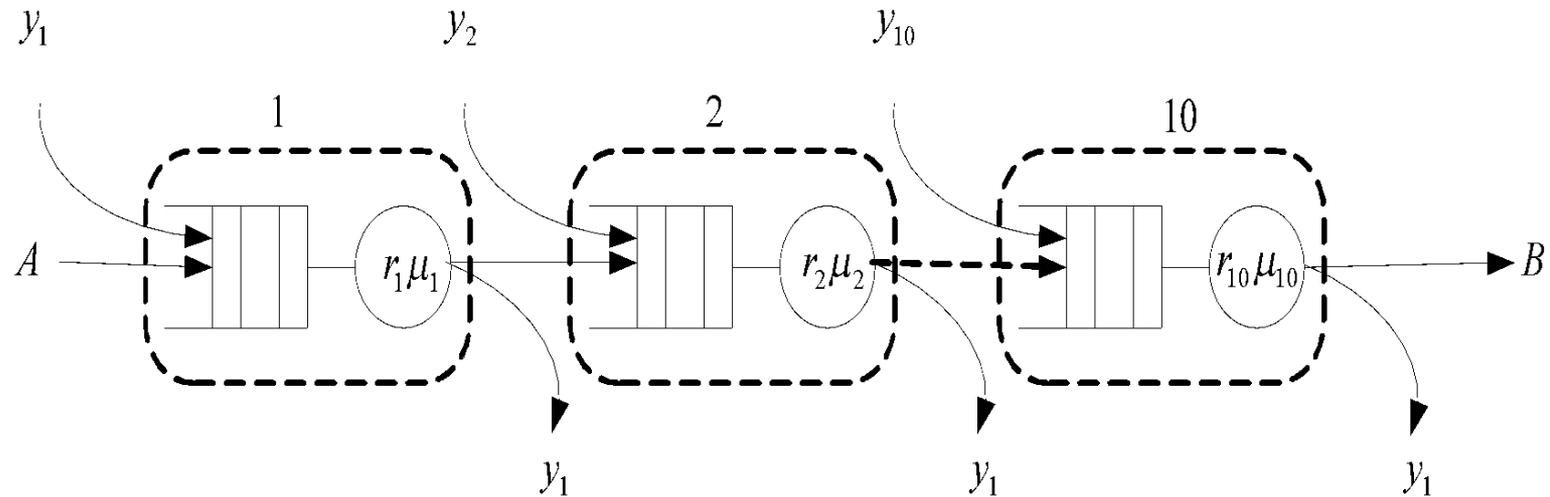
LTE (по расписанию) – 20 мс

LTE (с предварительным распределением ресурсов)

- < 15 мс

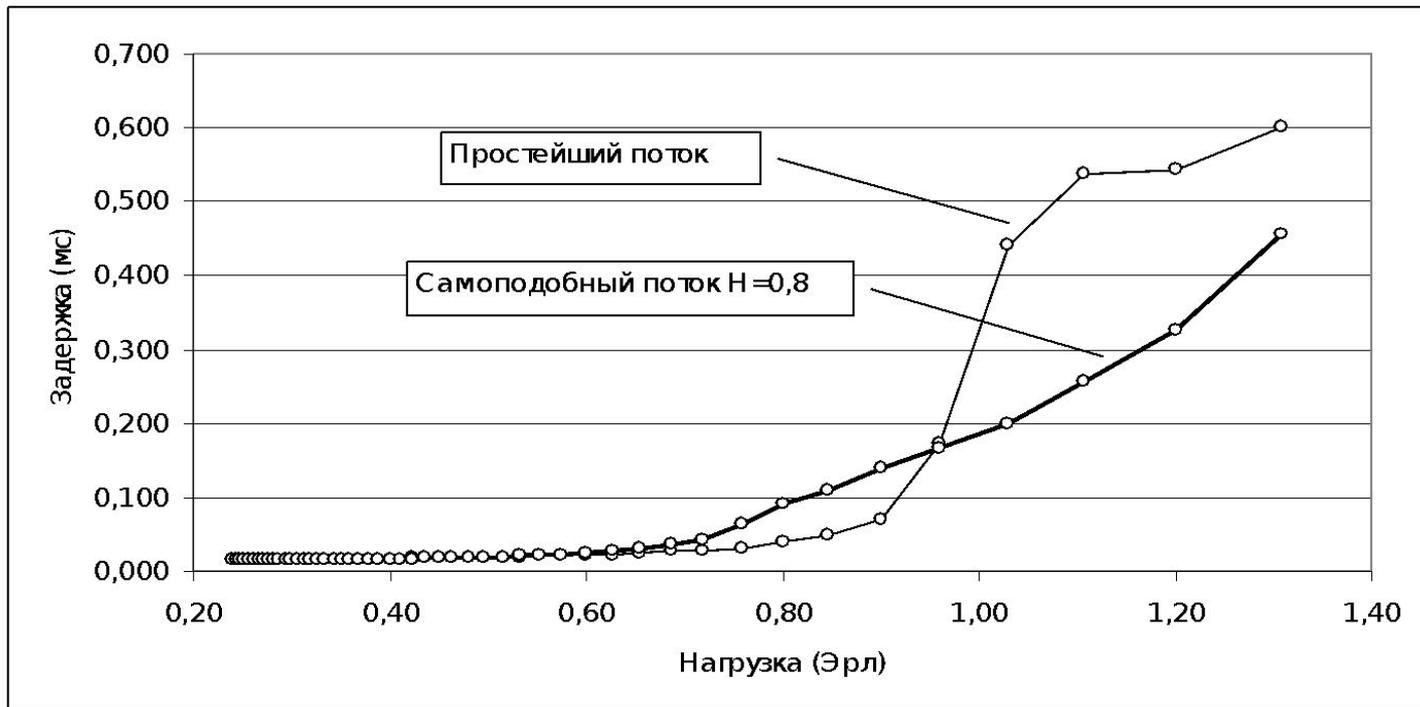
(Y.Koucheryavy. Wireless Technologies for IoT: M2M, 3GPP, EE and Cooperative. SPb SUT, October 05.2012).

Сети с малыми и сверхмалыми задержками

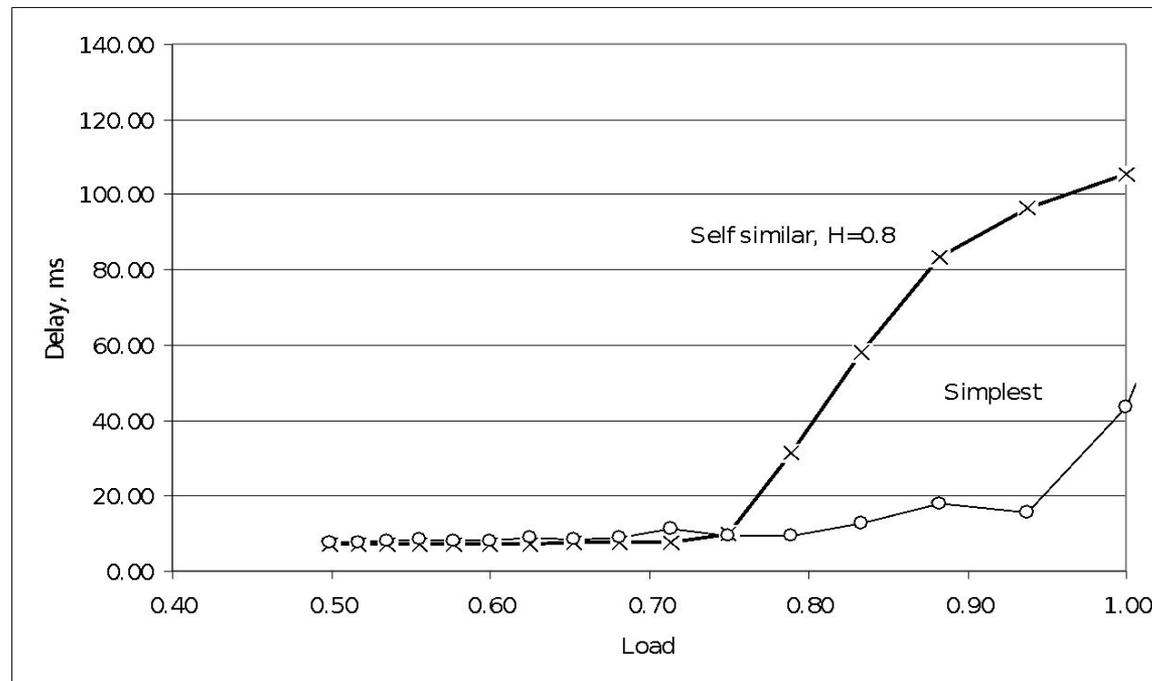


10 узлов, скорость передачи для 2-9 узлов 10 Гбит/с, для 1-2 и 9-10 – 4 Мбит/с

Задержки для участка 10 Гбит



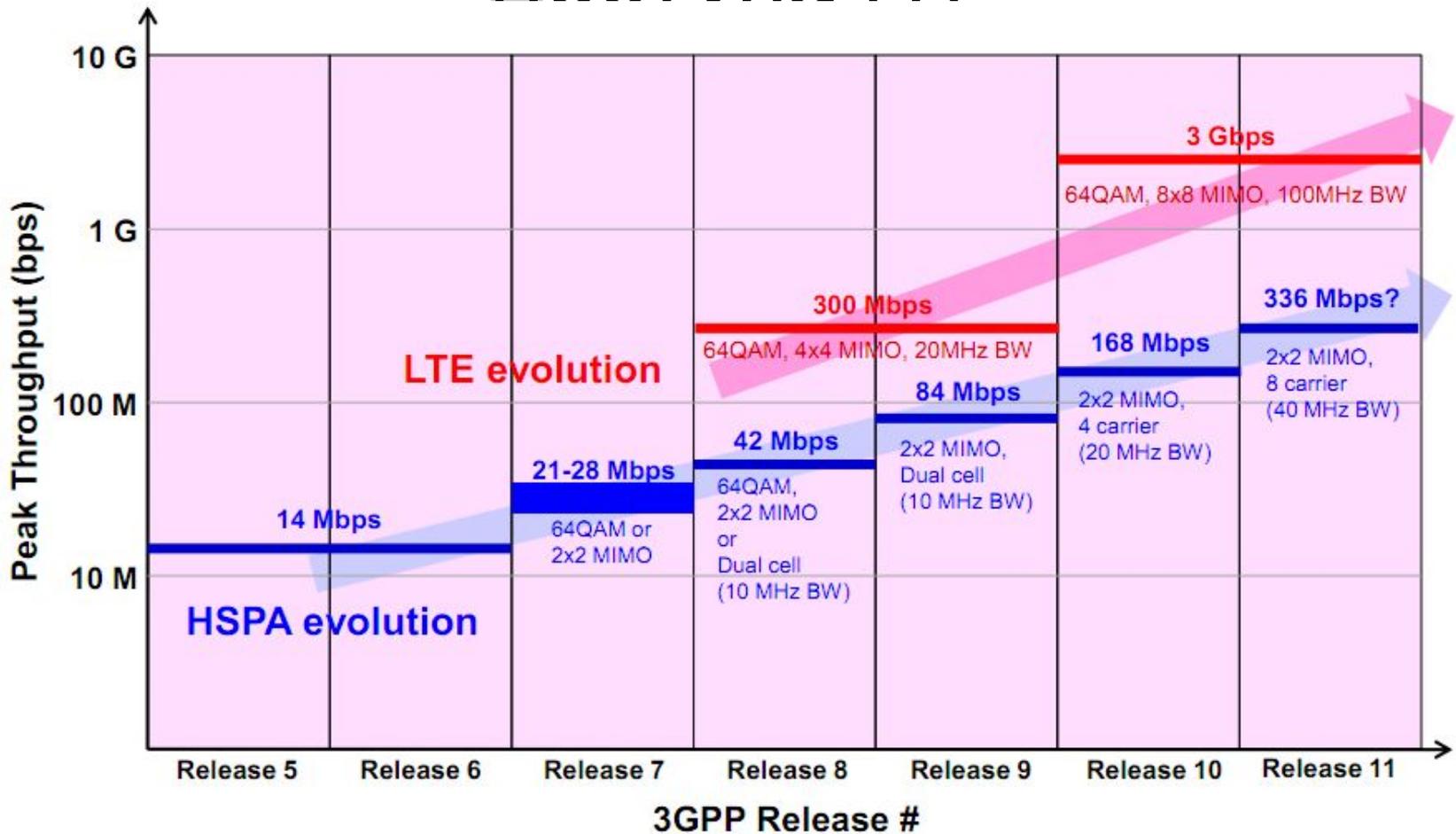
Задержки для сети доступа (4Мбит/с)



Сети доступа в сетях с малыми и сверхмалыми задержками

Сети доступа в сетях с малыми и сверхмалыми задержками для обеспечения предоставления услуг игр в реальном времени и/или e-health должны быть Гигабитными.

Новые технологии для построения Гигабитных сетей доступа (1)



(Y.Koucheryavy. Wireless Technologies for IoT: M2M, 3GPP, EE and Cooperative. SPb SUT, October 05.2012).

Новые технологии для построения Гигабитных сетей доступа (2)

IEEE 802.11 ac – 3.2 Гигабит/с

IEEE 802.11 ad – 7 Гигабит/с

Гигабитные сети и LLN

Развитие технологий телекоммуникаций приводит к появлению новых сетей, таких как гигабитные сети с малыми задержками и низкоскоростные сети с потерями.

Появление новых классов сетей требует определения новых макропоказателей:

- задержек для гигабитных сетей,
- плотности окончаний M2M для низкоскоростных сетей с потерями.

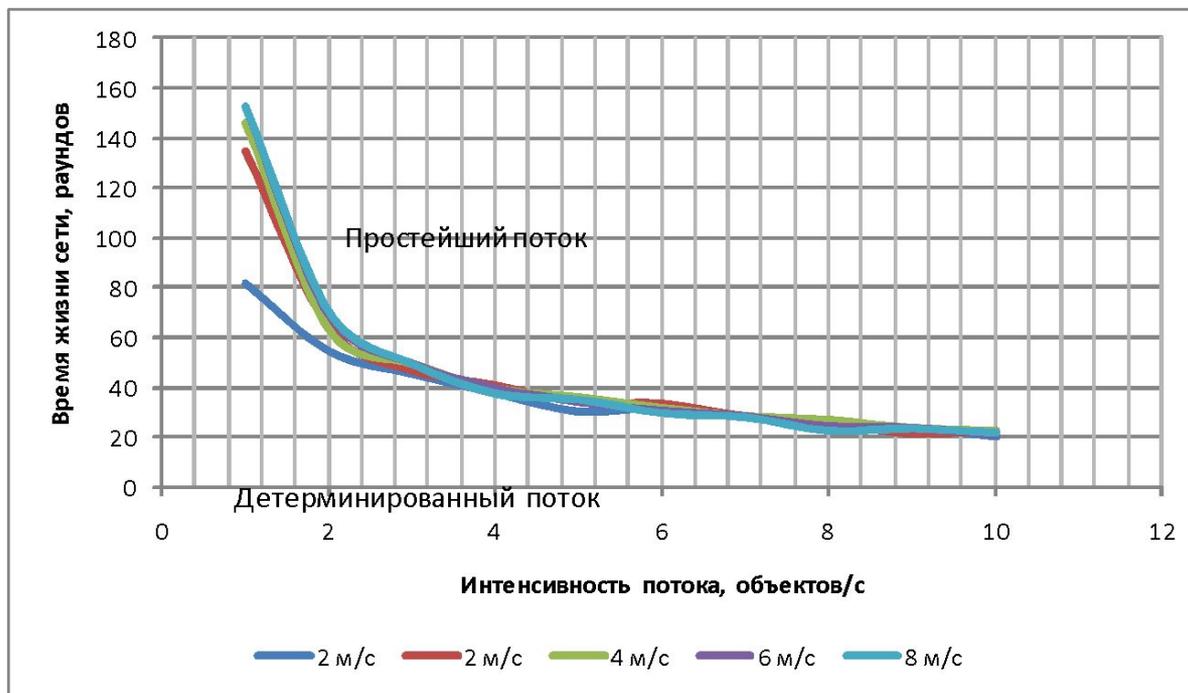
Сетевая безопасность

UNI - UNI

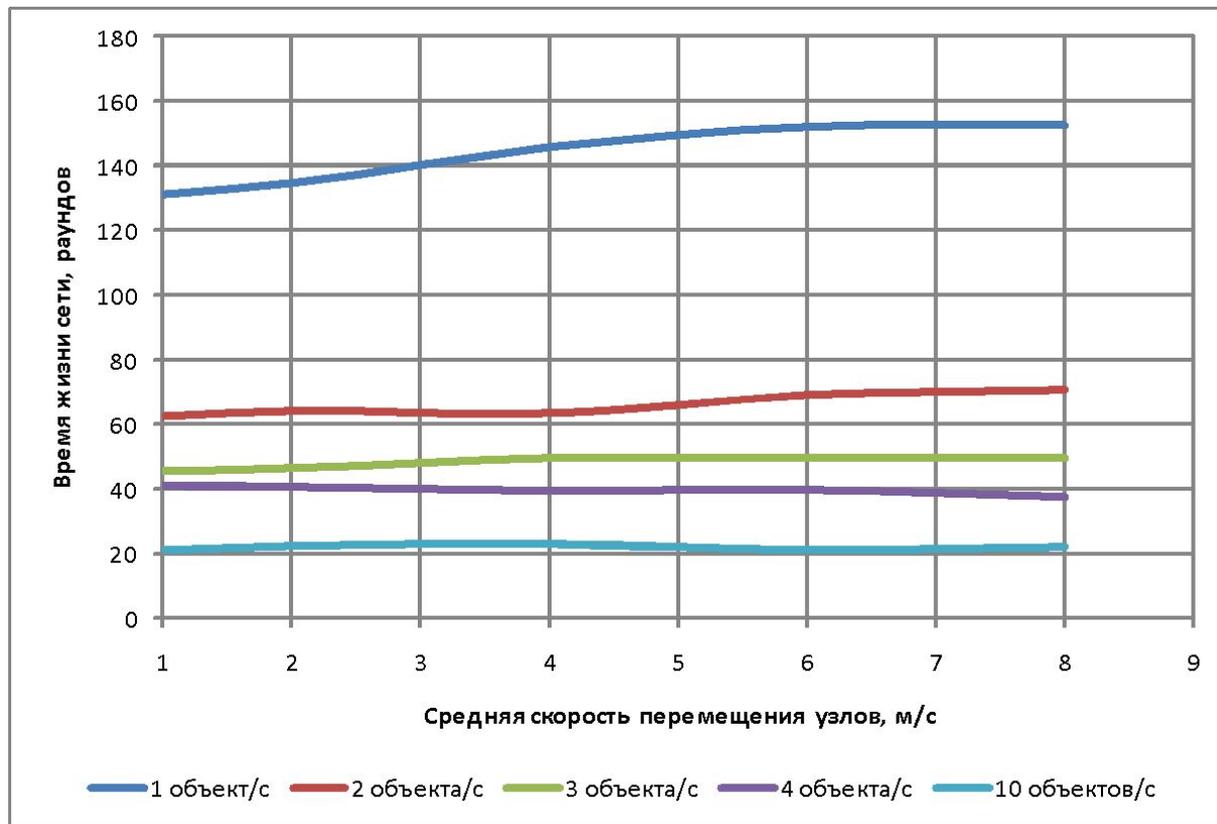
Особенности угроз в сенсорной сети

1. Клонирование.
2. Атаки на энергетическую систему (например, лишение сна сенсорных узлов).

Создание потоков ложных событий



Влияние мобильности сенсорных узлов на время жизни сенсорной сети



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

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.