

Факультет ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова

Сенсорные сети и вездесущие вычисления

МаГУ, г. Магнитогорск, 21 октября
2009г. Проф. В.А. Сухомлин

sukhomlin@mail.ru



Технологии беспроводных сетей (WLAN)

В последние годы наблюдается интенсивное развитие беспроводных сетевых технологий

Wireless Local Area Network (Wireless Fidelity or Wi-Fi) – открывают новые возможности в передаче и обработке распределенных данных

Наиболее известными стандартами Wi-Fi-технологий являются

Стандарты:

- IEEE 802.11 (скорость передачи 2 Mb/s);
- IEEE 802.11b (11 Mb/s),
- IEEE 802.11a (54 Mb/s),
- IEEE 802.15.1 (Bluetooth - 1 Mb/s),
- IEEE 802.15.3 (55 Mb/s) and so on ...

Вывод: большая часть Wi-Fi-технологий являются высокоскоростными WLAN

Низкоскоростные приложения и WLAN

Такие приложения как:

- Контроль и мониторинг состояния промышленных объектов
- Автоматизация дома (умный дом)
- Контроль безопасности объектов и зон
- Слежение за материальными объектами и продуктами
- Экологический мониторинг
- Мониторинг здоровья (умная одежда)
- Автоматизация научных исследований (создание **электронной модели реальности**)

не требуют использования высокоскоростных технологий

Существует два класса низкоскоростных сетевых технологий или LR-WLAN (Low Rate LAN):

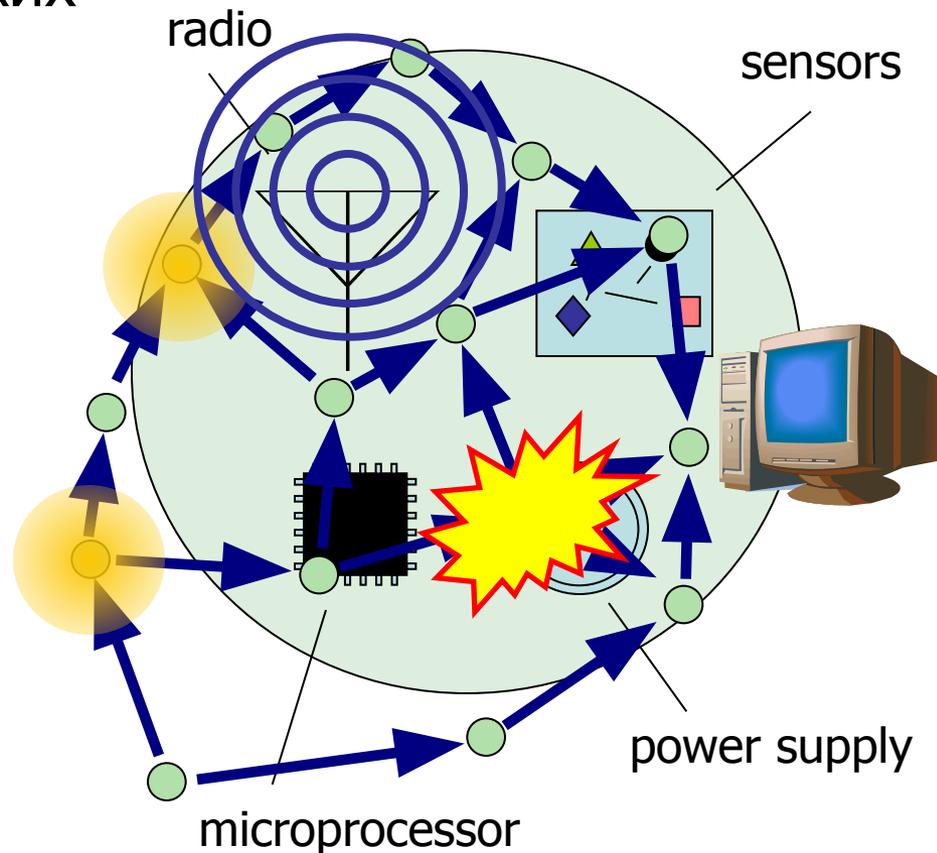
- **Sensor networks** (IEEE 802.15.4)
- **LR-WPAN** (Wireless Personal Area Networks)

Концепция сенсорных сетей

Главным элементом сенсорной сети является узел (**mote**)

Характерные особенности таких сетей:

- Автономность узлов
- Применимость узлов в аномальных условиях
- Автоматическая реконфигурируемость сетевой топологии (Ad hoc - сети)
- Автоматическая инсталляция функциональности узлов
- Низкая стоимость сопровождения
- Возможность покрытия значительных зон



Проблемы для LR-WLAN

Рассмотренные выше приложения требуют низкой скорости передачи данных, однако они ставят новые серьезные проблемы в области ИТ (научные и технологические).

Например:

- Низкое энергопотребление функционирования узлов и обеспечение их работоспособности в течение длительного времени от автономного питания (до нескольких лет)
- Низкая стоимость узлов для одноразового и массового использования
- Обеспечение малогабаритности при сложной функциональности
- Ad-hoc networking: самоконфигурирование и автоматическое сопровождение
- Масштабность и масштабируемость (большое, изменяемое в динамике число узлов (например wireless supermarket price tags))
- Безопасности функционирования
- Надежность работы, в том числе, в аномальных условиях
- Синхронизация узлов в реальном времени и др.
- Оптимизация планов передачи информации

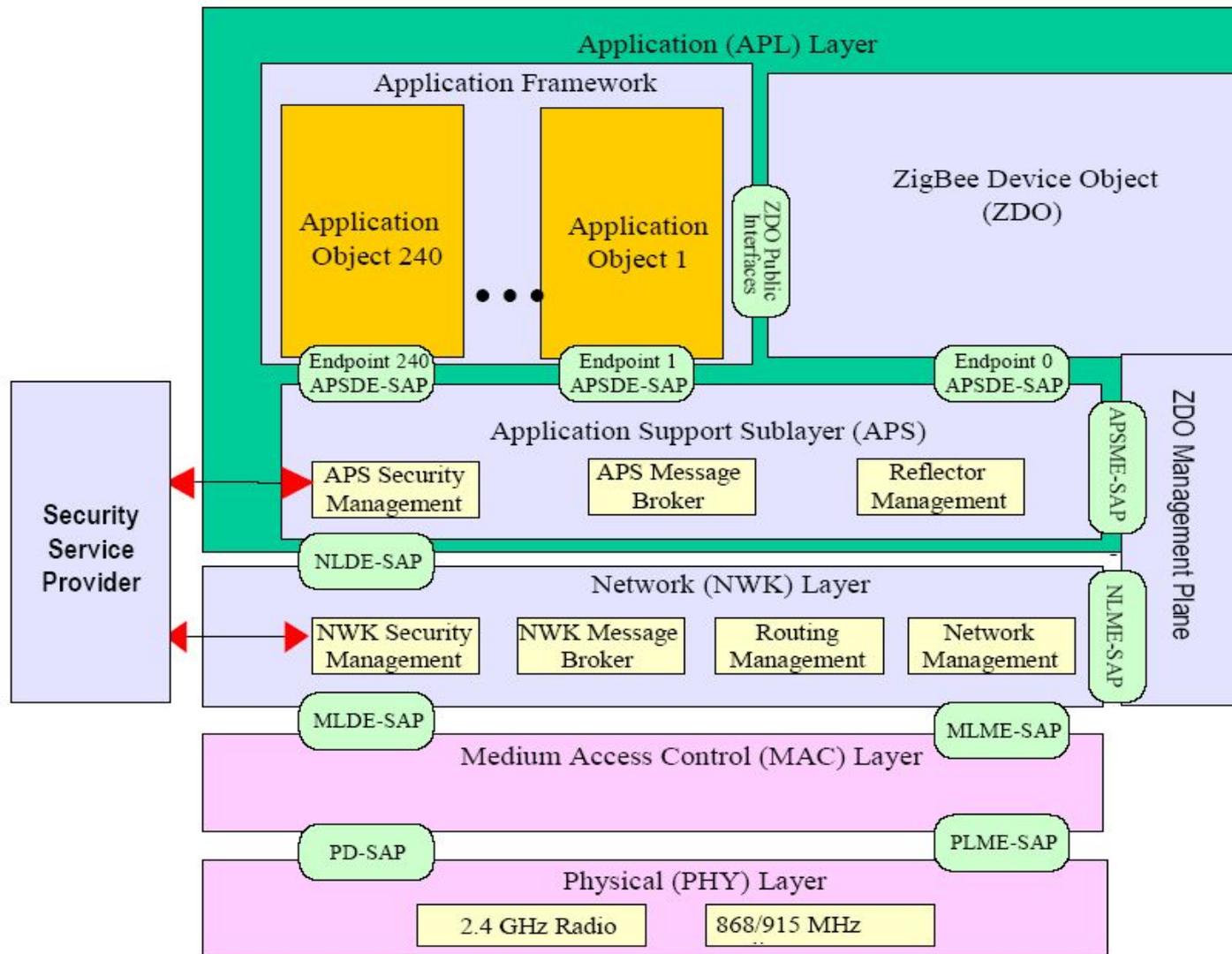
Промышленный стандарт ZigBee

Стандарт ZigBee определяет низкоскоростную сетевую технологию со следующими характеристиками:

- Скорость - 250 кбит/с
- Расстояние передачи между узлами – до 75 м.
- Частота передачи: 868 МГц (Европа), 915 МГц (США), 2.4 ГГц (международный диапазон)
- Метод доступа к среде передачи MAC - CSMA-CA
- Поддерживаемые сетевые топологии:
 - - **Star (звезда)**
 - - **Cluster tree (кластерное дерево)**
 - - **Mesh (ячеистая топология)**

Промышленный стандарт ZigBee

•

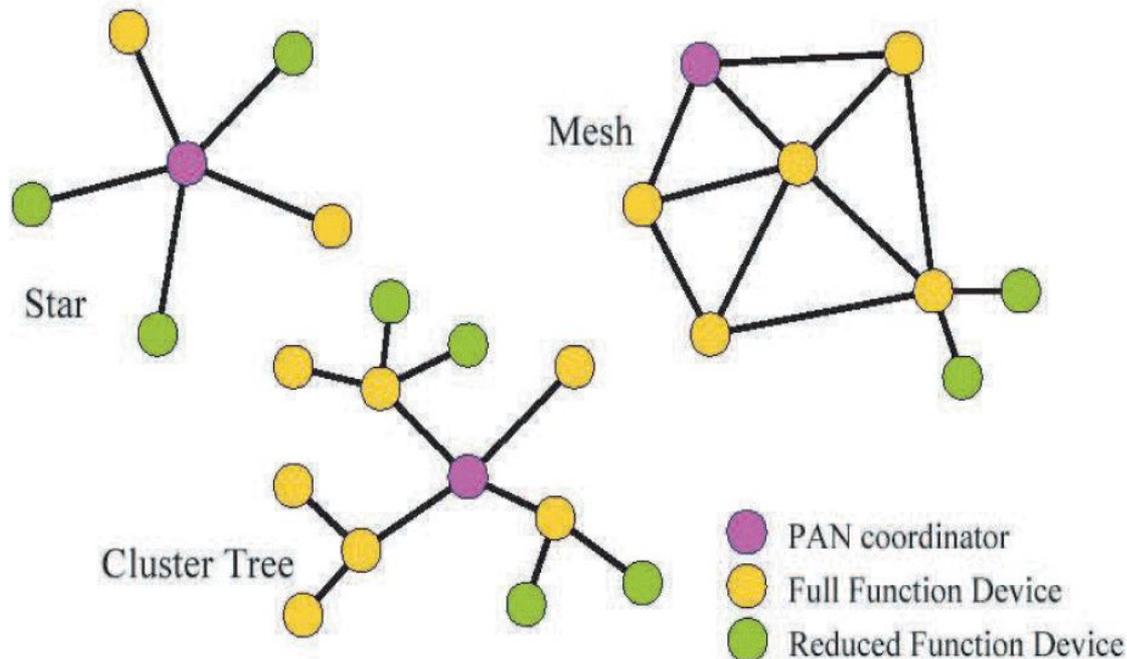


- IEEE 802.15.4 defined
- ZigBee™ Alliance defined
- End manufacturer defined
- Layer function
- Layer interface

Сетевые топологии ZigBee-сетей

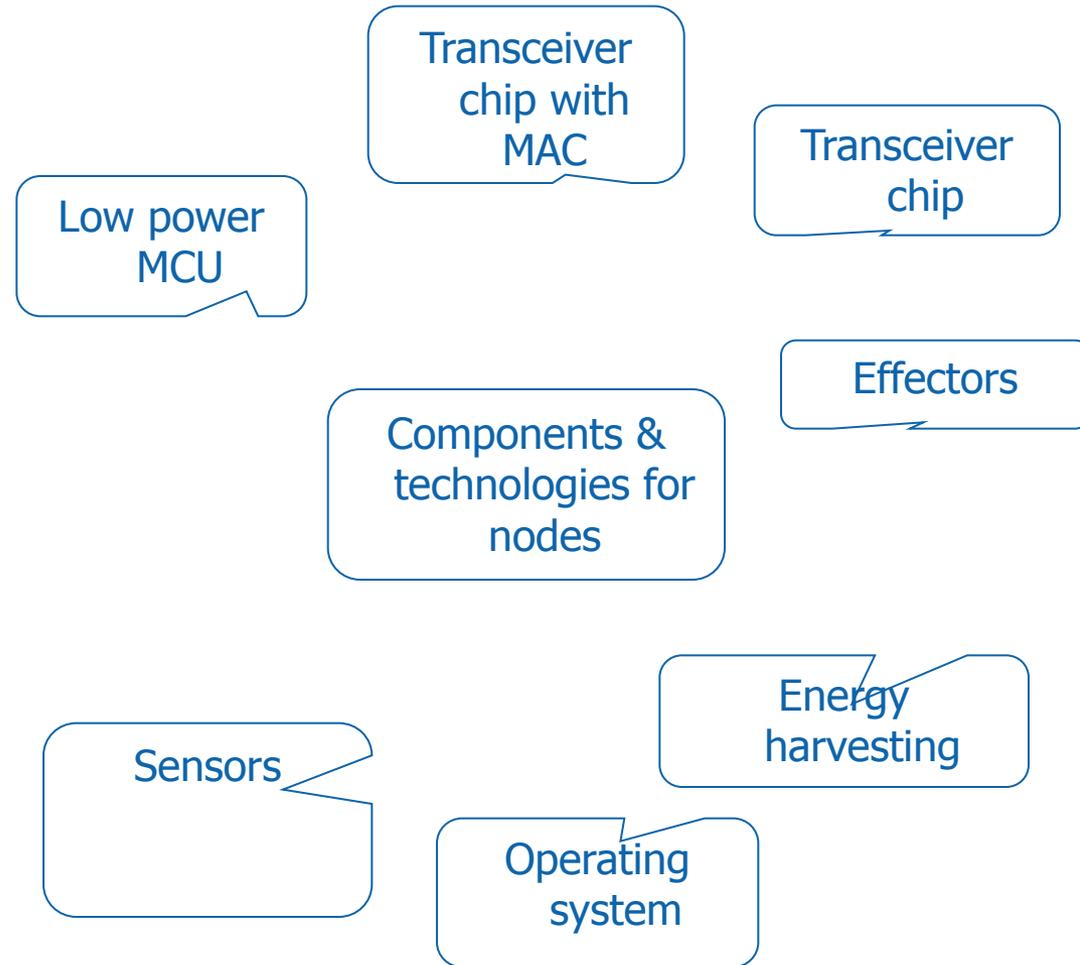
Сеть ZigBee содержит один узел координатор (**PAN coordinator**), который управляет всей сетью. Обычно он обеспечивается энергией от внешнего источника, при этом остальные узла питаются – от автономных аккумуляторов. Узлы **RFD** с упрощенной функциональностью, они могут только передавать информацию полнофункциональным узлам (**FFD**) и не могут служить ретрансляторами.

FFD могут взаимодействовать между собой и выполнять функцию маршрутизации сообщений.



Компоненты узлов сенсорных сетей

- ZigBee-совместимые трансиверы (приемопередатчики)
- Микроконтроллеры (MCU) с низким энергопотреблением
- Чипы, объединяющие радио трансиверы и микроконтроллеры с встроенной реализацией MAC уровня
- Аккумуляторы и энергонакопительные устройства (выделяющие энергию из физического окружения)
- Компоненты типового программного обеспечения, например, операционная система TinyOS (Berkley University)



Платформа для сенсорной сети лаб. ОИТ

В лаборатории ОИТ разработана собственная ZigBee-платформа для исследовательских целей:

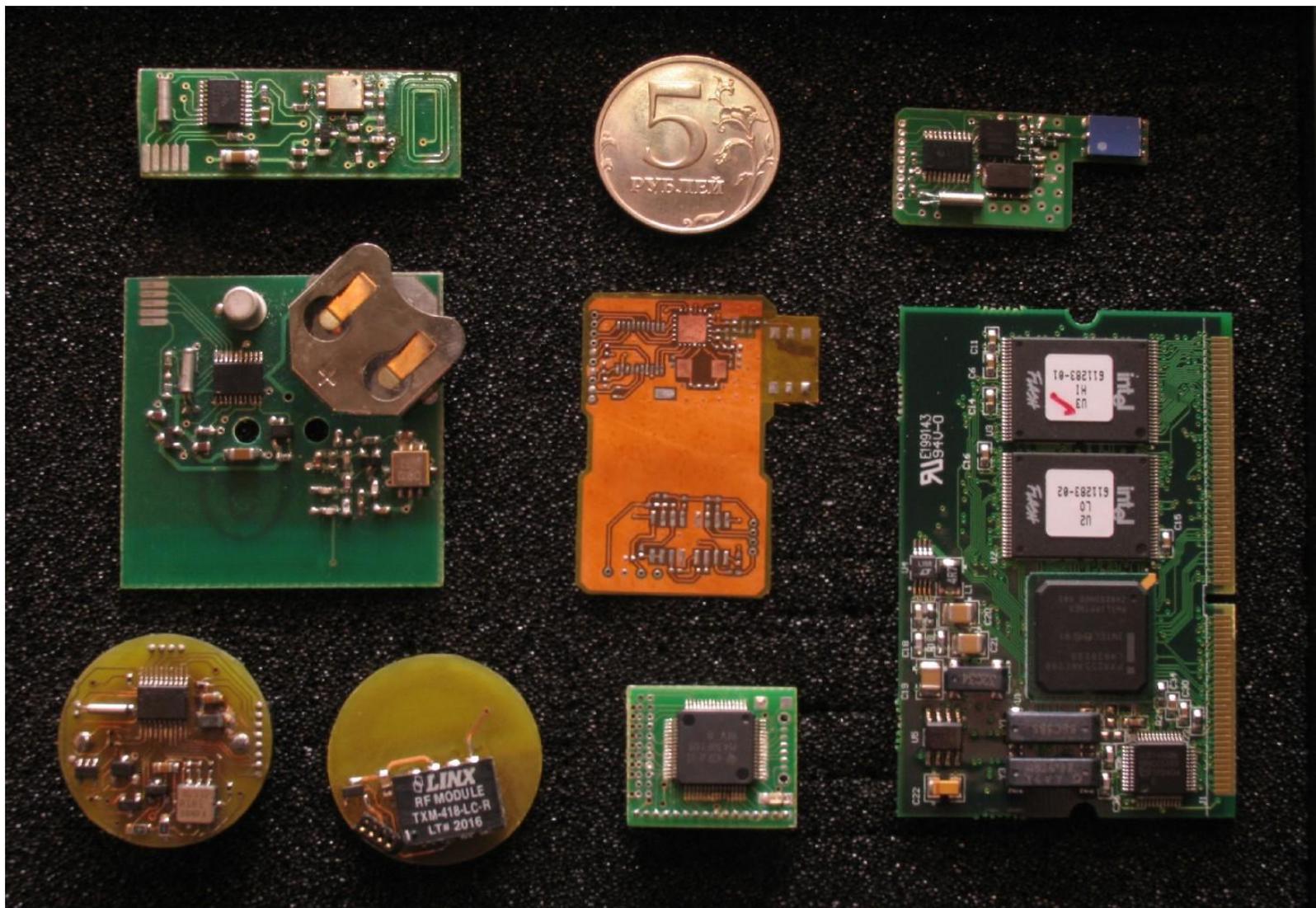
1) Аппаратная платформа построена на основе

- 16 bit MCU - Texas Instruments MSP430F1611 MCU
- IEEE802.15.4 transceiver - Chipcon CC2420
- Analog Devices accelerometer
- Interfaces for other sensors and effectors

2) ПО

- ZigBee stack (for TinyOS)
- ПО для управления сетью (стек ZigBee)
- Средства отладки

Примеры разработок



Применение имплантируемых беспроводных модулей в медицине

- **Цель:** надежное непрерывное измерение физиологических параметров лабораторных животных

Требование
точности
измерения

При минимальном
вреде



Решение:
Беспроводной
имплантируемый
модуль



Реализация - электронные эксперименты

Подопытные животные в клетке

Обычное социальное поведение



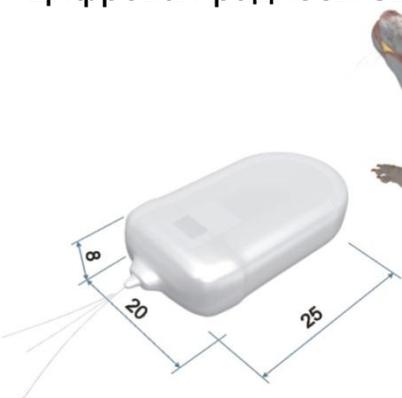
Transceiver

Цифровая радиосвязь



Рабочая станция исследователя

Сбор и анализ физиологических данных



Набор сенсоров:

- ECG
- EEG
- EMG
- Blood pressure
- Body t°
- Breath rate

Имплантируемый микропроцессорный модуль

Size	25×20×8 mm
Weight	5 g
Life time	2+ months

- Непрерывные многопараметрические измерения
- Возможность управление эффекторами

Решения для безопасности угольных шахт

Проблема:

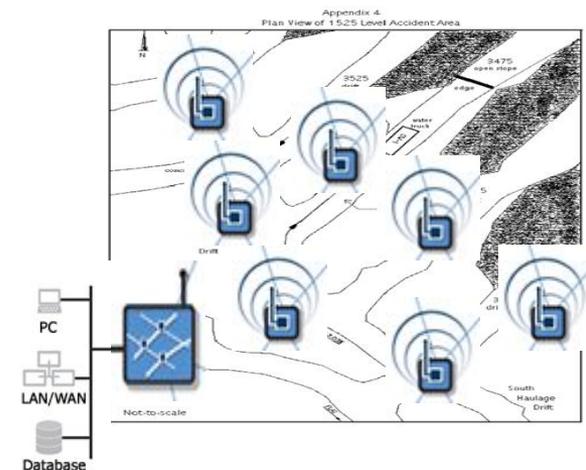
- 1 млн тонн угля = 1 жизнь шахтера
- на угольную отрасль приходится более 50% смертельных случаев в промышленности

Причины аварий на шахтах

- взрывоопасные концентрации газа
- человеческий фактор
- износ оборудования и конструкций

Задача: снизить риск возникновения аварий и влияния человеческого фактора

Решение: автоматизированные системы телеметрии и управления на базе беспроводных сенсорных сетей



Решения для безопасности угольных шахт

Применения сенсорных сетей для обеспечения безопасности на угольных шахтах

- **Контроль параметров шахтной атмосферы**
- **Индивидуальные сенсорные браслеты**
 - Система превентивного оповещения
 - Система аварийной радиосвязи
 - Система позиционирования
 - Мониторинг показателей жизнедеятельности
- **Система контроля целостности конструкций**

Контроль параметров шахтной атмосферы

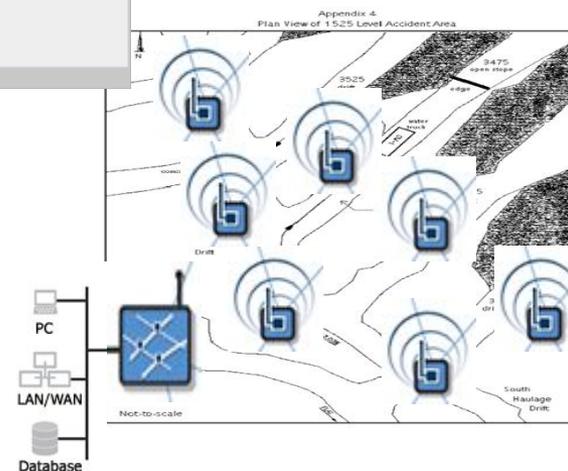
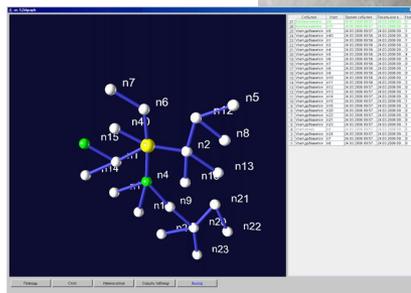
Датчики контроля требуемых параметров

- CH₄, CO₂, O₂, CO
- вибрации
- магнитного поля
- температуры
- любые датчики, востребованные в предметной области

Автономные ретрансляторы

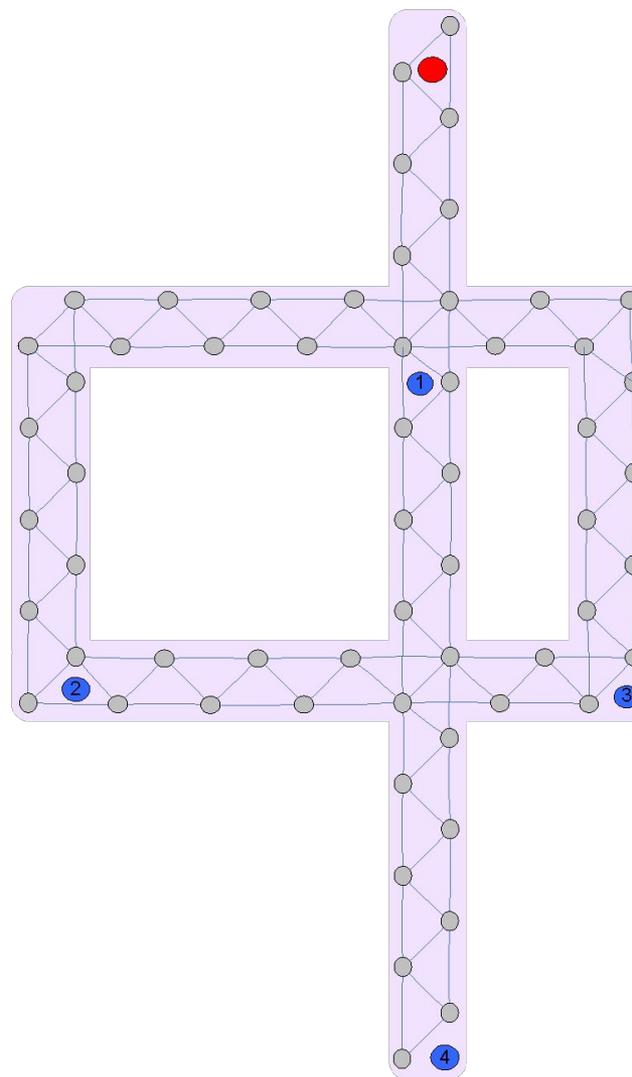
Концентратор

Система сбора и обработки информации



Базовая сетевая топология для тестирования решения

- 62 стационарных узла
Присутствуют циклы различной длины
- 1 мобильный узел – источник
- 4 мобильных узла – приемника



Индивидуальные сенсорные браслеты

Индивидуальные сенсорные радиобраслеты

Система превентивного оповещения	Датчик на руке получает сигнал из сети стационарных датчиков и заранее предупреждает об опасности
Система аварийной радиосвязи	Ретрансляция + способность аварийного усиления мощности сигнала = связь через завалы
Система позиционирования	Контроль перемещения и действий персонала
Мониторинг показателей жизнедеятельности	Контроль состояния здоровья работников



Контроль целостности конструкций

Датчики контроля требуемых параметров

- наклона
- вибрации
- температуры

Автономные ретрансляторы

Концентратор

Система сбора и обработки информации



Диагностика оборудования

Технические особенности решения:

- Небольшие автономные устройства
- Беспроводное решение
- Функционирование в реальном времени

Преимущества решения:

- Контроль в режиме реального времени
- Заблаговременное обнаружение дефектов
- Экономия на прокладке взрывозащищенных линий
- Легкая установка с минимальным временем простоя контролируемого агрегата
- Возможна установка практически на любом агрегате



Формальная теория сенсорных сетей

- Сенсорную сеть можно рассматривать как **высокораспределенную базу данных**
- Подход сенсорных баз данных расширяет технологию баз данных и обработку запросов на работу с сенсорными сетями
- Такой подход дает возможность теоретически исследовать план обработки запросов к сенсорам, чтобы минимизировать:
 - время отклика на запрос (посредством распараллеливания обработки запросов)
 - энергопотребление (благодаря планированию обменов данными без коллизий)
- Разработана **Алгебра передачи данных в сенсорных сетях - Data Transmission Algebra (DTA)** [4], предназначенная в качестве основы для описания оптимального планирования запросов в сенсорных сетях
- Она позволяет реализовывать:
 - - количественный анализ и качественную оптимизацию запросов в сенсорных сетях
 - - автоматическую генерацию и оценку маршрутных деревьев для данной сети и запросов

Базовая модель

- **Цель модели** – построить мат. аппарат для генерации деревьев маршрутизации запросов с оптимальными временем обработки и энергопотреблением
- Оптимизатор запросов строит планы запросов, учитывая топологию сети и требования покрытия и области коллизий (Collision Domain - CD) сенсорных узлов.
- На рис.1 поясняются понятие CD для систем стандарта IEEE 802.11 и понятие **области передачи TRi** – Transmission Range для узла n_i .

- TR_i – область, в которой сила сигнала от узла n_i достаточна для приемника

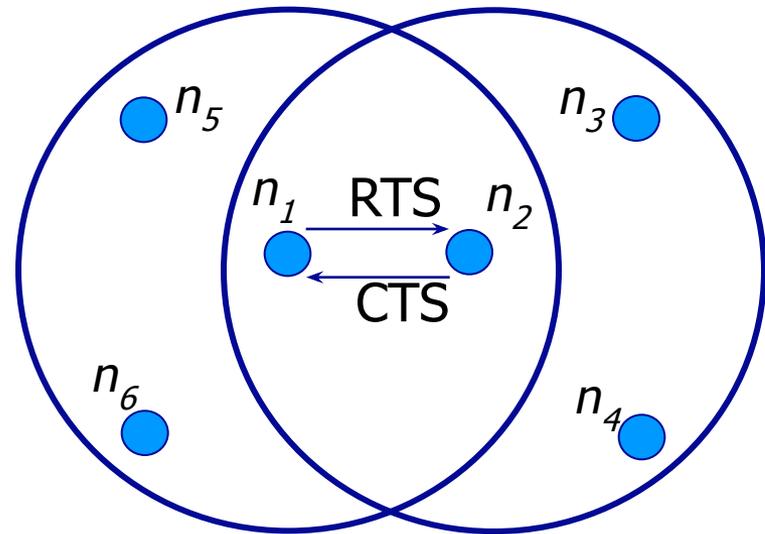


Fig. 1. **Область коллизий (CD)** для двух взаимодействующих узлов

Базовая модель

- Следующий сценарий описывает функционирование сети:
- n_1 посылает n_2 запрос на передачу (RTS в 802.11)
- n_5 и n_6 оба в области TR1, так что они молчат пока n_1 не закончит передачу данных к n_2
- n_2 отвечает n_1 с помощью подтверждения RTS (CTS в 802.11)
- n_3 и n_4 оба в области TR2, так что они молчат пока не закончит передачу n_2 to n_1
- Узлы $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$ в **области коллизий**
 $CD(1,2) = TR1 \cup TR2$

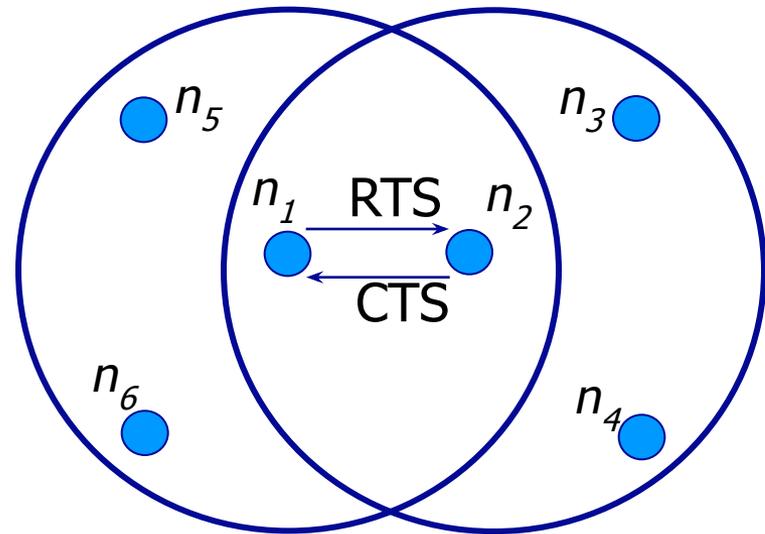


Рис. 1. Область коллизий двух узлов

Data Transmission Algebra (DTA-алгебра)

- - **Элементарная передача(ЕТ)** обозначается как $(n_i \sim n_j)$ – один шаг передачи от источника n_i узлу назначения n_j
- - Любой $(n_i \sim n_j)$ соответствует $CD(i,j)$
- - Пусть A и B любые планы передачи
- - **План передачи** это некоторая $(n_i \sim n_j)$ или план, образованный с помощью применения следующих трех операций:
 - - $o(A,B)$ – операции строгого порядка - A должно выполняться перед B
 - - $c(A,B)$ – операции нестрогого порядка - A может выполняться перед B или наоборот
 - - $a(A,B)$ – операция совмещения - A и B могут выполняться параллельно
- Пример дерева запросов для запроса Q и соответствующая DTA-спецификация показаны на Рис.2.
- Для DTA разработано исчисление, полнота которого доказана.

Пример DTA-спецификации

Исходные данные:

$n_4 \sim n_2$
 $n_2 \sim n_1$
 $n_5 \sim n_3$ | Запрос Q
 $n_3 \sim n_1$

$o(n_4 \sim n_2, n_2 \sim n_1)$
 $o(n_5 \sim n_3, n_3 \sim n_1)$

$c(n_2 \sim n_1, n_3 \sim n_1)$

$a(n_4 \sim n_2, n_5 \sim n_3)$
 $a(n_4 \sim n_2, n_3 \sim n_1)$
 $a(n_5 \sim n_3, n_2 \sim n_1)$

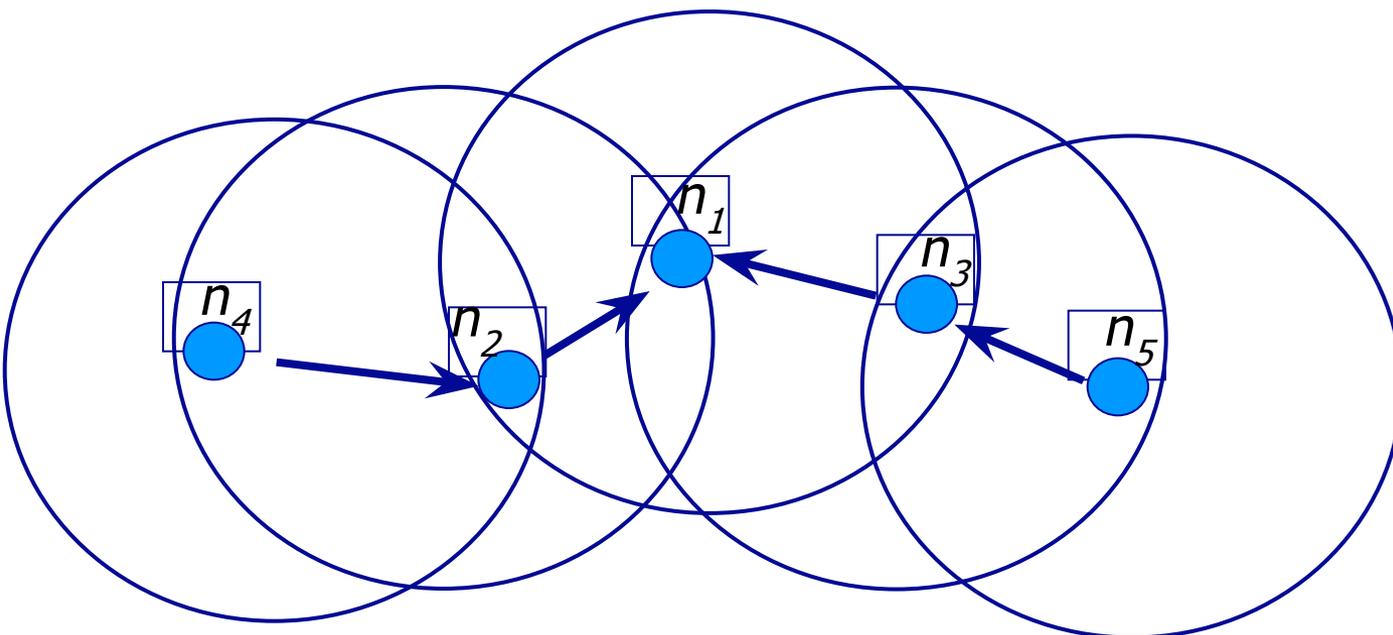
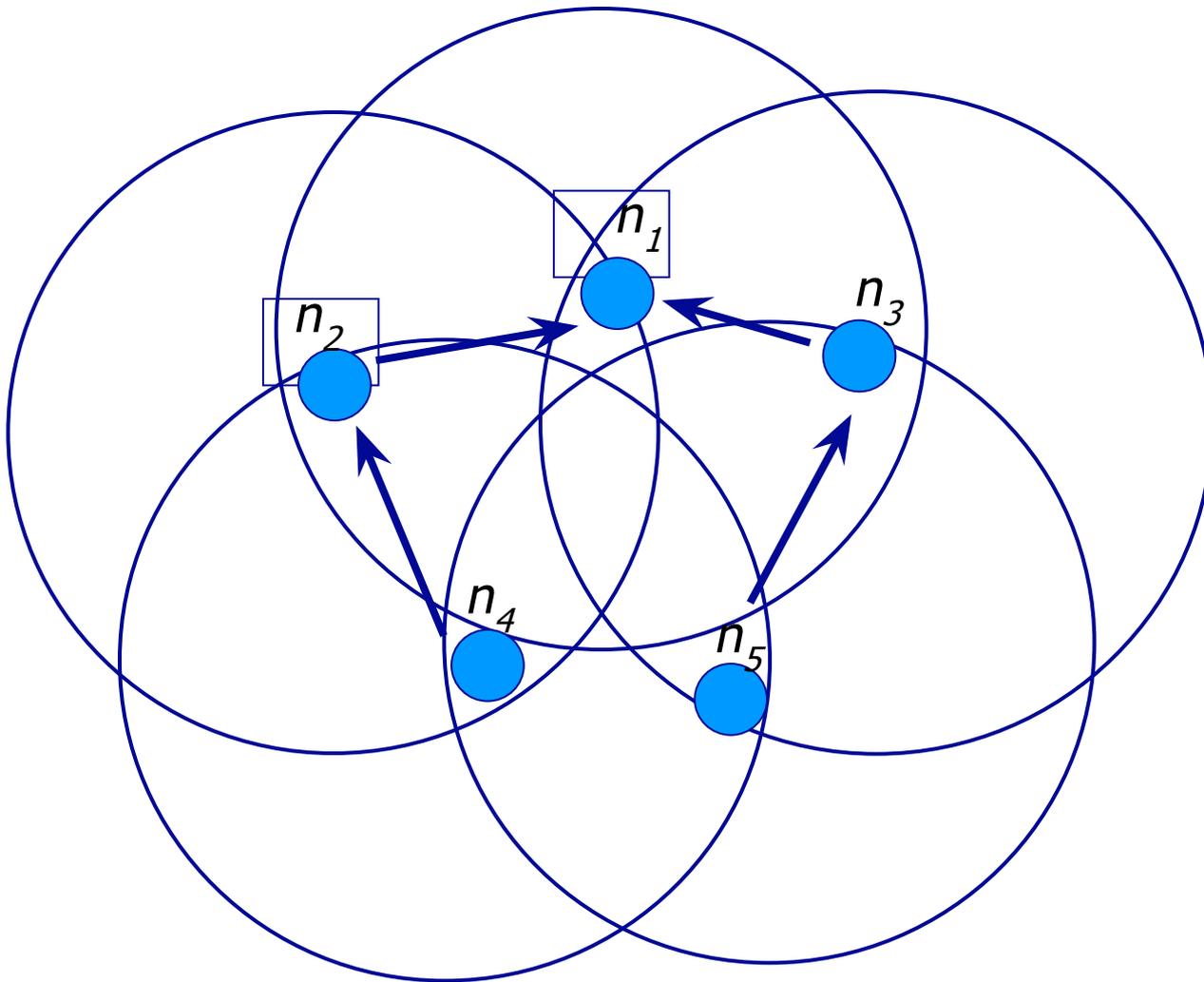


Рис. 2. Пример дерева запросов для запроса Q и DTA-спецификация

Полный план: $o(a(n_4 \sim n_2, n_5 \sim n_3), c(n_2 \sim n_1, n_3 \sim n_1))$

Пример DTA-спецификации



Исходные данные:

$$\begin{aligned} n_4 &\sim n_2 \\ n_2 &\sim n_1 \\ n_5 &\sim n_3 \\ n_3 &\sim n_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} o &(n_4 \sim n_2, n_2 \sim n_1) \\ o &(n_5 \sim n_3, n_3 \sim n_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &(n_2 \sim n_1, n_3 \sim n_1) \\ c &(n_4 \sim n_2, n_5 \sim n_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &(n_4 \sim n_2, n_3 \sim n_1) \\ a &(n_5 \sim n_3, n_2 \sim n_1) \end{aligned}$$

Рис. 3. Влияние топологии сети на план и DTA-спецификацию

Примеры использования

Танкер Loch Rannoch компании British Petroleum

Задача: снизить вероятность аварий
уменьшить издержки профилактических работ

Решение:

- На агрегаты танкера установлены датчики вибраций
- Используется беспроводная связь
- Функционирование в реальном времени

Преимущества:

- Своевременная информация о быстро развивающихся дефектах
- Экономия на прокладке взрывозащищенных линий
- Легкая установка с минимальным временем простоя контролируемого агрегата



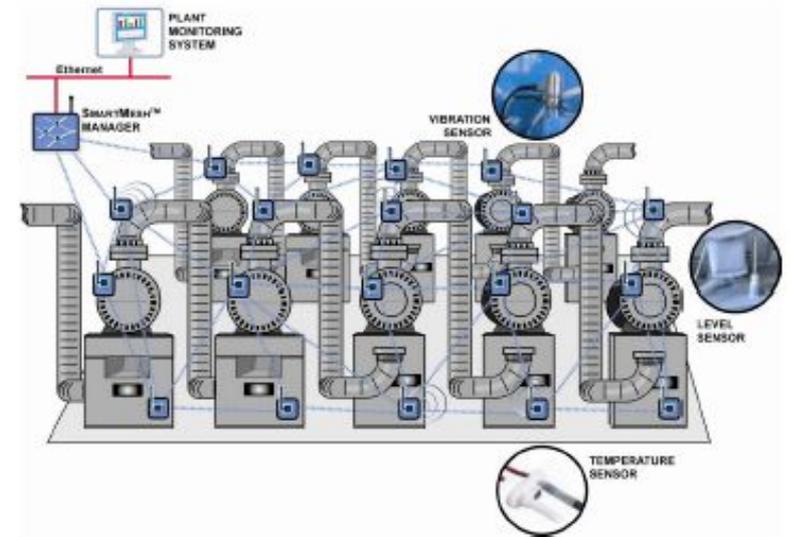
Примеры использования

Сенсорная сеть мониторинга состояния промышленных агрегатов распределенных объектов коммунального хозяйства г. Москвы

Задача: предупреждение аварий и контроль регулярности технического обслуживания

Решение: на промышленные агрегаты установлены сенсорные датчики присутствия и вибраций

Результат: сокращение издержек профилактических работ, выявление неправомерного использования, предупреждение аварий



Примеры использования

Применение сенсорных сетей на железнодорожном транспорте

Задача: снизить эксплуатационные затраты и уменьшить потери от злоупотреблений

Решение: на подвижном составе и грузах развернута сенсорная сеть из датчиков вибраций, давления, герконов

Результат:

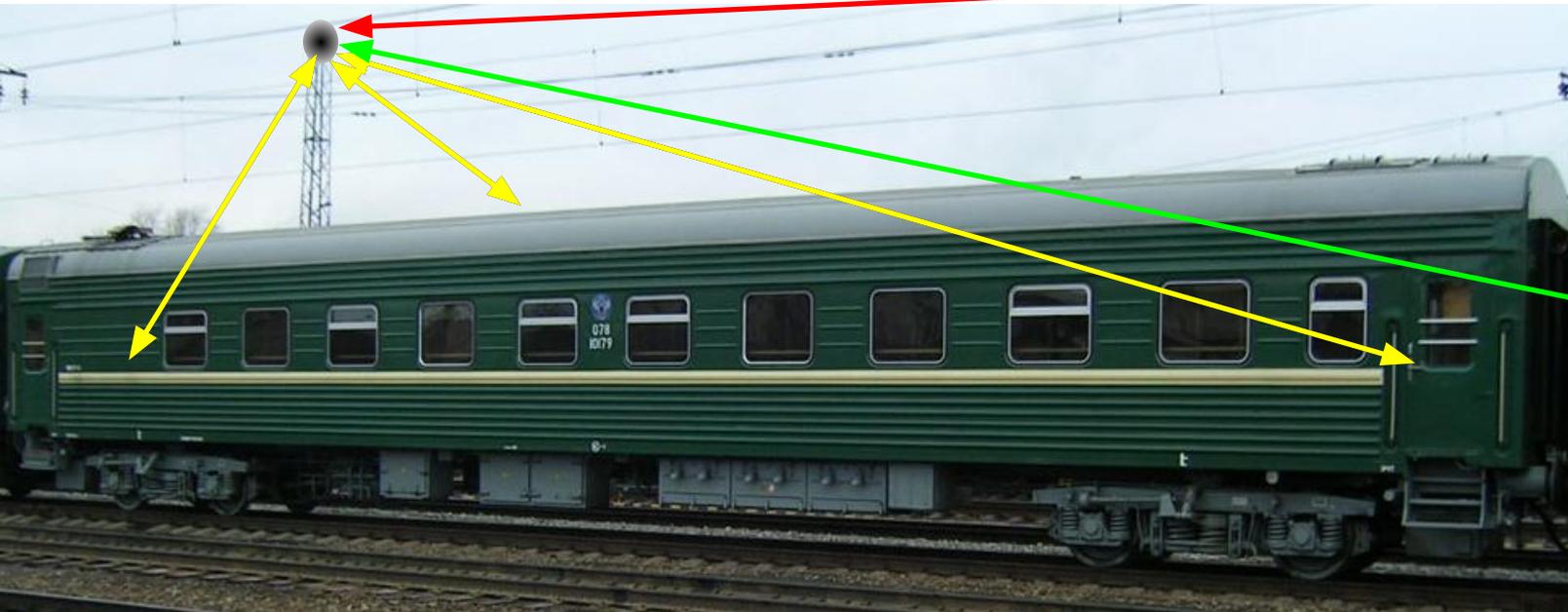
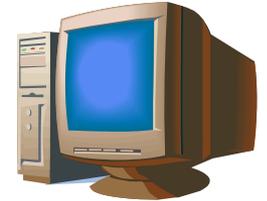
- Контроль перемещения и следования вагонов и контейнеров через пункты
- Технический контроль подвижного состава
- Контроль параметров и сохранности груза (!!!)
- Контроль действий обслуживающего персонала



Примеры использования

Контроль вагонов и контейнеров

- загрузка, открытие дверей, перемещение
- проследование контрольных пунктов



Контроль действий персонала при сортировке составов, проверке ходовой части, обходе путей

- Журналирование с последующей отчётностью

Преимущества беспроводных решений

Преимущество	Технологическое решение, обеспечивающее преимущество
Простота и малая трудоемкость установки	Благодаря полностью беспроводной технологии и питанию от батарей нет необходимости прокладывать какие-либо кабели
Возможность использования в труднодоступных местах и неблагоприятной среде	Технология ретрансляции сообщений позволяет пользоваться преимуществами беспроводной связи
Минимальные ограничения на места установки датчиков	Благодаря малым размерам, отсутствию проводов и высокой климатической устойчивости датчики можно устанавливать практически на любые агрегаты
Простота взаимодействия с обслуживающим персоналом	Закладываемые в датчики интеллектуальные возможности автоматически выполняют все необходимые функции и не требуют обслуживания
Низкая стоимость технического обслуживания	Длительный срок службы от батарей (до 10 лет), датчики не требуют технического обслуживания

Заключение

Технологии сенсорных сетей – новая эра информатизации социума, в которой возможно решение следующих проблем:

- Создание электронной модели реальности (новая веха автоматизации исследований)
- Контроль физического мира, в частности, экологический мониторинг
- Контроль жизненного цикла материальных активов и продуктов производства
- Непрерывный контроль здоровья человека
- Интеллектуализация окружения человека (умный дом) и пр.

Литература

- 1) Edgar H. Callaway, *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*, CRC Press © 2004
- 2) Gray Girling et al., The PEN low power protocol stack, Proc. 9th IEEE Int. Conf. on Computer Communication and Networks, v. 3, October 2000, pp. 1521–1529
- 3) Bonnet P., Gehrke J., Seshadri P. Towards Sensor Database Systems// Proc. MDM Conference. – 2001. –V/ 1987 – P. 3-14.
- 4) V.I. Zadorozhny, D. Sharma, P.K. Chrysanthis, A. Landrinidis. (University of Pittsburgh).
Data Transmission Algebra for Collision-Aware Scheduling in Sensor Networks. Systems and tools of Informatics. RAS, Institute of Informatics Problem. Moscow.2005. P. 272-293
- 5) ZigBee specification
http://www.zigbee.org/en/spec_download/download_request.asp