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):

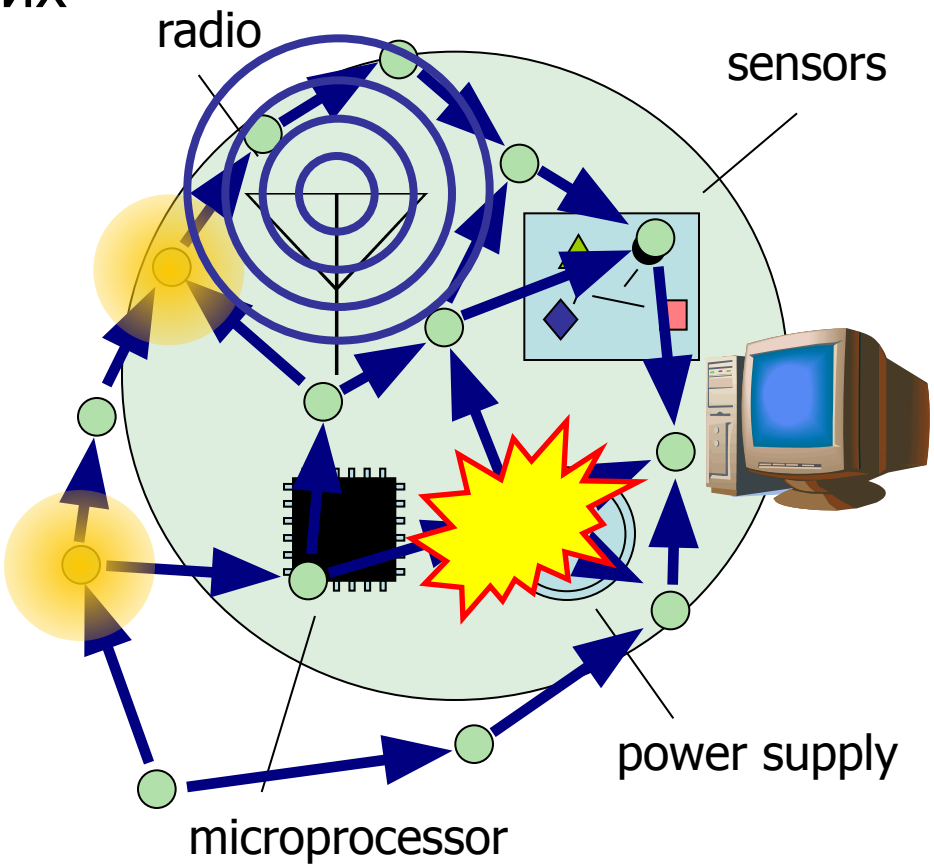
- **Sensor networks** (IEEE 802.15.4)
- **LR-WPAN** (Wireless Personal Area Networks)

Концепция сенсорных сетей

Главным элементов 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:

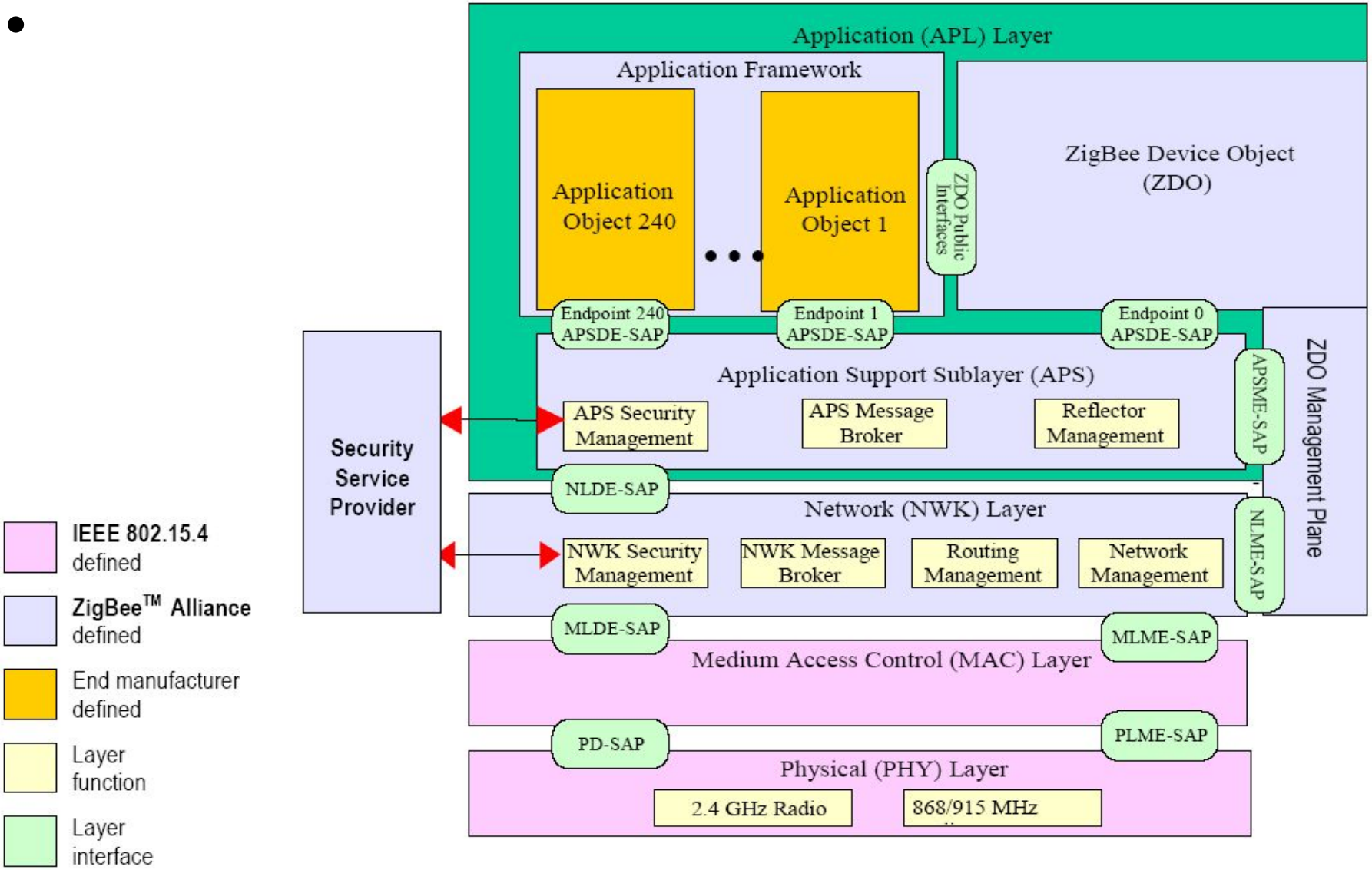
- Низкое энергопотребление функционирования узлов и обеспечение их работоспособности в течение длительного времени от автономного питания (до нескольких лет)
- Низкая стоимость узлов для одноразового и массового использования
- Обеспечение малогабаритности при сложной функциональности
- Ad-hoc networking: 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 МГг (Европа), 915 МГг (США), 2.4 ГГг (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

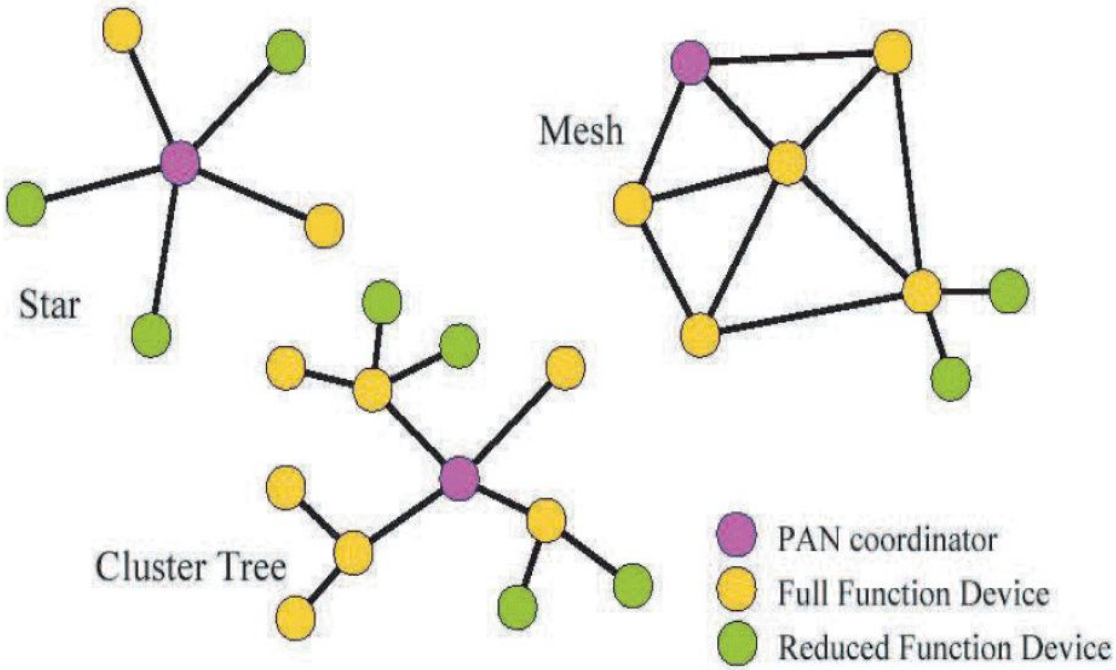


Сетевые топологии ZigBee-сетей

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

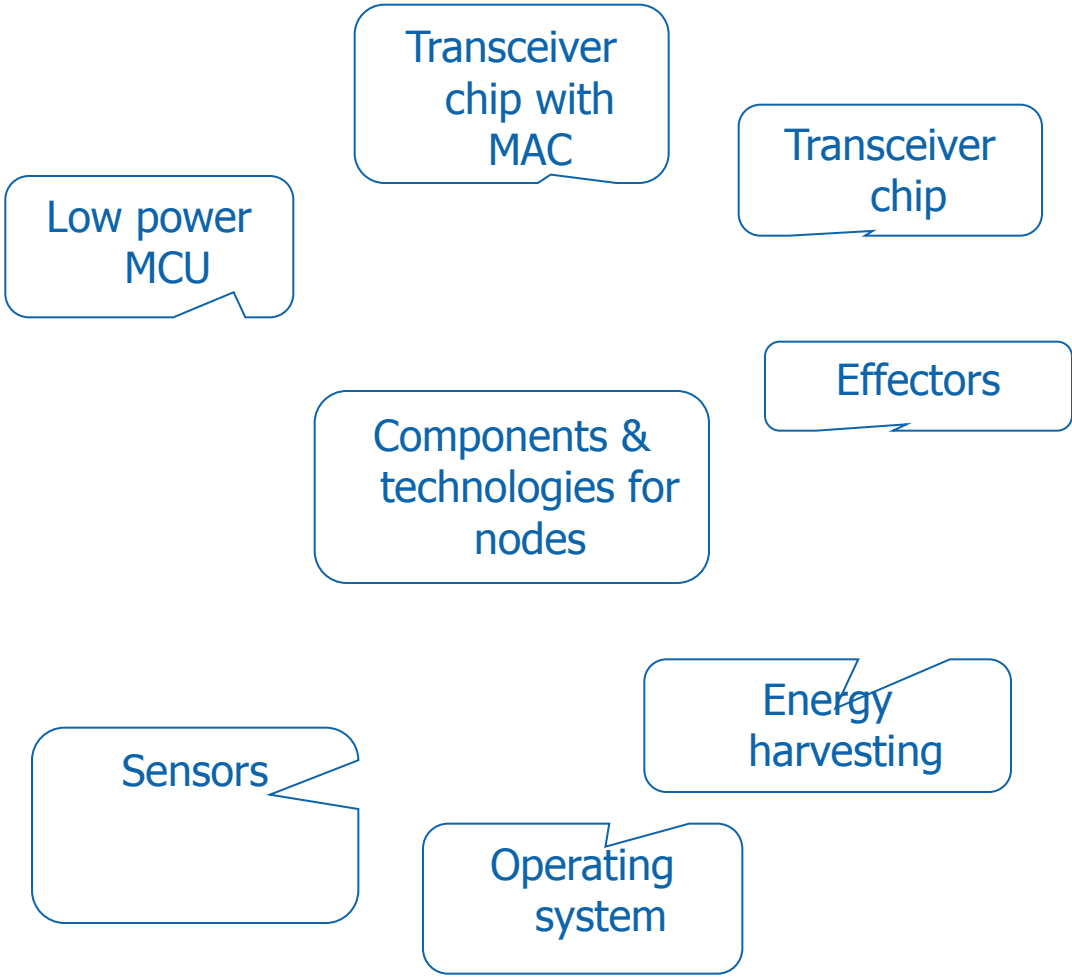
Узлы **RFD** с упрощенной функциональностью, они могут только передавать информацию полнофункциональным узлам (**FFD**) и не могут служить ретрансляторами

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 энерго-накопительные устройства (выделяющие энергию из физического окружения)
- Компоненты типового программного обеспечения, например, операционная система TinyOS (Berkley University)

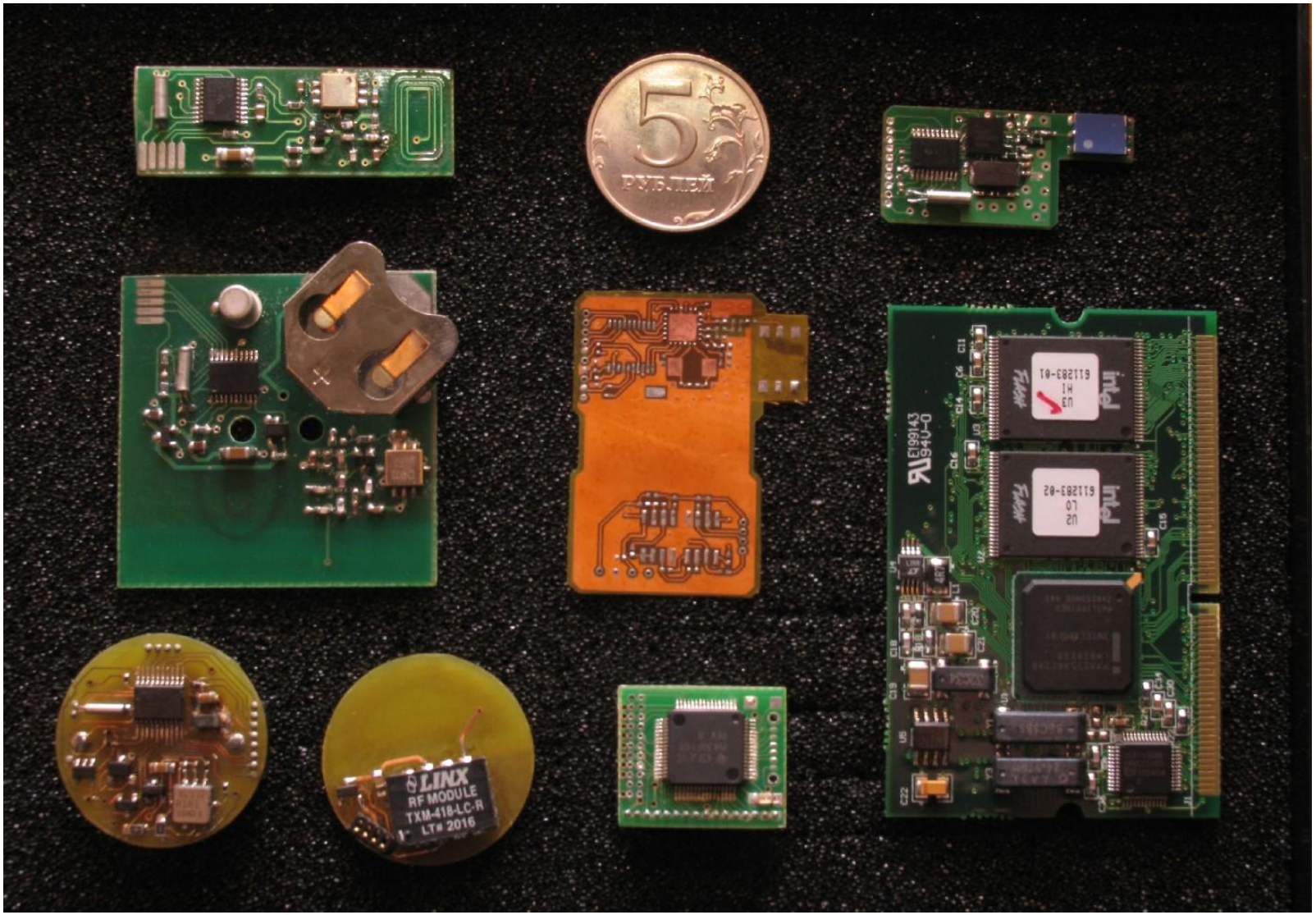


Платформа для сенсорной сети лаб. ОИТ

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

Набор сенсоров:

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

Имплантируемые 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:

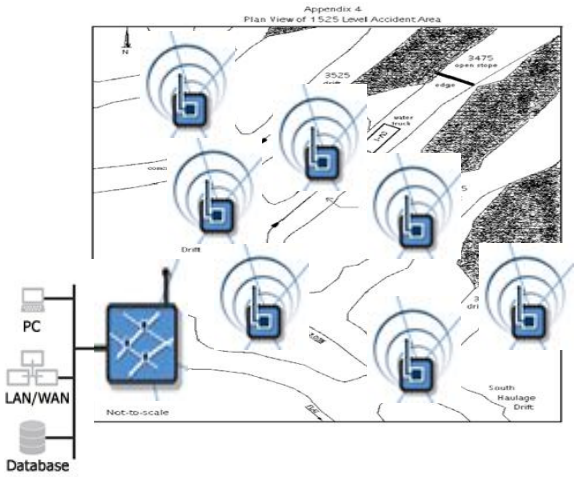
- 1 млн тонн угля = 1 жизнь шахтера
- на угольную отрасль приходится более 50% смертельных случаев в промышленности

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

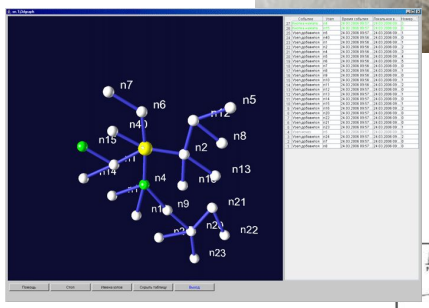
Датчики контроля требуемых параметров

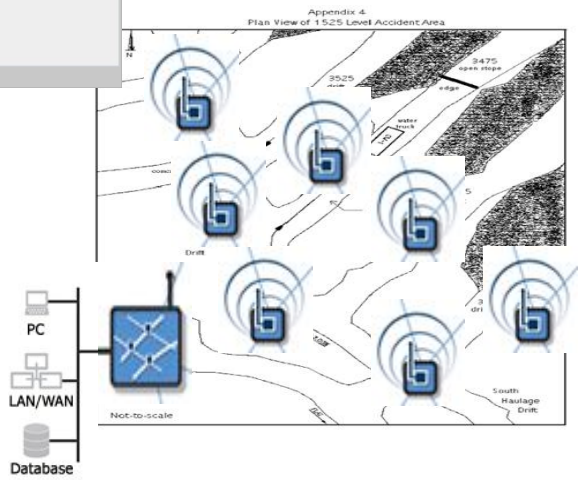
- CH_4, CO_2, O_2, CO
- вибрации
- магнитного поля
- температуры
- любые датчики, востребованные в предметной области

Автономные ретрансляторы

Концентратор

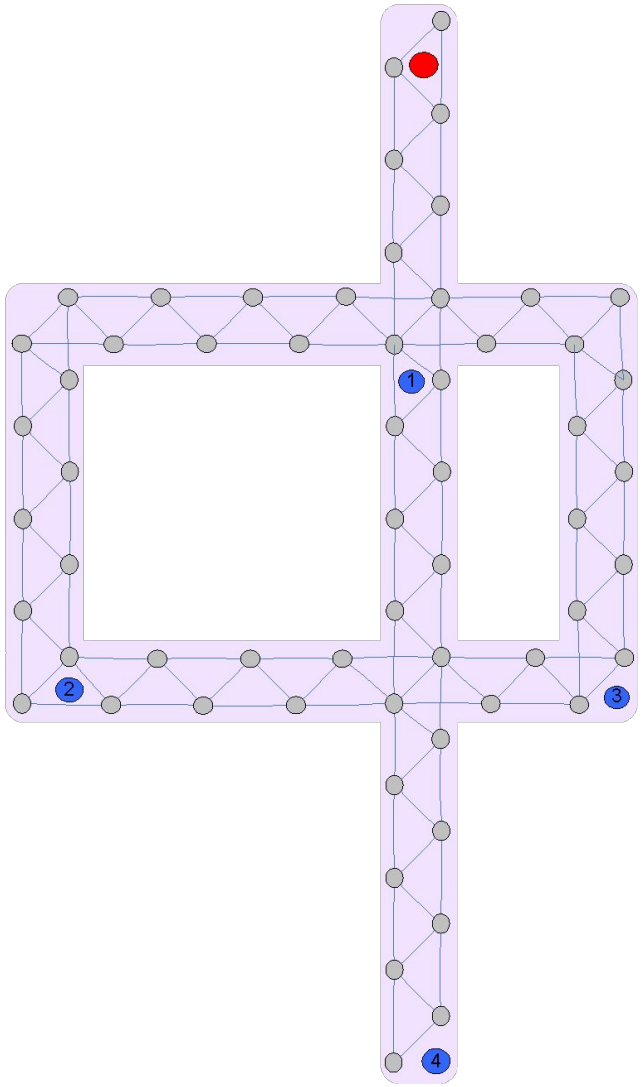
Система сбора и обработки информации





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 ni.

- TRi – область, в которой сила сигнала от узла ni достаточна для приемника

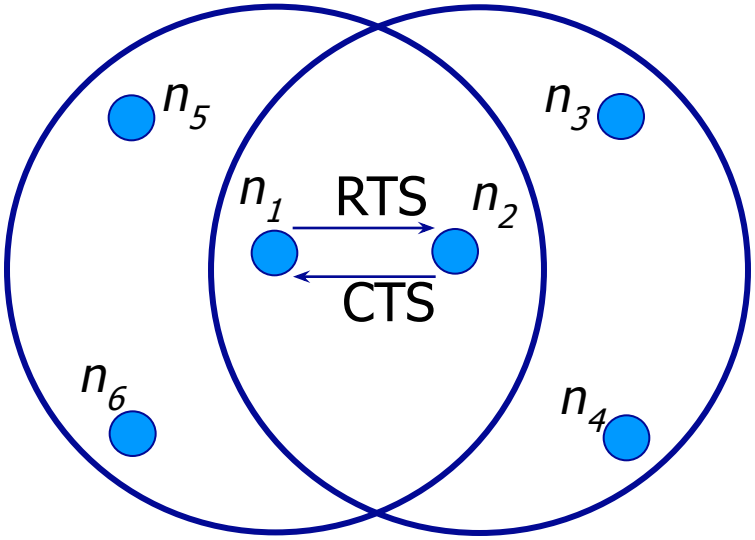


Fig. 1. **Область коллизий (CD)** для двух взаимодействующих узлов

Базовая модель

- Следующий сценарий описывает функционирование сети:
- n1 посылает n2 запрос на передачу (RTS в 802.11)
- n5 и n6 оба в области TR1, так что они молчат пока n1 не закончит передачу данных к n2
- n2 отвечает n1 с помощью подтверждения RTS (CTS в 802.11)
- n3 и n4 оба в области TR2, так что они молчал пока не закончит передачу n2 to n1
- Узлы n1, n2, n3, n4, n5, n6 в **области коллизий**

  CD (1,2) = TR1 U TR2

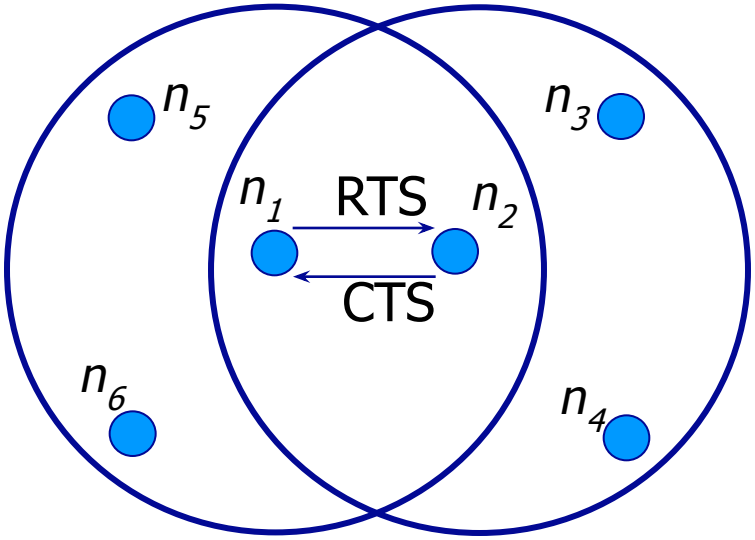


Рис. 1. Область коллизий двух узлов

Data Transmission Algebra (DTA-алгебра)

- - **Элементарная передача(ET)** обозначается как **(ni ~ nj)** – один щаг передачи от источника ni узлу назначения nj
- - Любой (ni ~ nj) соответствует CD(i,j)
- - Пусть A и B любые планы передачи
- - **<u>План передачи</u>** это некоторая **(ni ~ nj)** 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

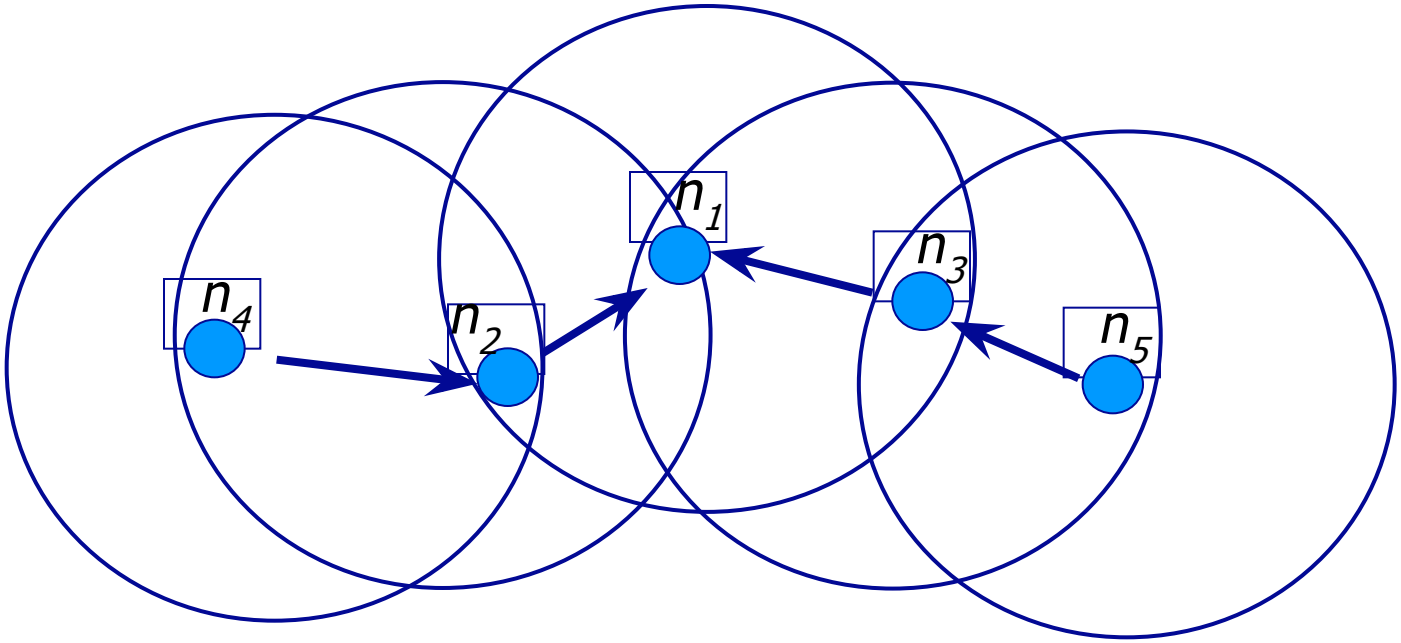


Рис. 2. Пример дерева запросов для запроса Q и DTA-спецификация

Исходные данные:

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

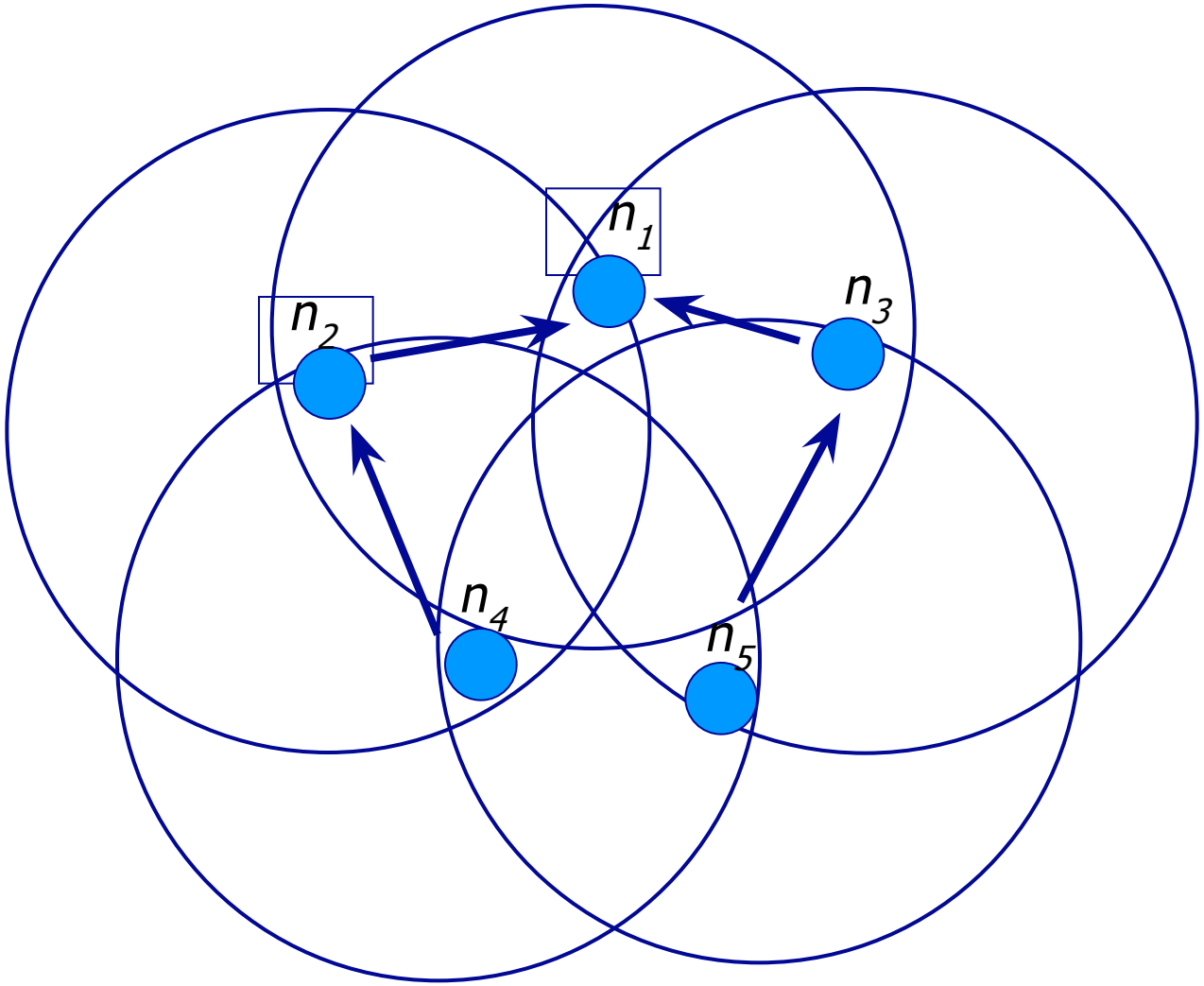
o ($n_4 \sim n_2$, $n_2 \sim n_1$)
o ($n_5 \sim n_3$, $n_3 \sim n_1$)

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

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:

$n_4 \sim n_2$
$n_2 \sim n_1$
$n_5 \sim n_3$
$n_3 \sim n_1$

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

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

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

Рис. 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:

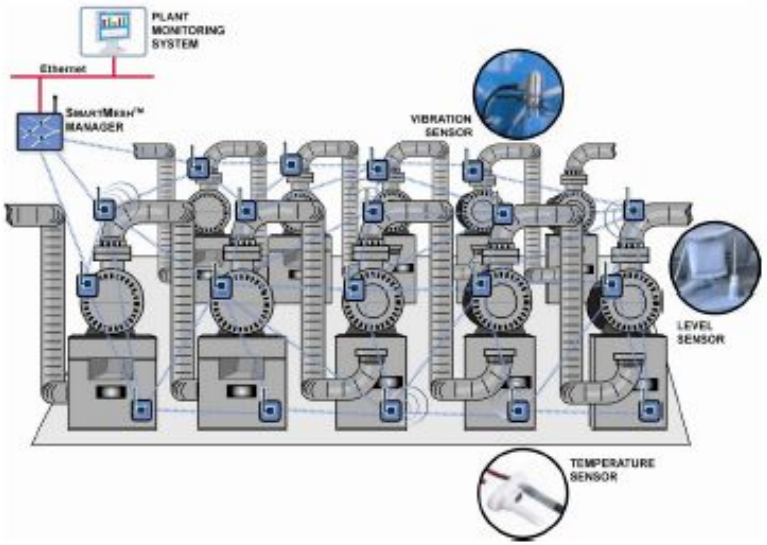
- Своевременная информация о быстро развивающихся дефектах
- Экономия на прокладке взрывозащищенных линий
- Легкая установка с минимальным временем простоя контролируемого агрегата

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

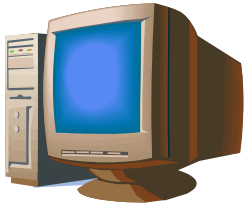
Результат:

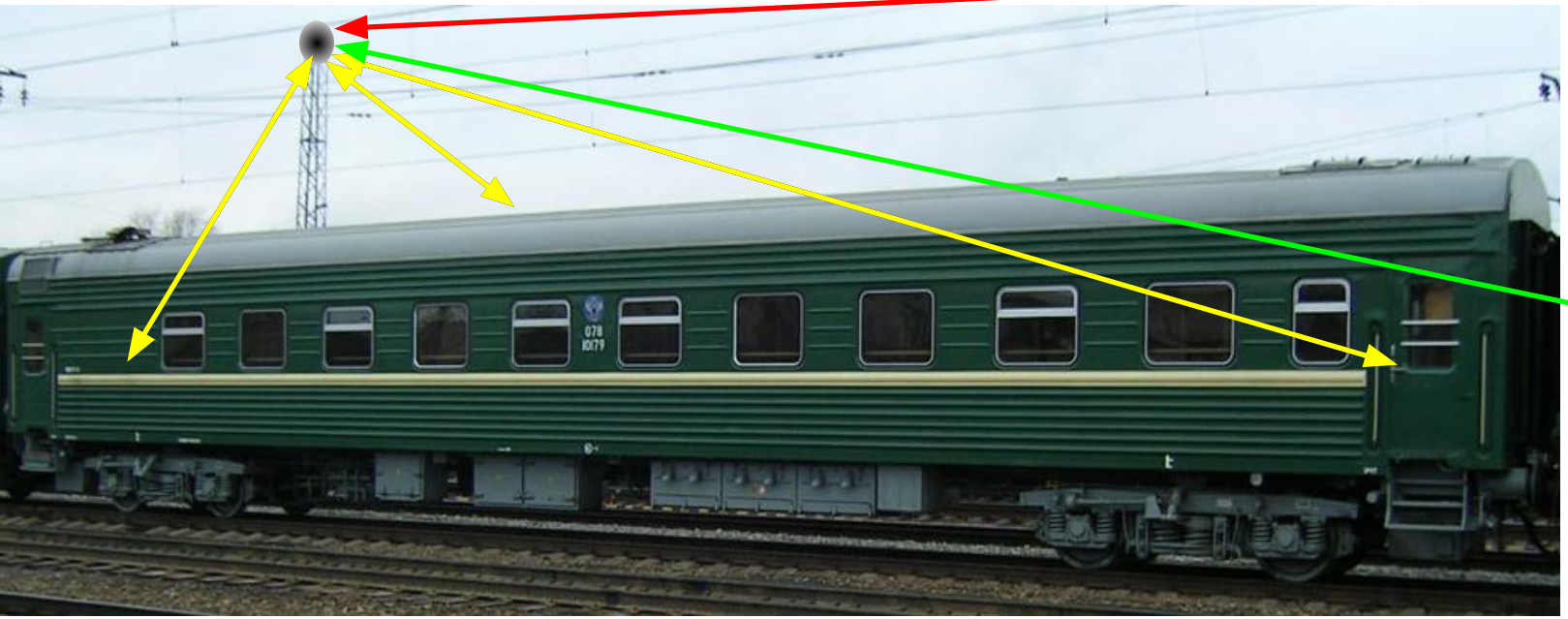
- Контроль перемещения и следования вагонов и контейнеров через пункты
- Технический контроль подвижного состава
- Контроль параметров и сохранности груза (!!!)
- Контроль действий обслуживающего персонала

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 In. Conf. on Computer Communication and Networks, v. 3, October 2000, pp. 1521–1529
3) Bonnet P., Gehrke J., Seshadri P. Towads 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