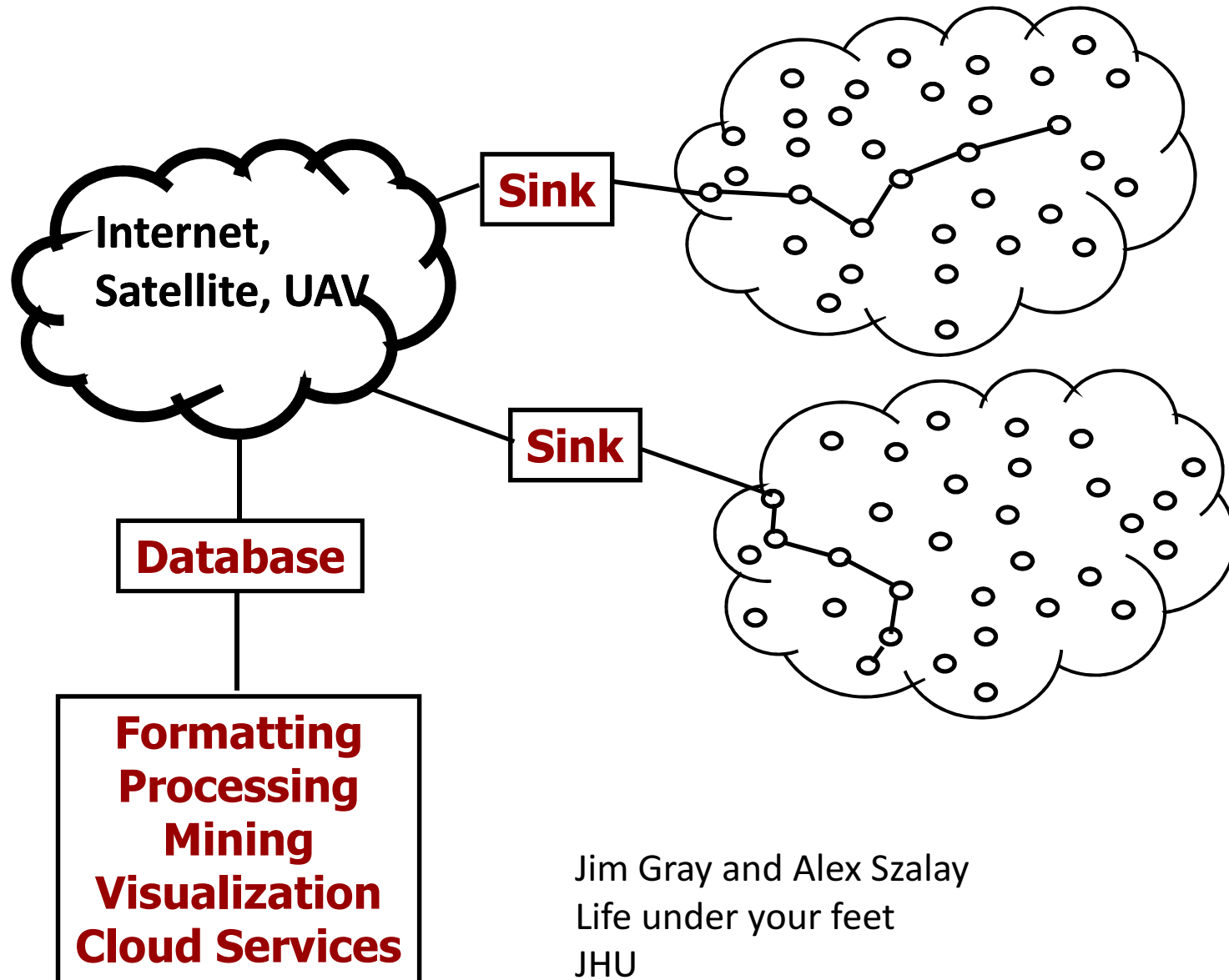


# Вычисление в беспроводных сенсорных сетях

Пойда Алексей  
ИКИ РАН



# Sensor networks architecture



Jim Gray and Alex Szalay  
Life under your feet  
JHU

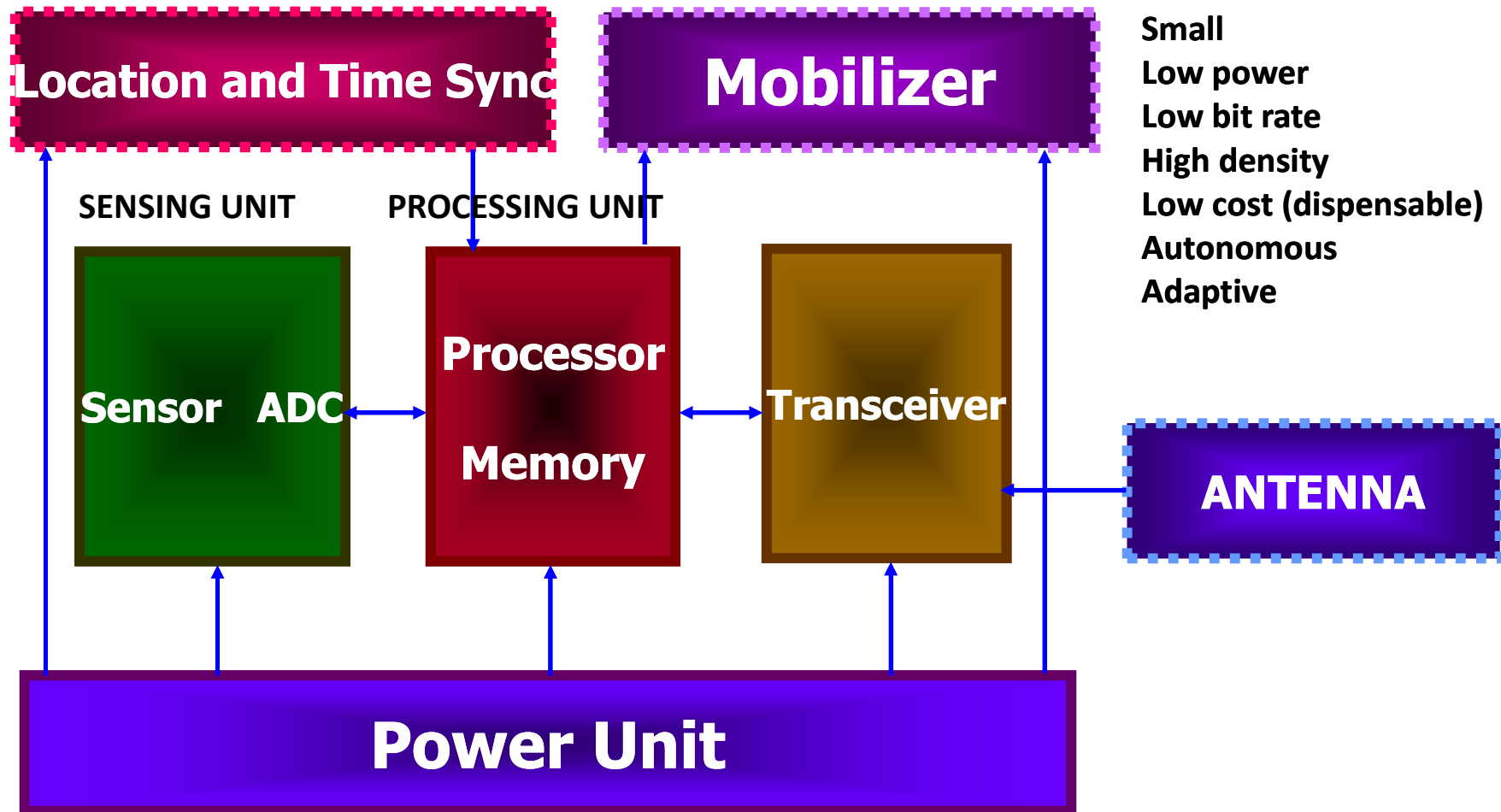
# Wireless Sensor Networks (WSN)

- A WSN can consist of 10 to 1000 of sensor nodes (motes) that communicate through wireless channels for information sharing and cooperative processing
- With low-power circuit and networking a mote powered by 2 AA batteries can last for 3 years with a 1% low duty cycle working mode
- After the initial deployment (ad-hoc), motes are responsible for self-organizing into a network with multi-hop connections
- The onboard sensors then start collecting acoustic, seismic, infrared or magnetic information about the environment, using either continuous or event driven working modes
- Location and positioning information can also be obtained through the global positioning system (GPS) or local positioning algorithms
- The basic philosophy behind WSNs is that, while the capability of each individual sensor node is limited, the aggregate power of the entire network is sufficient for the required mission

# Difference from ad-hoc networks

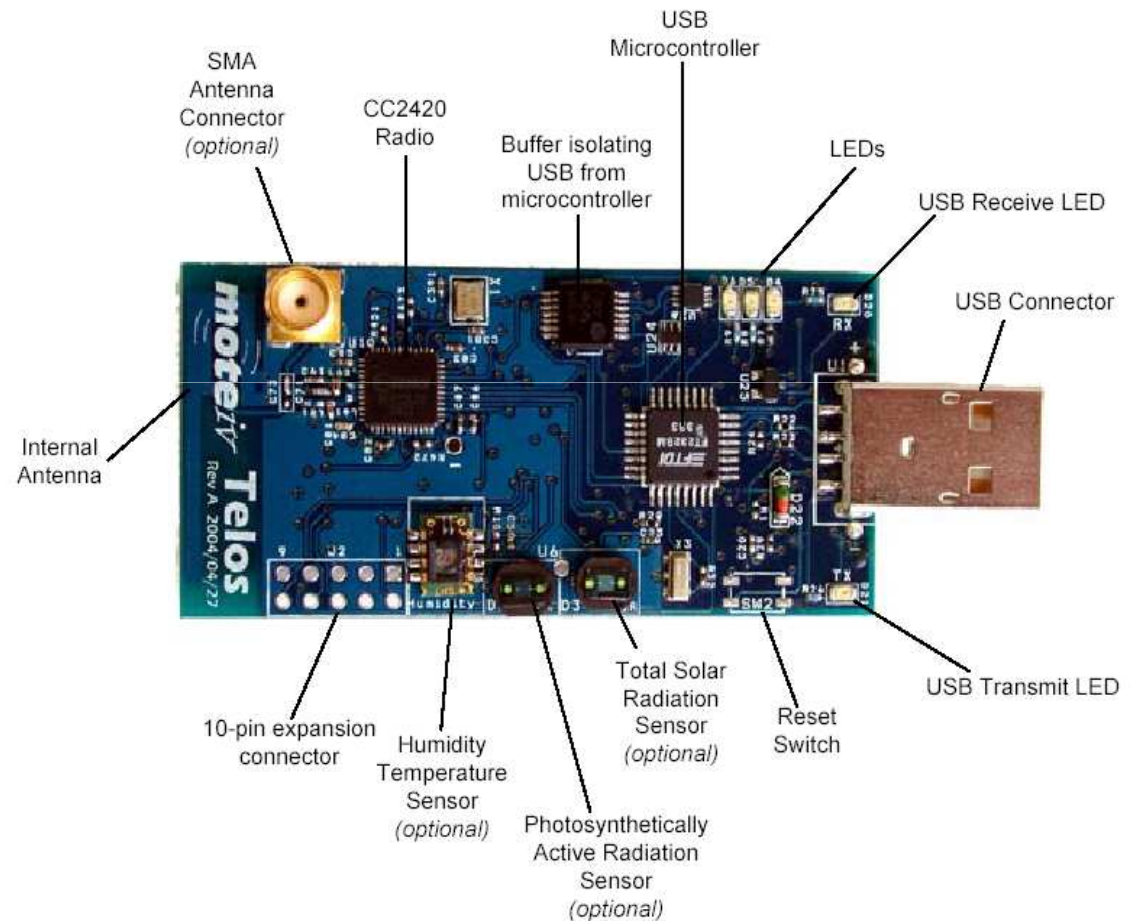
- Number of sensor nodes can be several orders of magnitude higher
- Sensor nodes are densely deployed and are prone to failures
- The topology of a sensor network may change frequently due to node failure and node mobility
- Ad-hoc network cables are prone to environmental impact such as lightning
- Sensor nodes are limited in power, computational capacities, and memory
- May not have global ID like IP address
- Need tight integration with sensing tasks

# Sensor network node



# Telos platform

- Robust
  - USB interface
  - Integrated antenna (30m-125m)
  - External antenna capable (~500m)
- High Performance
  - 10kB RAM, 48 KB ROM
  - 12-bit ADC and DAC
  - Hardware link-layer encryption
- Processor:
  - TI MSP430 (16bit) @8MHz
  - 6 $\mu$ A sleep
  - 460 $\mu$ A active
  - 1.8V operation
- Radio:
  - IEEE 802.15.4
  - CC2420 radio
  - 250kbps
  - 2.4GHz ISM band



# Evolution of Telos platform



**~2x External Flash Memory (16Mbit vs. 8Mbit)**

## Sensors

3-axis digital accelerometer and temperature sensor vs. light, temperature and humidity sensors. Ziglet sensors product-line under development.

## 2<sup>nd</sup> generation MSP430

~50% less power consumption in stand-by and off-mode

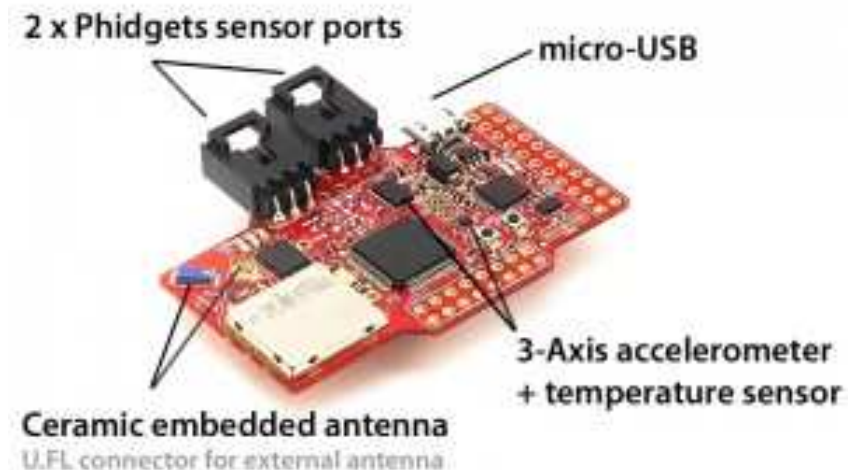
faster wake-up: 1 $\mu$ s vs. 6 $\mu$ s

2x speed (16MHz vs. 8MHz),

~2x Flash (92KB vs. 48KB),

8KB vs. 10KB RAM

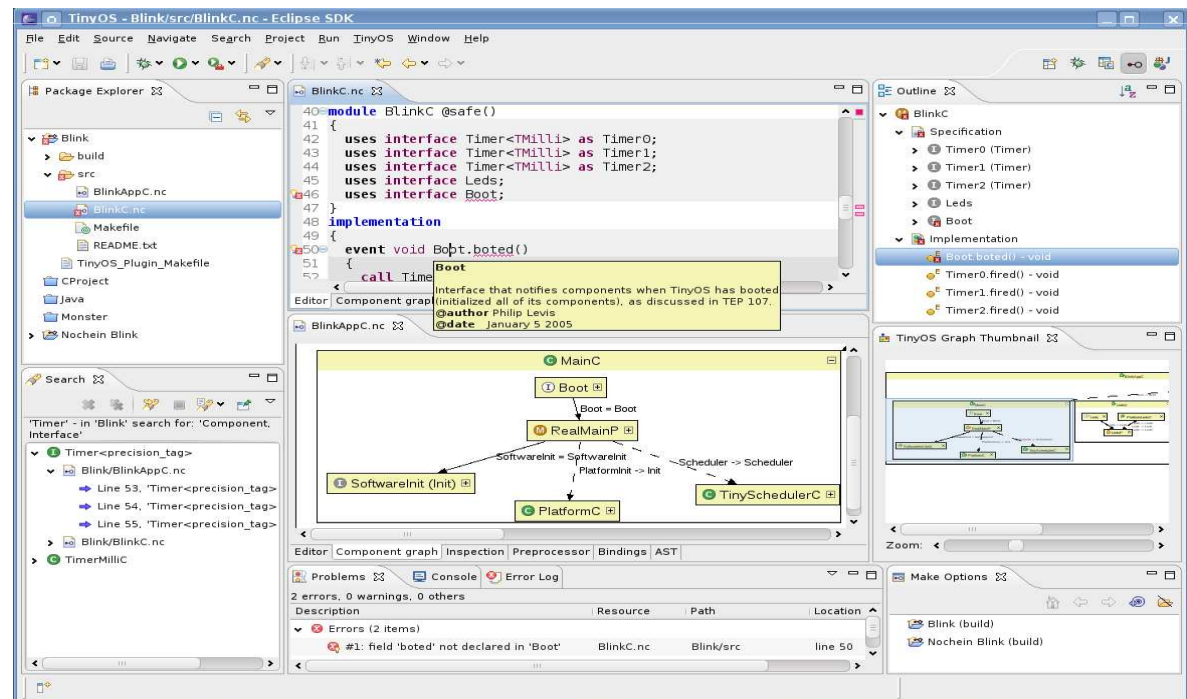
Programmable internal pull-ups.





# Development system

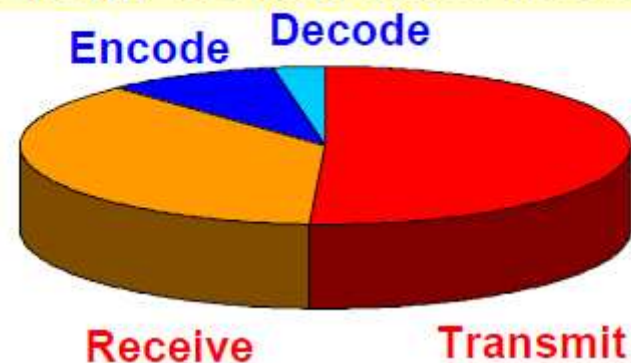
- Virtual Machine: Ubuntu 9.10 in VirtualBox
- TinyOS 2.1.1 synchronized with CVS repository
- Eclipse IDE with YETI 2 plugin for TinyOS



# Power consumption

- Need long lifetime with battery operation
  - No infrastructure, high deployment & replenishment costs
- Challenges
  - Energy to wirelessly transport bits is  $\sim$ constant (Shannon, Maxwell)
  - Fundamental limit on ADC speed\*resolution/power
  - No Moore's law for battery technology  $\sim$  5%/year
- How is power consumed
  - CPU (Moor's law!)
  - Radio

Energy breakdown for acoustic



# WSN applications

- **CLASS 1: Data collection**
  - Entity monitoring with limited signal processing in a relatively simple form, such as temperature and humidity
  - Sampling period from days to minutes
  - Environmental monitoring and habitat study
- **CLASS 2: Computationally intensive**
  - Require processing and transportation of large volumes of complex data
  - 10 Hz – 100 KHz sampling frequency
  - Seismic, industrial monitoring and video surveillance

# Система KOALA: ultra-low power data retrieval in wireless sensor networks

- Проект разработан в университете Джона Хопкинса
- Система с низким потреблением энергии, предназначена для долгих наблюдений параметров окружающей среды (с частотой от нескольких замеров в минуту до нескольких замеров в день)
- Flexible control protocol (динамически строящаяся таблица маршрутов) позволяет экономить энергию
- Механизм low power probing нацелен на эффективный перевод узлов из режима сна в режим активной передачи

# KOALA: общая схема работы

- Моты с измерительными сенсорами установлены на местности, базовая станция подключена к USB-порту компьютера.
- Каждый мот обслуживает свои сенсоры, собирая с них информацию с предварительно заданной частотой и сохраняя во flash память.
- По требованию оператора с компьютера (работа ведется через операционную систему TinyOS) базовая станция рассылает всем мотам сигнал об активизации (LPP механизм), устанавливает маршруты скачивания данных (FCP протокол), собирает данные в сыром виде, сохраняя на диск

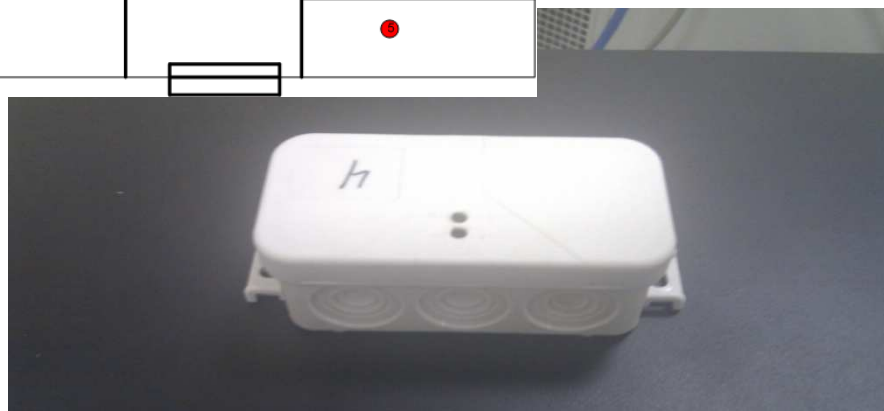
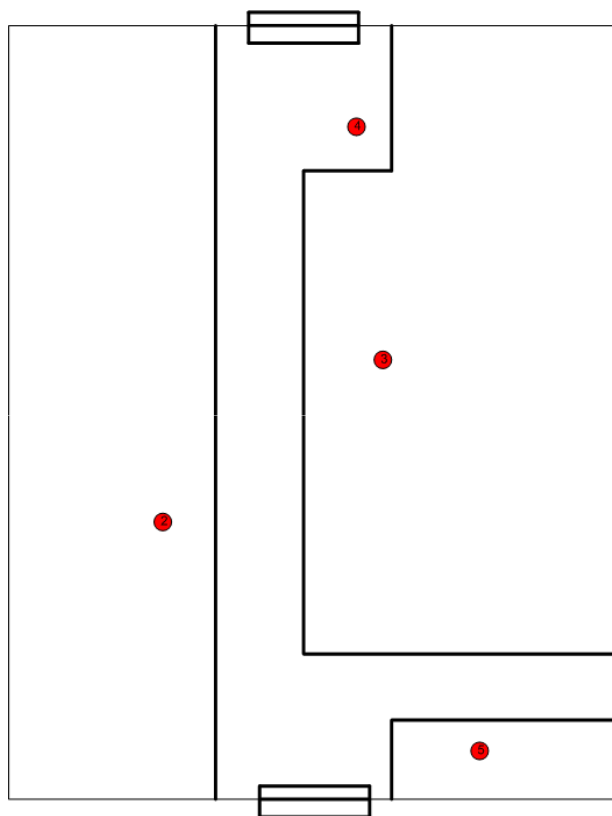
# Наработки ИКИ РАН

- Разработали внешние сенсоры:
  - Инфразвук
  - Термопары
  - Магнитометр
  - Акселерометр
- Разработали систему сбора «медленных» данных:
  - ПО для сенсоров на базе KOALA
  - Скрипты для предварительной обработки данных с сенсоров и загрузки в базу данных
  - База данных и веб-приложение (фронтенд) для выборки и визуализации
- Разработали технологию детектирования событий в «быстрых» потоках данных

# Мониторинг окружающей среды в вычислительном центре ИКИ РАН

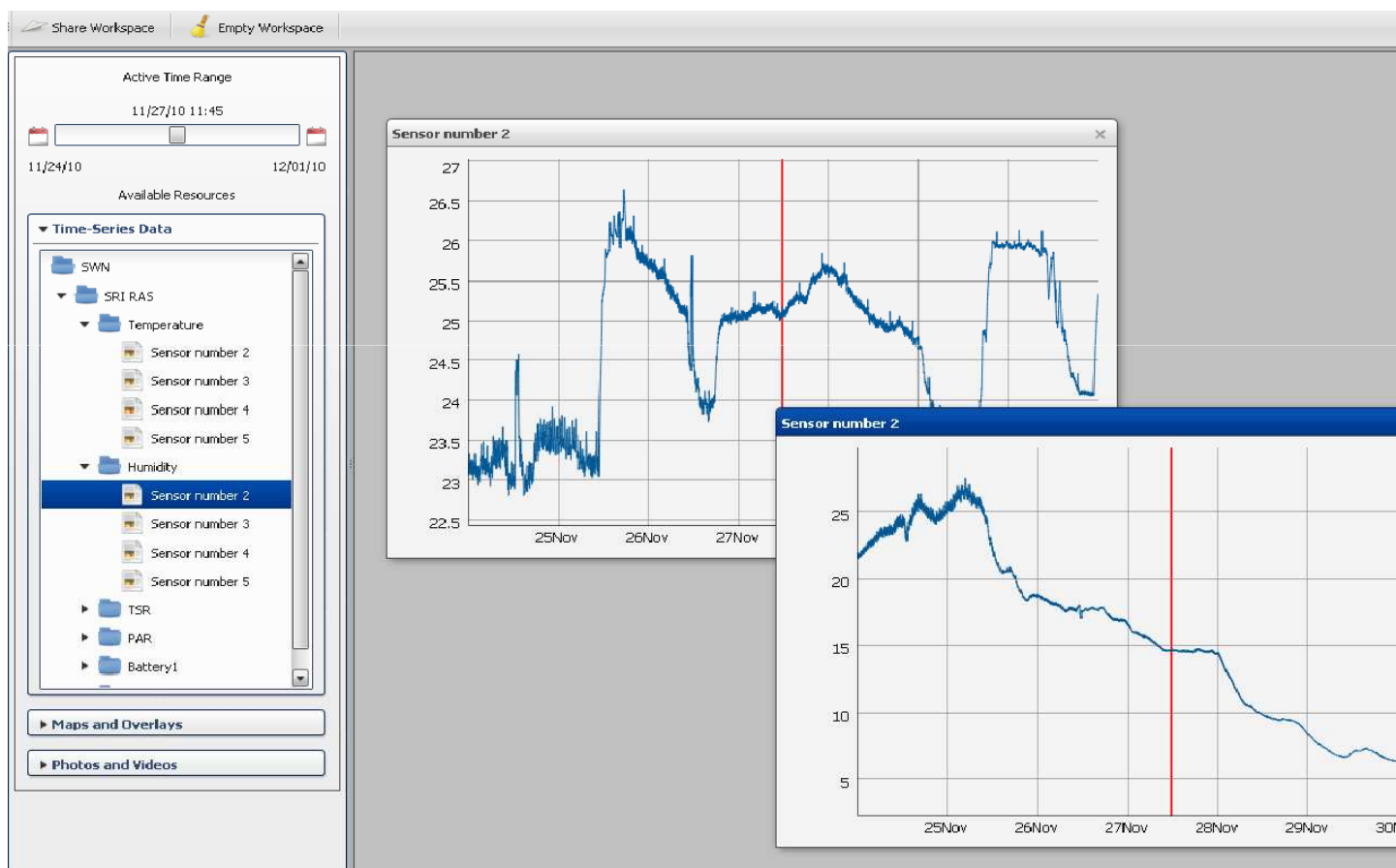
- 5 мотов со стандартным набором сенсоров
- Данные скачивались нерегулярно, с интервалами от 2 до 7 дней.
- Результаты сохранялись в сыром специфическом виде в локальном файле в виртуальной машине.
- Сырые данные переформатировались в числовой формат.
- Данные в числовом формате загружались в удаленную базу данных MySQL, откуда они могут быть запрошены системой визуализации. Кроме того данные из числового формата могут быть преобразованы в CSV формат и отображены, например, в приложении MS Excel

# Эксперимент в вычислительном центре ИКИ РАН





# Визуализация данных с сенсоров

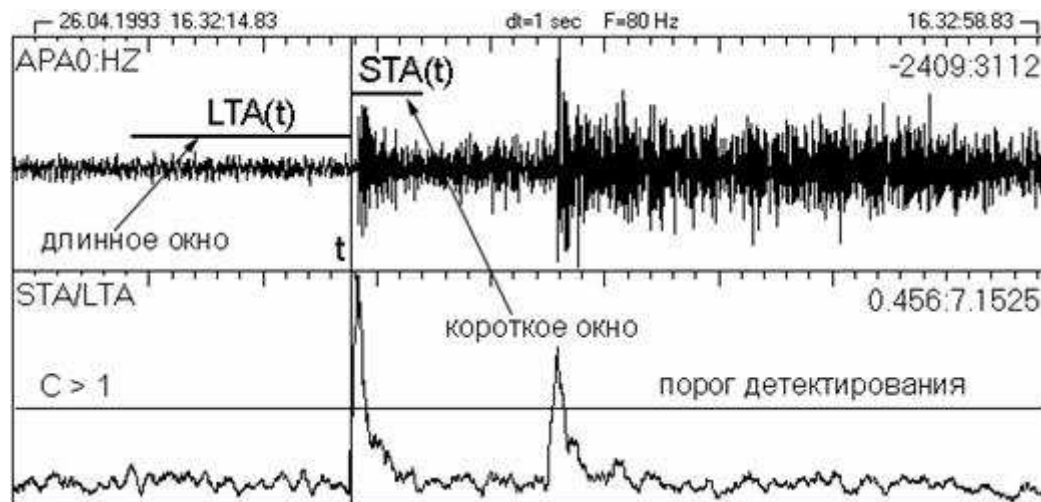


# Статистика

- начало эксперимента: 03.11.2010
- окончание эксперимента: 07.12.2010
- падение заряда батареек: в среднем упал с заряда 3,2 до 3 (здесь стоит отметить агрессивную среду, периодическое прерывание каналов и неоптимальный аппарат системы скачивания данных Koala, требующих больших накладных расходов при потере связи)
- скорость опроса сети: в зависимости от удаления сенсора и количества посредников в мультихоповом пути, но в среднем на скачивание данных с одного мота, полученных за сутки (2880 байт) тратится минута.
- скорость LPP протокола: по умолчанию, на то, чтобы разбудить моты, управляющему моту давалось полторы минуты, но реально приведение сети в готовность происходила за 10-20 секунд.
- Нет потерянных данных при успешной передаче
- Поддержка связи на расстоянии порядка 10-20 метров через препятствия (стены) и в условиях постоянных помех от аппаратуры
- За более чем месяц эксперимента не потребовалось техническое обслуживание ни одному моту
- К негативным сторонам следует отнести высокие накладные расходы, связанные с разрывом виртуального канала передачи данных, а также довольно низкую скорость передачи данных.

# Обработка высокочастотных данных

- Требуется обработать данных больше чем лимитирует пропускная способность сети
- Используем детектирование событий



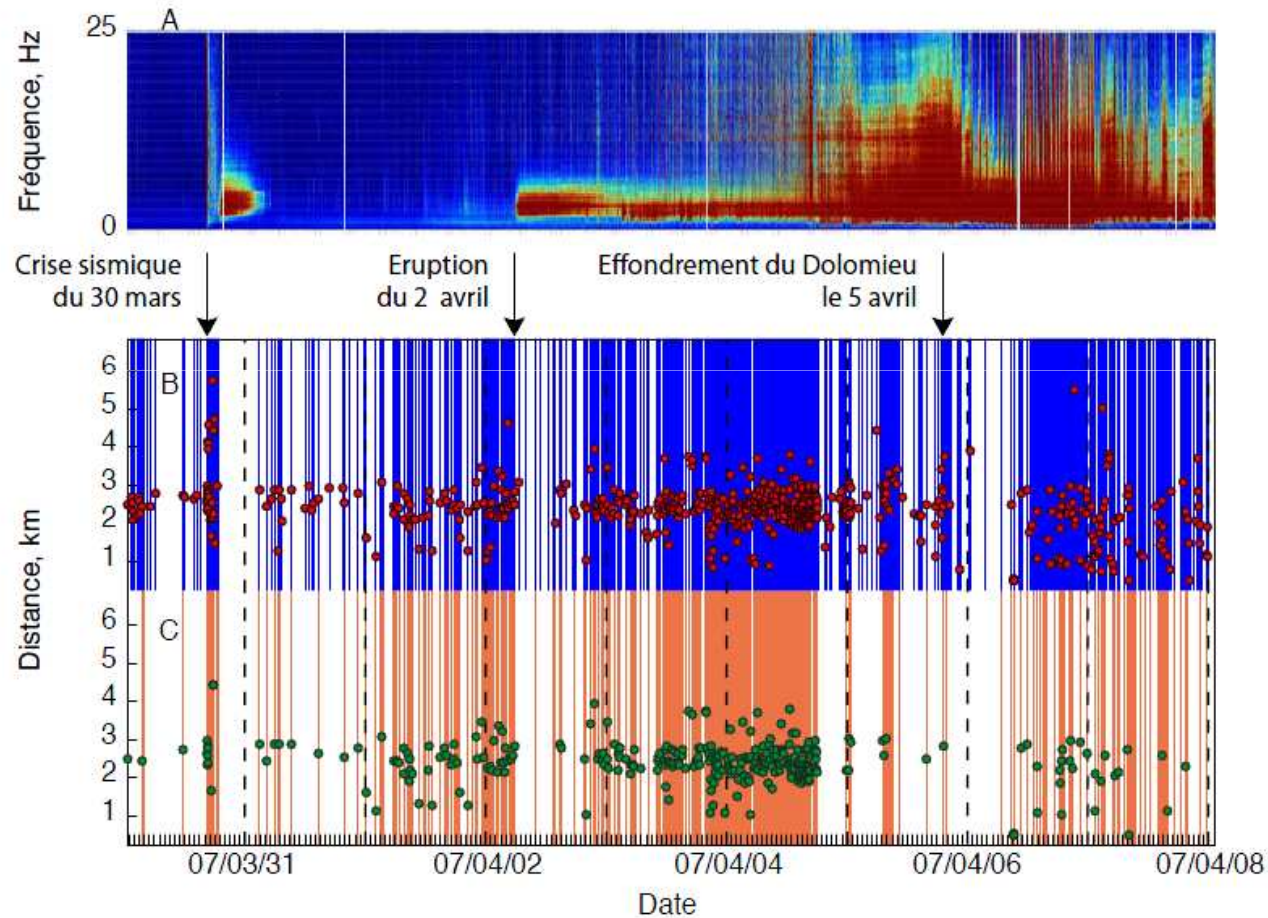
# Другие проблемы, решаемые при построении WSN

Назначение новой задачи по контролю объекта, исходя из его местоположения и требования минимальной нагрузки сети

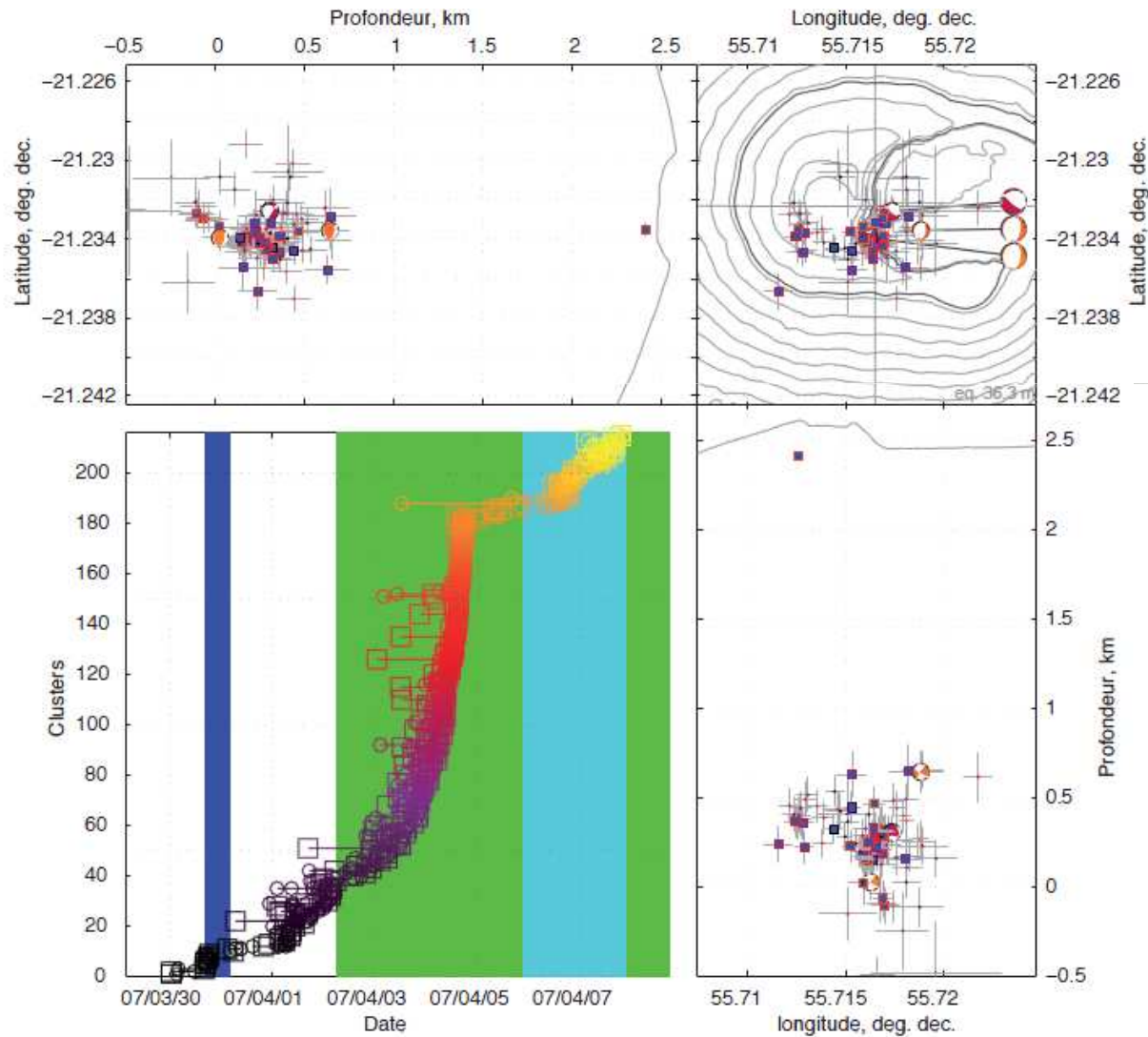
Сжатие данных и контроль передаваемого трафика

Выбор стратегии при вычислениях, в которых задействовано несколько узлов (с одной стороны требуется обмен данными, с другой – требуется затраты батарей на пересылку)

# Automatic vs. manual seismic event detection Piton de la Fournaise volcano

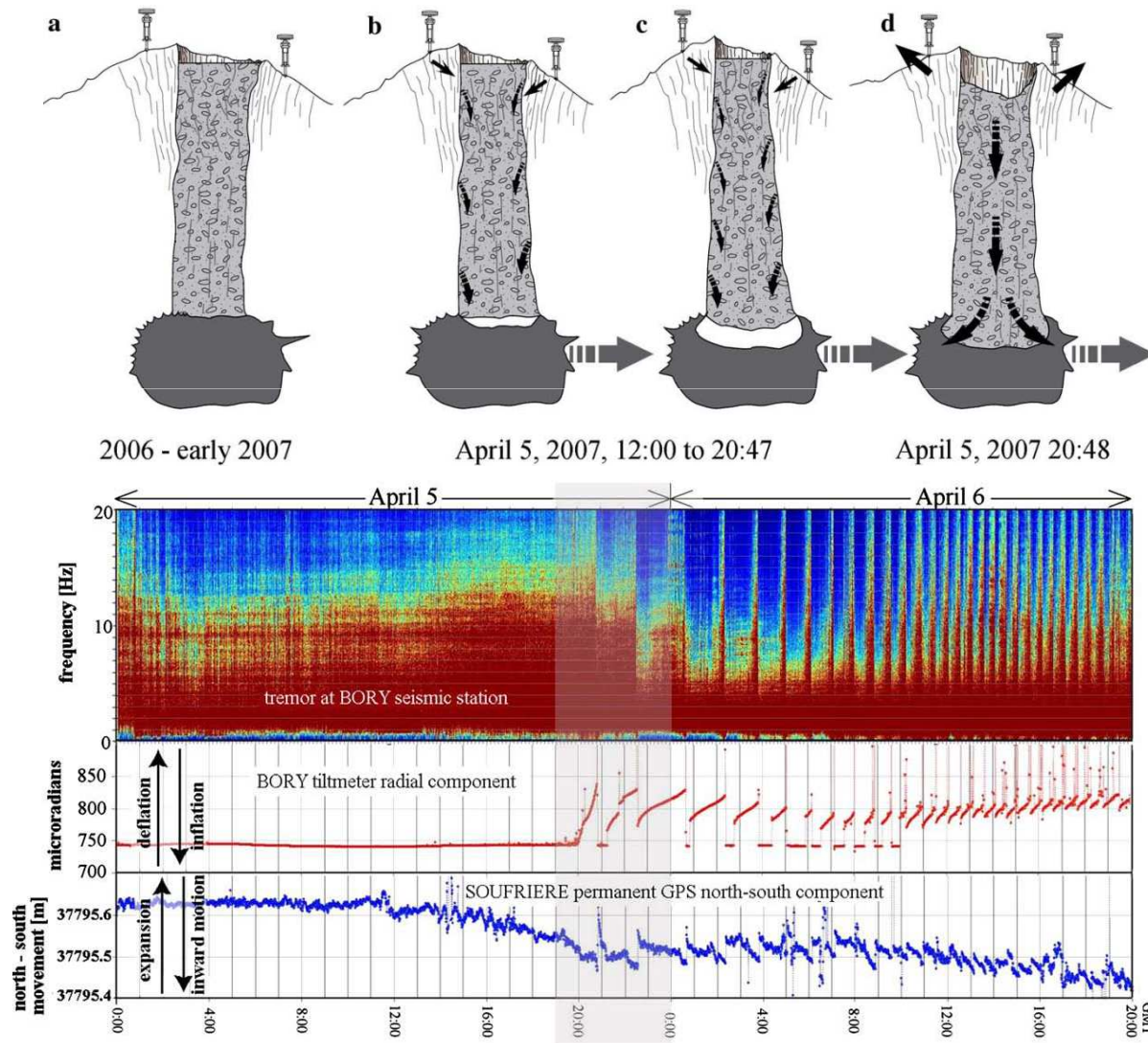


# Spatio-temporal clustering of seismic waveforms



Advanced Land Imager (ALI) on NASA's Earth Observing-1 satellite captured this image of Piton de la Fournaise on January 16, 2009

# The April 2007 eruption and the Dolomieu crater collapse, two major events at Piton de la Fournaise



# Piton de la Fournaise eruption January 2, 2010





# Иерархическая беспроводная сеть



## Remote Access

Web GUI Management	<input checked="" type="radio"/> Enable <input type="radio"/> Disable	
Use HTTPS	<input type="checkbox"/>	
Web GUI Port	<input type="text" value="8080"/>	(Default: 8080, Range: 1 - 65535)
SSH Management	<input checked="" type="radio"/> Enable <input type="radio"/> Disable	
SSH Remote Port	<input type="text" value="22"/>	(Default: 22, Range: 1 - 65535)
Telnet Management	<input type="radio"/> Enable <input checked="" type="radio"/> Disable	
Allow Any Remote IP	<input checked="" type="radio"/> Enable <input type="radio"/> Disable	

## JFFS2 Support

JFFS2	<input checked="" type="radio"/> Enable <input type="radio"/> Disable
Clean JFFS2	<input type="radio"/> Enable <input checked="" type="radio"/> Disable
Total / Free Size	576.00 KB / 176.00 KB

# Направление дальнейшей работы

- Разработка эффективного программного аппарата учета топологии.
- Разработка пространственно-временных распределенных алгоритмов детектирования событий на узлах без передачи данных на центральную базу.
- Разработка системы ответного воздействия для конкретных систем (пример: управление системами орошения в сельском хозяйстве)
- Построение интерактивной системы визуализации данных с возможностью отображения на многодисплейных видеостенах и удаленного перепрограммирования сенсоров (моты последнего поколения предоставляют подобную возможность)