



Tecnologia de Redes de Sensores Sem Fio

Dr. Sergio Takeo Kofuji

MSc. Ruslaine B. Andrade

kofuji,ruslaine{@lsi.usp.br}

Grupo de Computação Pervasiva e GRID

Maio, 2003



Sumário

- Introdução
- Características de Redes Sensores
- Arquitetura de um Nó Sensor
- Arquitetura de Comunicação
- Berkeley MOTES
- Conclusão
- Referências Bibliográficas



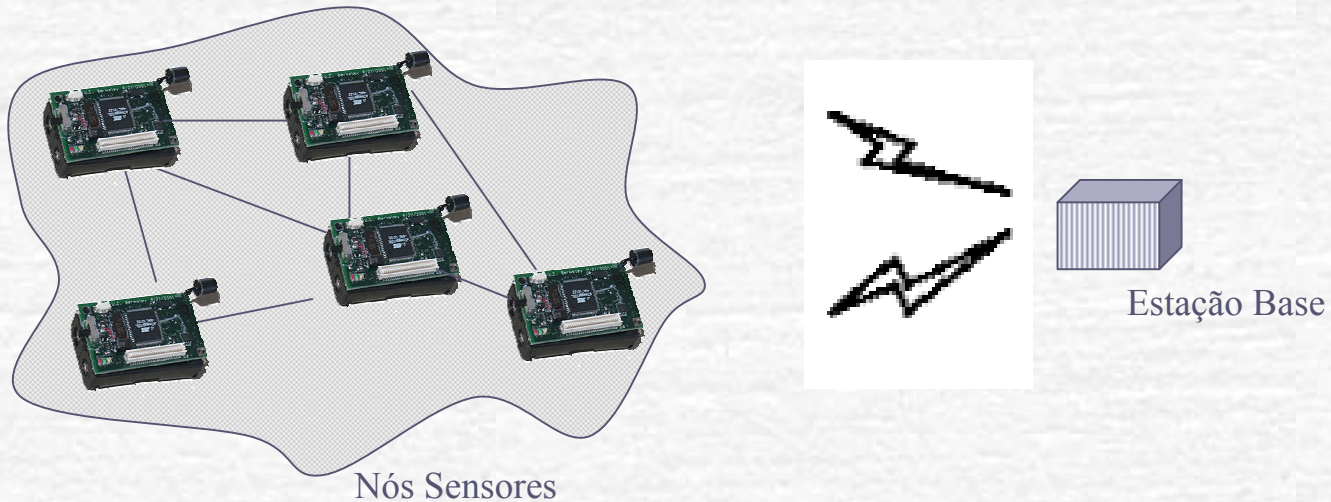
Introdução



- Sensor é um dispositivo que mede características do ambiente (umidade, temperatura, altitude, pressão, etc)
- Redes sensores é um conjunto de sensores que monitoram e transmitem informações a uma central

Conceitos

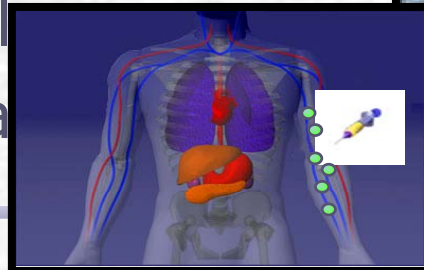
- Uma Rede sensor sem fio consiste de estação base e um número de nós sensores



Áreas de Aplicação para Redes Sensores

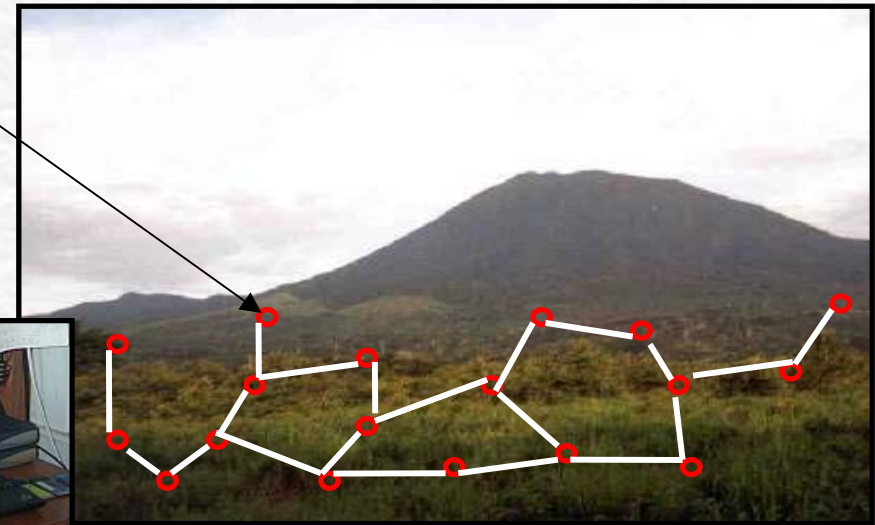
Considerado uma importante área de aplicação para redes sem fio:

- Militar
- Médica
- Comercial
- Industrial
- Ambiental



Terminologia

- ☛ Sensor: O dispositivo
- ☛ Observador:
Usuário/Computador



- ☛ Fenômeno: Entidade de interesse para observação



Características de Rede de Sensores



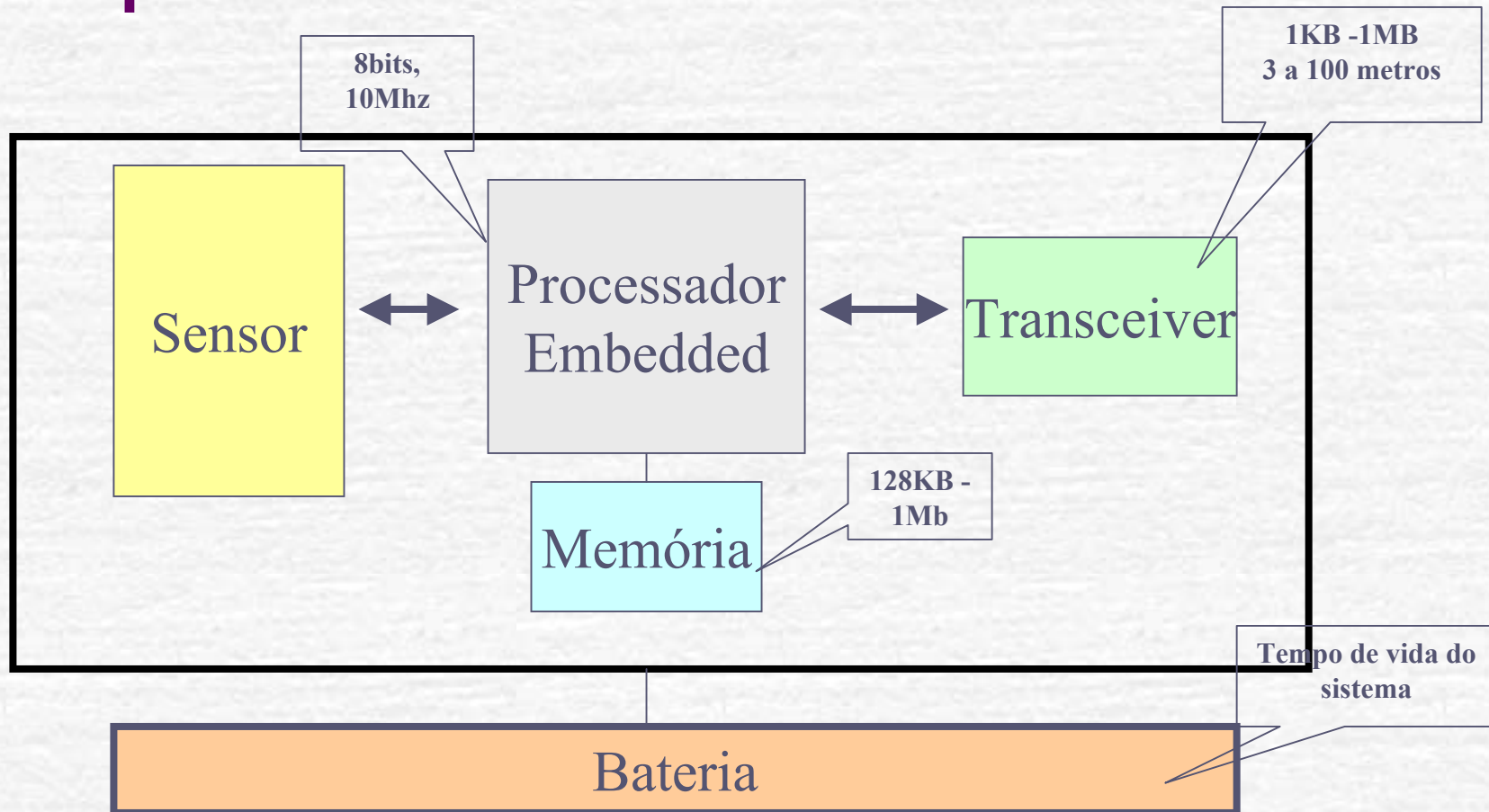
Características de Redes Sensores

- Um grande número de pequenos nós sensores multifuncionais, baixa potência e custo baixo
- Os nós sensores consiste de: sensor, processamento de dados, e componentes de comunicação
- Esforço colaborativo de um grande número de nós
- Principal implicação, consumo de potência

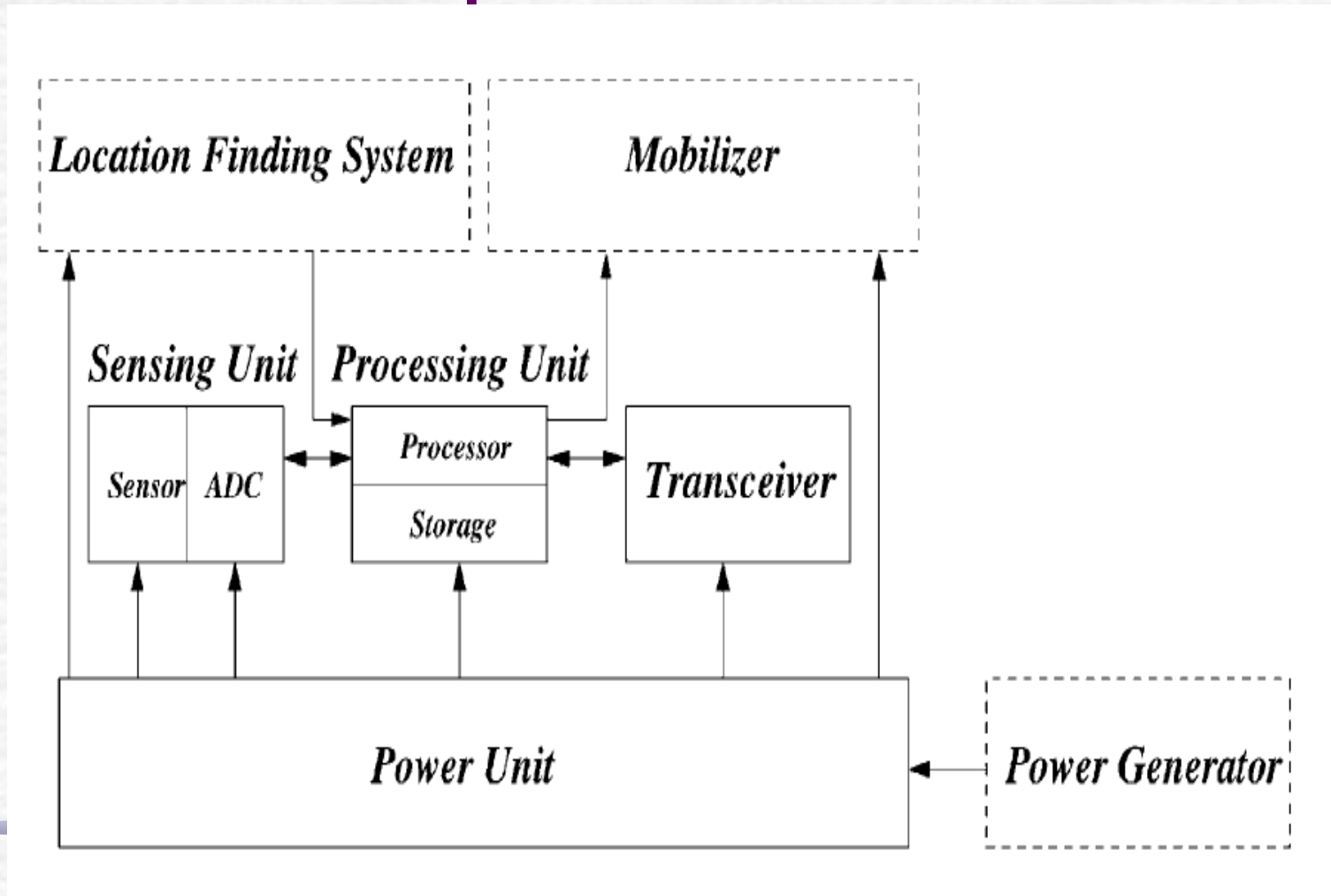


Arquitetura de um Nó Sensor

Arquitetura de um Nó Sensor

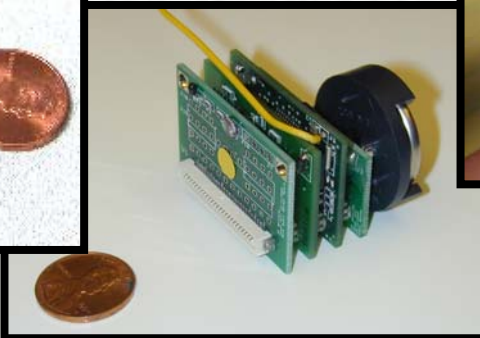
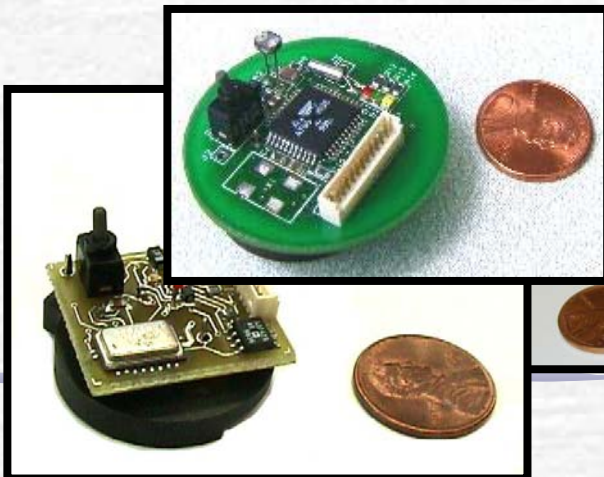
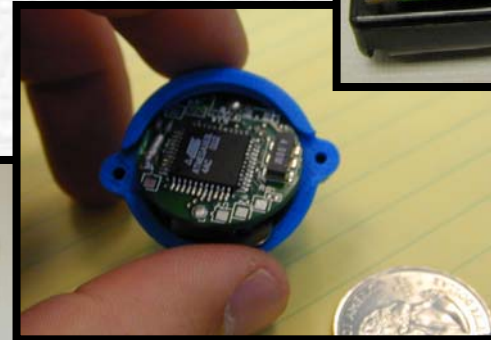
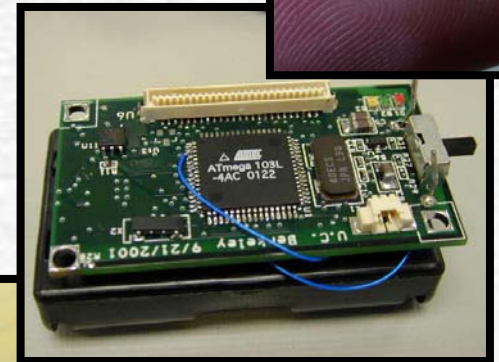
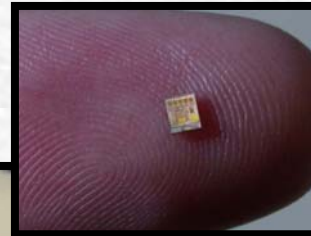


Arquitetura - II



Dispositivos Sensores

- MICA
- DOT3
- Motes
- COST Dust



Fatores de Projeto de Rede Sensores

- ✓ **Tolerância a falhas**
- ✓ **Escalabilidade**
- ✓ **Custo de produção**
- ✓ Limitações de hardware
- ✓ **Topologia**
- ✓ Latência e Precisão
- ✓ Ambiente
- ✓ **Meio de transmissão**
- ✓ Consumo de potência/Tempo de vida do sistema

Tolerância a falhas:

- ☞ Falhas nos nós não devem afetar a rede

Escalabilidade:

- ☞ O sistema deve ser escalável suficiente para trabalhar com um grande número de nós (100's ou 1000's)

Custo de produção:

- ☞ O custo dos nós sensores é um papel muito importante (< US\$1.00 ?...)

Topologia

- Os nós sensores são autônomos: a manutenção da topologia torna-se um desafio.
- Nós sensores são densamente esparramados sobre uma região

Meio de Transmissão

- ☞ Sensores multihop são conectadas pelo meio sem fio:
 - Rádio Frequência (RF)
 - Infrared (IR)
 - Meio Optico
- ☞ Requer-se: Transceivers pequenos, de baixo custo e baixo consumo de energia
- ☞ A maioria dos hardwares para sensores é baseado em RF
- ☞ Smart Dust utiliza meio óptico para transmissão
- ☞ Escolha do Meio: depende da aplicação.

☞ Rádio

- Opção: banda ISM
- Vantagens do ISM: banda livre, globalmente disponível
- Desvantagens: limitação de potência e suscetibilidade a interferência com outras aplicações existentes

☞ Infravermelho

- Vantagens: faixa livre, robustez a interferencia elétrica
- Desvantagens: visada direta

Óptico

- Utilizado no “Smart dust mote”
- Dois esquemas de transmissão:
 - Passiva, usando “corner-cube retroreflector” (CCR)
 - Ativa, usando diodo laser e espelho “steerable”

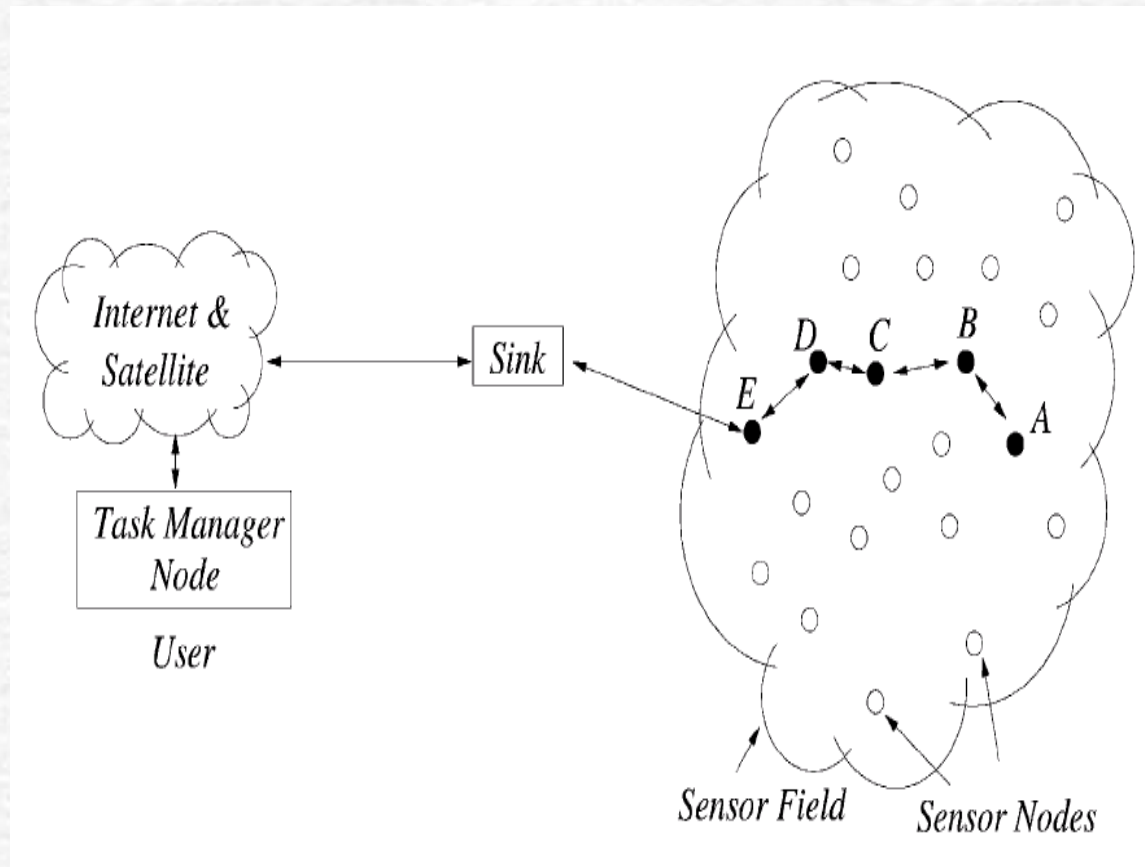
Consumo de Potência

- Fonte de energia limitada (<0.5 Ah, 1.2V – consumido pelo sistema)
- Tempo de vida dos nós sensores limitado – depende da bateria
- Cada sensor atua como origem e roteador de dados (processador de dados)
- Rápido consumo de energia pelos nós (re-transmissão de pacotes e re-organização de topologia)
- Componentes: sensoriamento, comunicação, processamento.

Arquitetura de Comunicação de Rede de Sensores

- Os nós sensores são espalhados em um **campo de sensores**
- Nós sensores podem coletar dados e rotear dados de volta ao *sink*
- O *sink* pode comunicar com o *task manager node* via Internet or Satellite

A arquitetura





PILHA DE PROTOCOLOS



Modelo em camadas

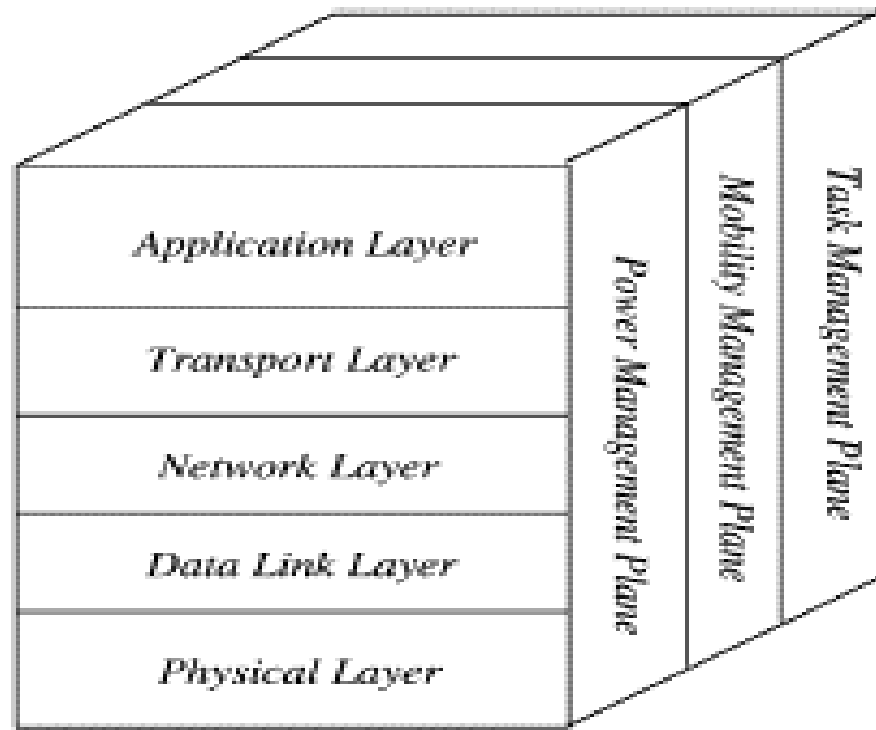
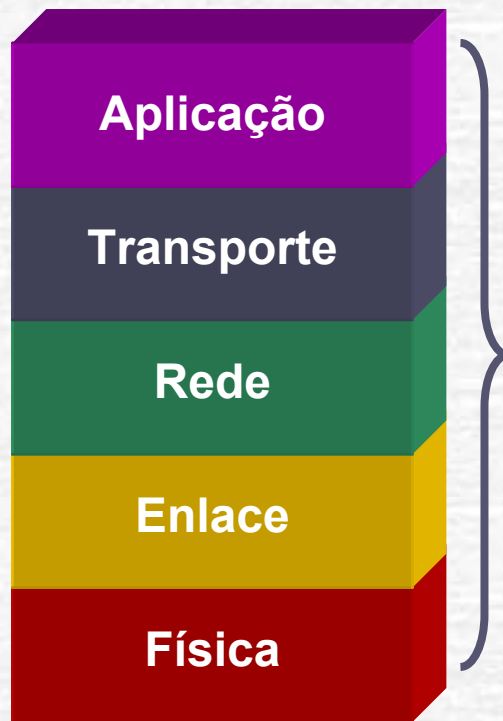


Fig. 3. The sensor networks protocol stack.

Arquitetura de Protocolos de Redes Sensores



- Camada de Aplicação
 - Observador interessado no fenômeno
- Camada de Transporte
 - Mantém Fluxo de dados
- Camada de Rede
 - Estabelece caminhos e comunicação entre nós e observador
- Camada de Enlace
 - Consumo de potência
 - Minimiza colisões
- Camada Física
 - Modulação robusta, técnica de transmissão e recebimento.

Camadas

- Aplicação
- Transporte
 - Mantem o fluxo de Dados
- Rede
 - Trata do Roteamento
- Enlace de Dados
 - ***Power aware***
 - Minimiza colisões com broadcast de vizinhos
- Física
 - Provê técnicas simples mas robustas de modulação, transmissão, and recepção.

Planos de Gerenciamento

- Ajudam os nós sensores a coordenarem a tarefa de sensoriamento com redução do consumo de energia
 - Plano de Gerenciamento de Potência
 - Plano de Gerenciamento de Mobilidade
 - Plano de Gerenciamento de tarefas

Camada de Aplicação

- Protocolo de Gerenciamento de Sensores (SMP)
- Protocolo de designação de tarefas e Anuncio de Dados - *Task assignment and data advertisement protocol* (TADAP)
- Protocolo de *query* de sensor e disseminação de dados - *Sensor query and data dissemination protocol* (SQDDP)

Protocolo de Gerenciamento de Sensor

- Provê transparência de hardware e software das camadas inferiores à aplicação de gerenciamento de sensor
- SMP acessa o nó através de endereçamento baseado em atributo e baseado em localização

TADAP

➤ Designação de Tarefas

- Usários enviam seus interesses ao nó sensor

➤ Anuncio de Dados

- Os nós sensores anunciam a disponibilidade de dados ao usuário

SQDDP

- ☞ Uma interface para emitir queries, responder a queries e coletar respostas
- ☞ Nomeação baseado em atributo ou localização
 - Exemplo: A localização dos nós com temperatura maior que uma dada temperatura
 - Proposta: Sensor query and tasking language (SQTL)

Camada de Transporte

- Necessário para que a rede de sensores possa ser acessada através de outras redes
- UDP or TCP
- UDP – protocolo típico de comunicação entre o sink e o sensor

Camada de Rede

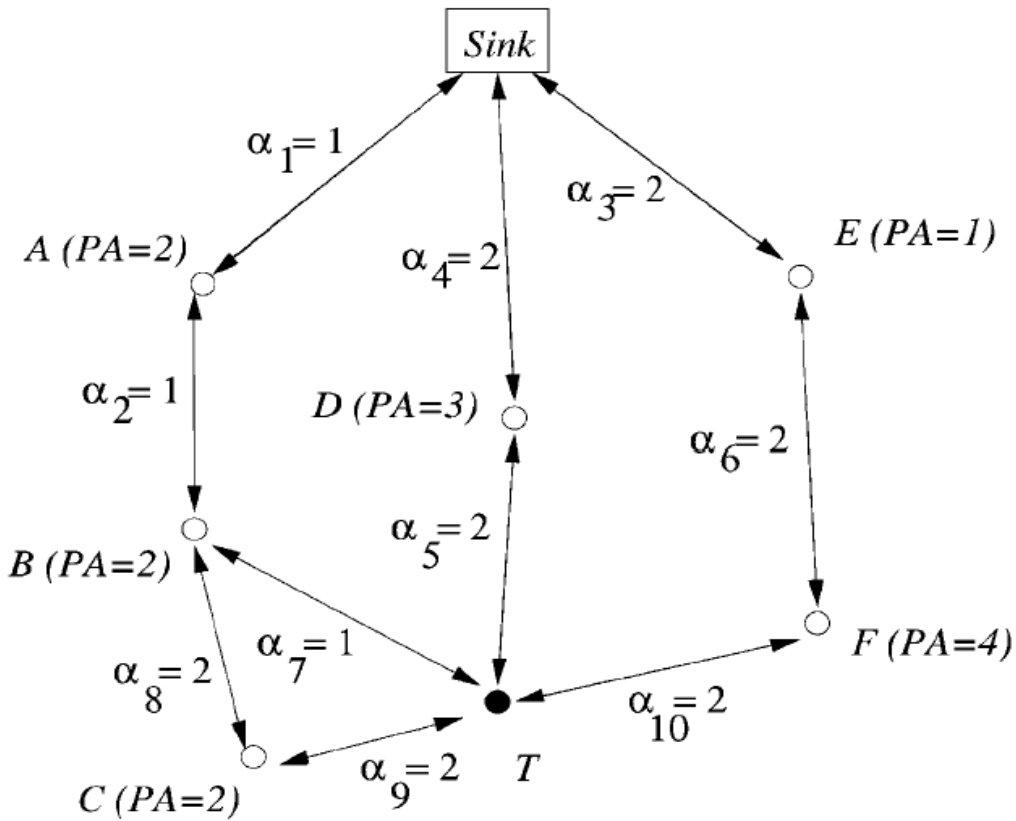
- São necessários Protocolos de roteamento multihop wireless especiais entre os nós sensores e o nó "sink"
- Principios de Projeto
 - Eficiencia de Potencia
 - Rede de Sensores são "data centric"
 - Agregação de dados
 - Nomeação baseado em atributo ou localização

Modelos de Roteamento

- Data Centric Protocol (DC): Fontes enviam dados a um ***sink***, mas é realizado roteamento dos nós que contém o conteúdo de dados desejados e é então realizado a agregação várias de pacotes
- Address Centric Protocol (AC): cada fonte independentemente envia dados sobre o caminho mais curto ao ***sink*** (roteamento fim-a-fim)

Roteamento Eficiente em Energia

- Maximum available power (PA)
- Minimum energy (ME)
- Minimum hop (MH)
- Maximum minimum PA node



PA: Available Power
 α : Energy required to transmit a data packet through the related link

Roteamento "Data centric"

- Duas abordagens
 - Sinks fazem broadcast do interesse
 - Nós Sensores fazem broadcast de um aviso de disponibilidade de dado
- Requer nomeação baseado em atributo

Agregação de Dados

- Uma técnica usada para resolver os problemas de implosão e sobreposição em roteamento "data-centric"
- Dados vindo de múltiplos nós sensores com o mesmo atributo de fenômeno são agregados

Exemplo de Agregação de Dados

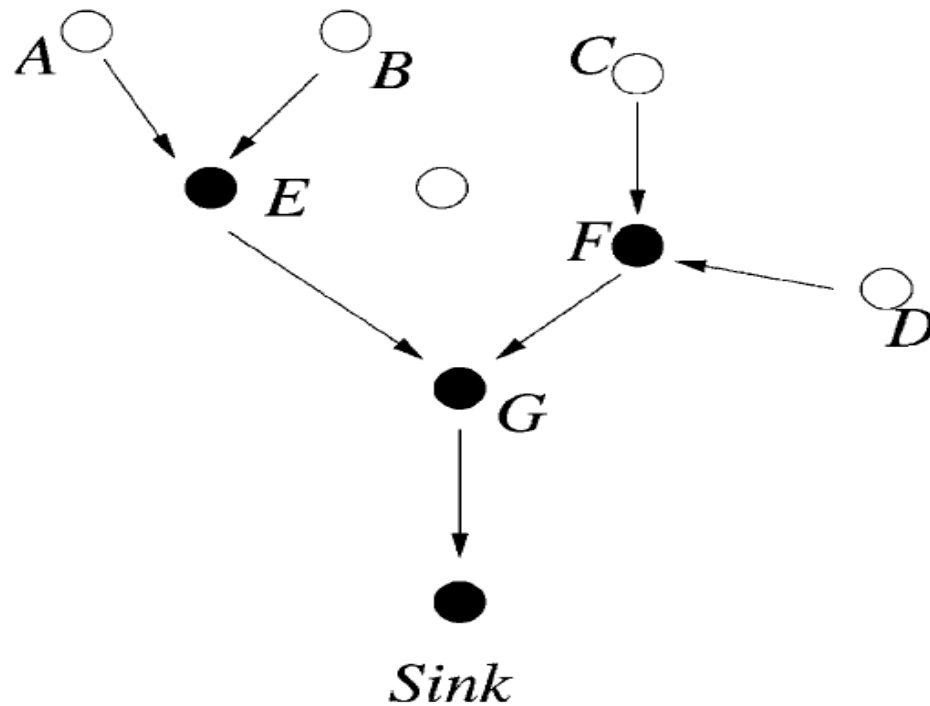


Fig. 5. Example of data aggregation.

Internetworking

- Nós de Sink podem ser usados como gateways para outras redes
- Pode-se criar um backbone conectando-se os nós sink e fazendo-os acessar outras redes através de um gateway

Alguns esquemas propostos para a rede de sensores

- Small minimum energy communication network (SMECN)
- Flooding
- Gossiping
- Sensor protocols for information via negotiation (SPIN)
- Sequential assignment routing (SAR)
- Low-level adaptive clustering hierarchy (LEACH)
- Directed diffusion

SPIN

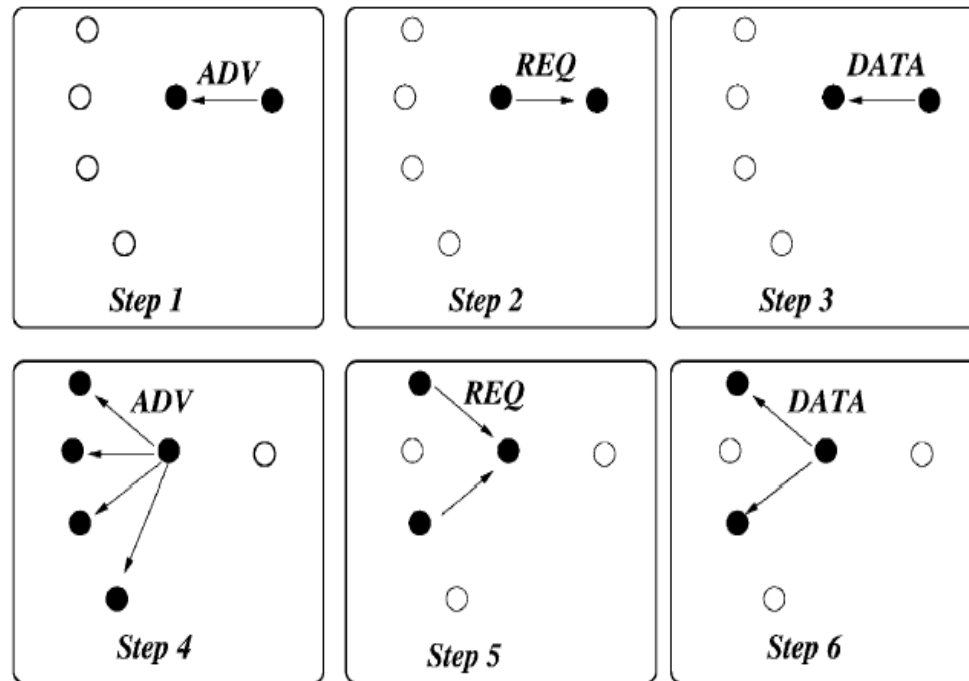


Fig. 6. The SPIN protocol [35].

Camada de Enlace de dados

- É responsável pela multiplexação do stream de dados, detecção de erro em frame, acesso ao meio e controle de erro

Métodos de Acesso ao Meio

Metas:

- Criação de uma infraestrutura de rede
- Compartilhar os recursos de comunicação de forma justa e eficiente entre os nós sensores

Os protocolos MAC existentes podem ser usados?

- Não – Os protocolos existentes tem como meta fornecer QoS e eficiencia de banda

MAC para Rede de Sensores

- Deve prover: “built-in power conservation”, gerenciamento de mobilidade and recuperação de falhas
- Ex: uma variante de TDMA, acesso aleatório ao meio, tempos de escuta constantes e controle adaptativo de taxas pode prover eficiencia de energia

Alguns protocolos MAC protocols propostos para rede de sensores

- Algoritmo SMACS and EAR
- Método de acesso baseado em CSMA
- Método Híbrido TDMA/FDMA

Protocolos MAC

Protocolo MAC	Modo de acesso canal	Especificações de rede	Conservação de energia
S-MAC ou EAR	Alocação fixa de slots de tempo	Largura de banda maior que taxa de dados sensor	Ativação quando necessária
TDMA/FDMA	Divisão de frequência (RX) e tempo (TX)	Número de canais otimizados para minimizar consumo	Hardware para minimizar consumo de energia
CSMA	Acesso randomico baseado em contenção	Mudança de fase de aplicação e atrasos de pré-transmissões	Tempo de escuta constantes para energia eficiente

Modos de Operação para Economia de Energia

- Método óbvio: desligar o receptor
- Operação no modo “power saving” é eficiente apenas se o tempo dispendido neste modo for maior que um dado limiar, em virtude da existência de transmissão pacotes pequenos de dados

Controle de Erro

Forward error correction (FEC)

- Codificar os dados antes de transmiti-los diminui a taxa de erros em bit (BER)
- Custo adicional de potência devido à codificação e decodificação

Automatic repeat request (ARQ)

- Limitado pelo custo adicional do overhead de retransmissão

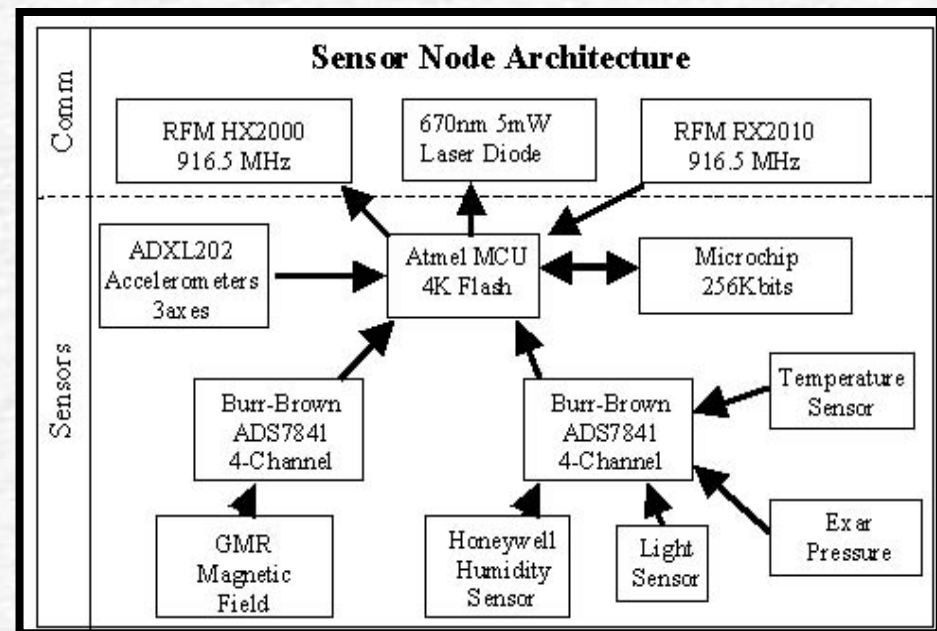
Camada Física

- É responsável pela seleção de frequência, geração da frequência portadora, detecção de sinal e encriptação de dados
- A escolha de um bom esquema de modulação é crítica para uma comunicação confiável

Projetos de Destaque

Berkeley Motes

- Pequeno microcontrolador (menor que 1")
- Consiste de:
 - Microprocessador
 - Um conjunto de sensores para temperatura, luz, aceleração e movimento
 - Baixa potência de radio para comunicação com outros motes
- Compilador C



Berkeley Motes

RF Mote with Multiple Sensors

8 bit 150 KHz Atmel AVR Microcontroller
2 years operation at 1% power on duty cycling

Humidity Sensor
(not on this board)
0-100% RH with 2% accuracy

RF Transceiver
Mode of Communication: OOK at 916.5MHz 4800 bps
Range: 20 meters

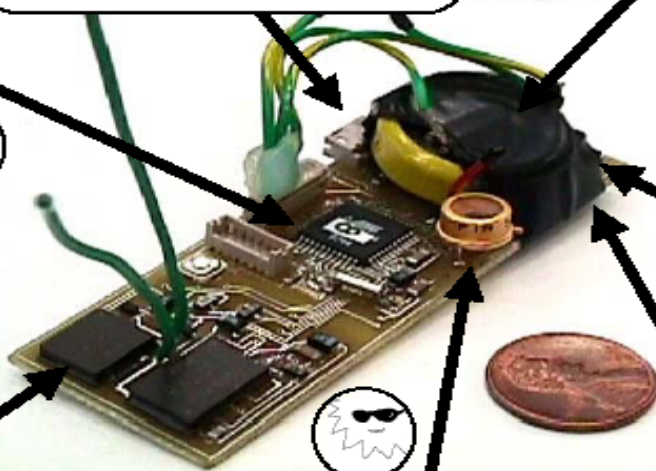
Pressure Sensor/Altimeter
(underneath)
300 meters height range with 5 meters accuracy

Light Sensor
Measures from sunlight to darkness with 1/4000 full scale accuracy





Temperature Sensor
0 to 100 degrees Celsius
Accurate to 2 degrees

Magnetometers (2 axis)
Capable of measuring Earth's magnetic field to within 1/500th accuracy

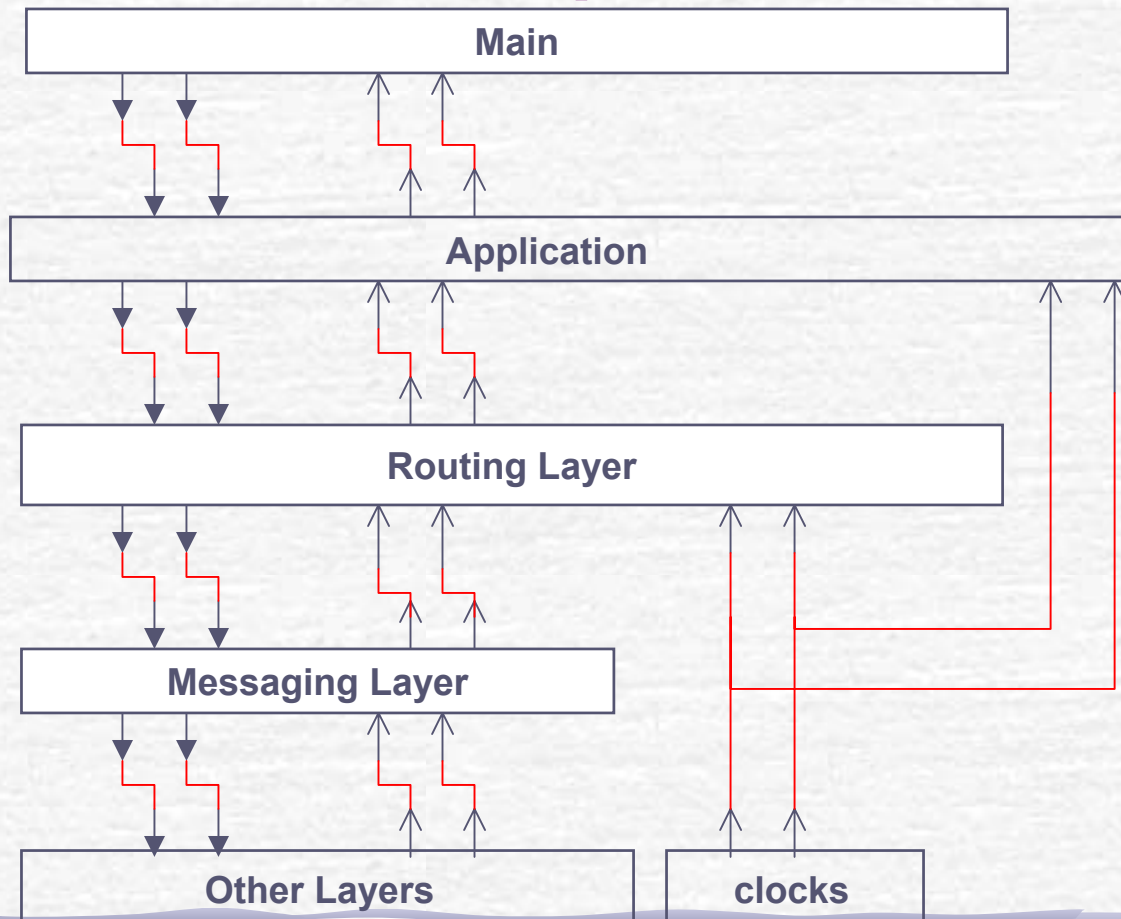
Accelerometer
(underneath) +/- 2 g at 50 Hertz
25 mg accuracy



Família MOTES

Mote Type	WeC	rene2	rene2	dot	mica
					
Date	9/99	10/00	6/01	8/01	2/02
Microcontroller					
Type	AT90LS8535		ATMega163		ATMega103
Prog. mem. (KB)	8		16		128
RAM (KB)	0.5		1		4
Nonvolatile storage					
Chip	24LC256			AT45DB041B	
Connection type	I2C			SPI	
Size (KB)	32			512	
Default Power source					
Type	Li	Alk		Li	Alk
Size	CR2450	2xAA		CR2032	2xAA
Capacity (mAh)	575	2850		225	2850
Communication					
Radio	RFM TR1000				
Rate (Kbps)	10	10	10	10	10/40
Modulation type	OOK				OOK/ASK

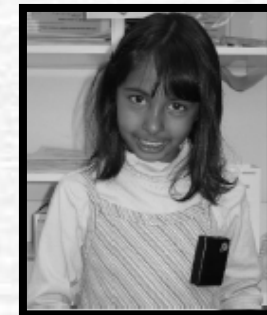
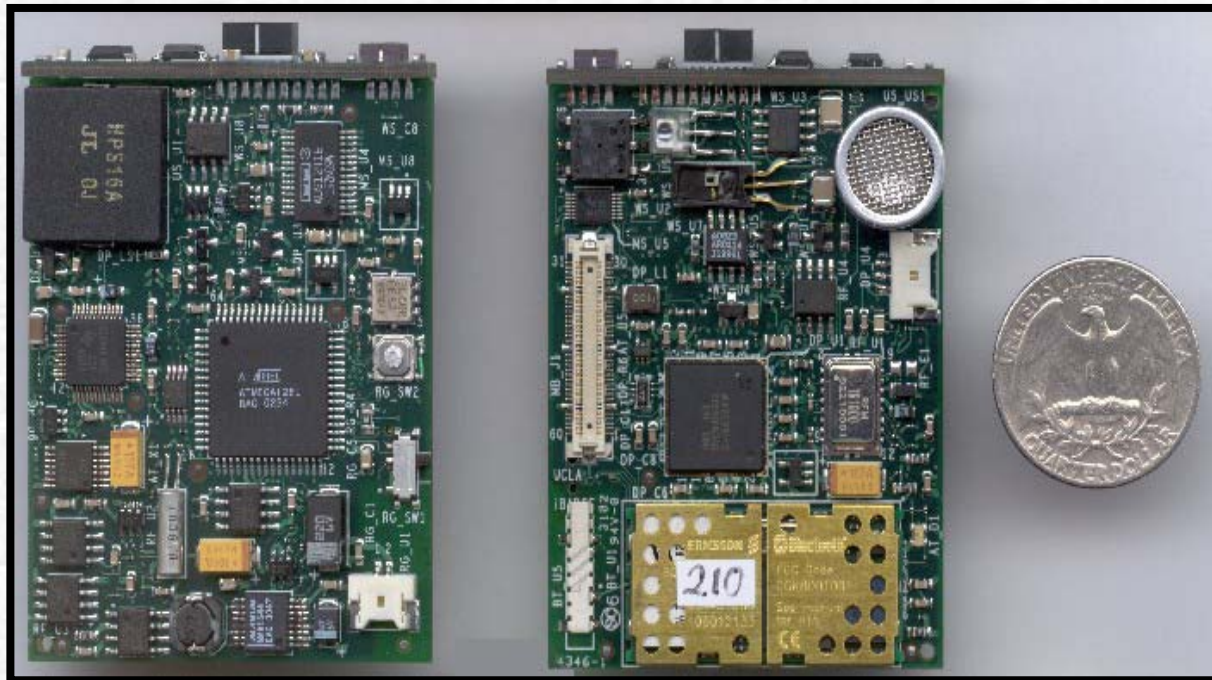
TinyOS



iBadge - UCLA

- Investiga comportamento de pacientes e crianças
- Características:
 - Speech recording/replaying
 - Position detection
 - Direction detection/estimation(compass)
 - Weather data: Temperature, Humidity, Pressure, Light

iBadge - UCLA



Dimension of enclosure:
70 x 55 x 18 mm
(2.8" x 2.2" x 0.07")
Weight:
65gram (2.3oz)
Battery lifetime:
4h 35min

Outros

- MIT d'Arbeloff Lab – O anel sensor
 - Monitora o estado fisiológico da pessoa e transmite a informação ao médico através da Internet
- Oak Ridge National Laboratorio
 - “Nose-on-a-chip” é um sensor MEMS
 - Ele pode detectar 400 espécies de gases and transmite um sinal a sinal indicando o nível a uma central



A decorative horizontal band at the top of the page, featuring a light purple background with darker purple wavy lines that resemble water or fabric. A similar, thinner decorative line is located at the bottom of the page.

Na Indústria

Intel mote project goals

- Develop an enhanced universal mote building block
 - High platform integration level (core, radio, memory...)
 - Low power operation
 - Small physical size
 - Modular HW/SW design
 - System power management
 - Low cost and volume production potential
- Support and collaboration on sensor network research
 - Multi-hop networking
 - Power aware routing

Detailed research areas

- Ultra low power operation
 - Smart wireless communication
 - Battery lifetime of up to a year



- System level integration
 - CPU and radio component integration
 - RF direct to antenna output
 - System level partitioning and optimization
 - Integration of different technologies
 - Digital, analog, MEMS, memory...



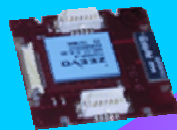
- Power and performance efficient HW reconfiguration
 - Task specific acceleration
 - Flexibility with good power/performance trade-off



Project status and direction



We are here:
Intel mote prototype



1st generation Intel mote
Package level integration

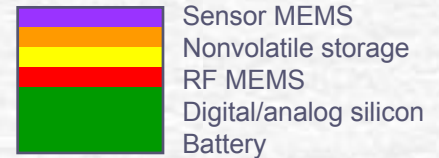


2nd generation Intel mote
HW and SW improvements



3rd generation Intel mote
New integrated design

Future
Single chip with
layered components



UCB mote

2002

2003

2004

2005

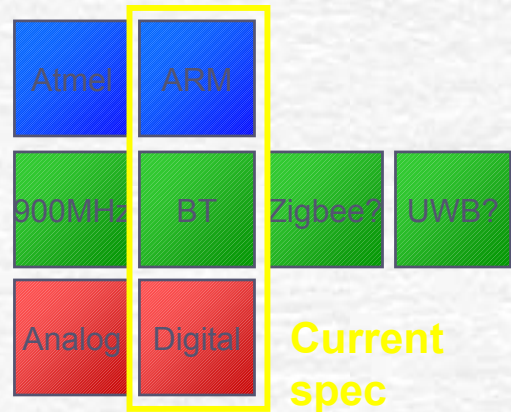


Intel Research mote summary

Enhanced building block for wireless sensor networks

Overview

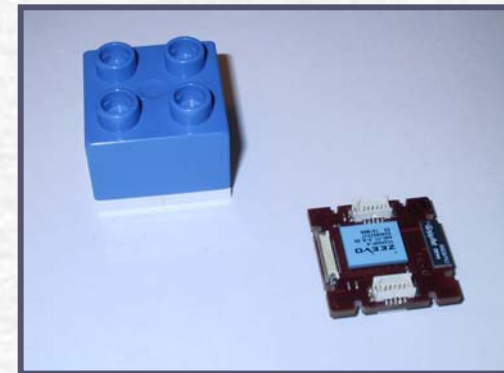
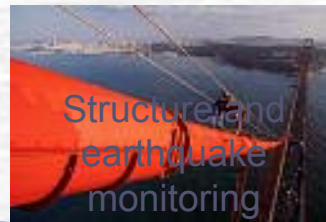
- CPU core
- Wireless radio
- Sensor interface



Status

- Business model development studied
- Feedback from Berkeley Lab collected
- CPU/Radio component evaluation done
- Architecture specification completed
- Second prototype HW/SW created

Applications



Participants

- Intel research labs
- Academic research
- Start-ups

1st generation Intel mote goals

Provide improved features

- Reliability of radio links
- Increased CPU performance
- Security features
- Modular design
- Reduced cost

Competitive battery life

- Assumed duty cycle <1%
- HW solutions: power down modes
- SW solutions: smart networking protocols

Intel mote and sensor net software

- Based on TinyOS
 - Port to ARM architecture
- Intel mote specific layer
 - BT support
 - Platform device drivers
- Network layer
 - Topology establishment
 - Single- and multi-hop routing
- Security features
 - Authentication
 - Encryption

TinyOS applications

TinyOS base

Network layer

Intel mote layer

Intel mote firmware (BT)

Intel mote hardware

Summary

☞ The Intel mote project is now ~7 months old

☞ Status

- Prototype HW developed
- TinyOS based SW stack near completion
- Start of pilot project investigations
 - Academic and commercial

☞ Challenges for 2003

- Enable volume production in 1H 2003
- Promote Intel mote in research and industry
- Deliver easy to use Intel mote sensor network kit
- Start design of next generation Intel mote



Conclusões



Conclusões

- Redes sensores precisam satisfazer as limitações:
 - Tolerância a falha, escalabilidade, custo, hardware, mudanças topologicas, ambientes, restrições consumo de potência
- Requer-se: novas técnicas de rede para as camadas da pilha de protocolos de Redes Sensores



Bibliografia

Bibliografia

- *Wireless Sensor Networks: a survey* – I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci; Broadband and Wireless Network Laboratory. School of Electrical and Computer Engineering. Georgia Institute of Technology – Atlanta USA, 2001.

Bibliografia

- *Wireless Integrated Network Sensor* – G.J. Pottie, W.J. Kaiser; Electrical Engineering Department at the University of California, Los Angeles. Communications of the ACM – May 2000/vol. 43 No. 5, pg 51-58.

Bibliografia

- ☛ *Sensor Network Sensor* - Deborah Estrin; IEEE International Conference of Mobile Computer and Network (*MobiCom 2002*).
- ☛ TinyOS Homepage.
<http://webs.cs.berkeley.edu/tos/>
- ☛ *A Taxonomy of Wireless Sensor Networks* – S. Tilak, N.B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman.

Bibliografia

- Wireless Sensor Networks: A New Regime for Time Synchronization – J. Elson, UCLA & K. Roemer, ETH Zurich.
- An Energy-efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks – W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, UCLA

Leituras Recomendadas

- *Wireless Sensor Network for Area Monitoring and Integrated Vehicle Health Management Applications* – H.O. Marcy, J.R. Agre, C. Chien, L.P. Clare, N. Romanov, A. Twarowski. Rockwell Science Center, Thousand Oaks, CA.
- *Wireless Sensor Network for Habitat Monitoring* – A. Mainwaring, J. Polatres, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson. WSNA '02, September 2002, Atlanta, Georgia USA.