

Sistemas de Comunicação

Módulo III - Redes de Sensores Sem Fio

Prof. Paulo Gonçalves

pasg@cin.ufpe.br

www.cin.ufpe.br/~pasg

CIn/UFPE

INTRODUÇÃO

O que é um sensor?

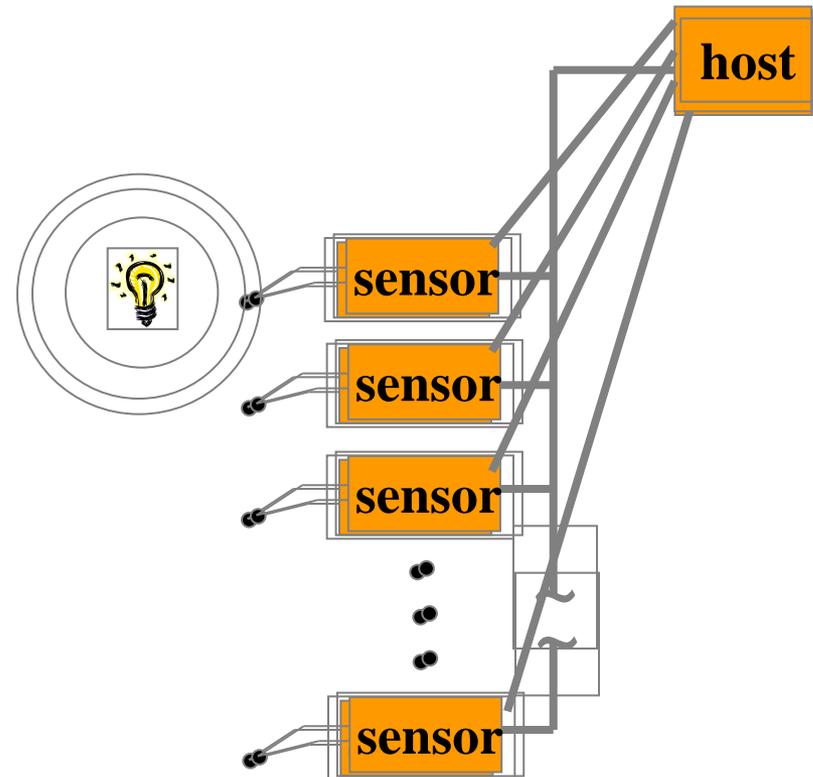
- Existem várias definições e aplicações

Dispositivo capaz de converter um sinal como o som, a luz, a temperatura e a pressão, por exemplo, em sinal elétrico (transdutor)



E Redes de Sensores?

- ❑ Sensores (captação) + *Host* central (processamento)
- ❑ **Objetivo:** Monitoramento de um processo físico de interesse
- ❑ Aplicações
 - ❖ Setores Industrial e Militar
 - ❖ Aviação
- ❑ Características:
 - ❖ **Sensores não cooperam**
 - Recolha informações e envie diretamente para o *host* central
 - ❖ Não existe limitação para a energia consumida
 - ❖ Topologia pré-determinada
 - ❖ Alto custo de implantação
 - ❖ Cabeamento
- ❑ Evolução do analógico ao digital
 - ❖ barramento

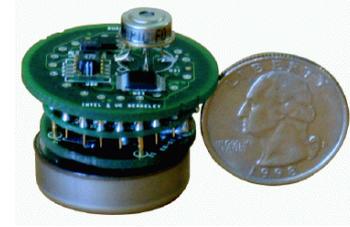


A Mudança de Paradigma

- Avanços tecnológicos
 - ❖ Sistemas eletrônicos
 - ❖ Sistemas microeletromecânicos
 - ❖ Sistemas de comunicação sem fio

Sensor: Definição Moderna

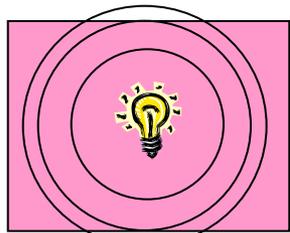
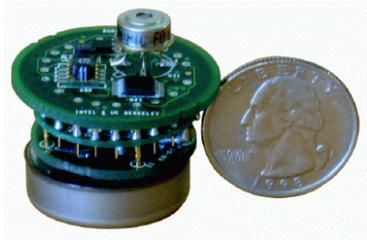
- ❑ Pequeno dispositivo capaz de **coletar dados**, **processar dados**, **comunicar** e **cooperar** para a realização de uma tarefa em comum
- ❑ Curto alcance de transmissão (rádio)
- ❑ Baixo custo
- ❑ Baixo consumo de energia
- ❑ Geralmente alimentado por baterias/pilhas não recarregáveis



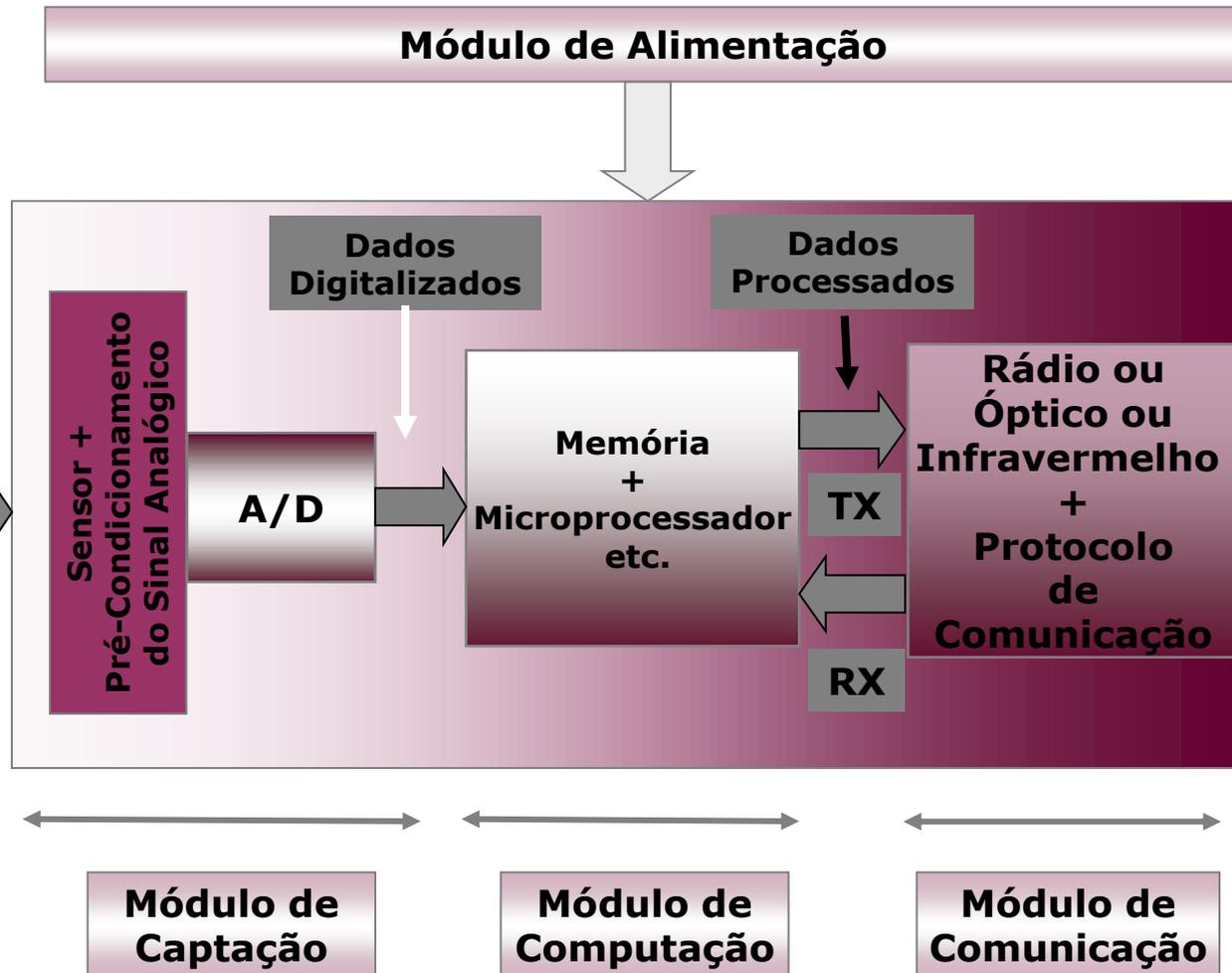
Mica Mote

*Fonte: Intel Berkeley Research
Laboratory*

Sensor: Definição Moderna

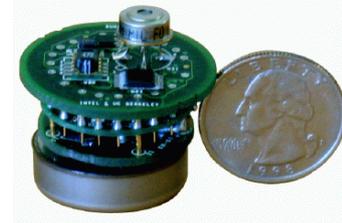


Sinal de interesse

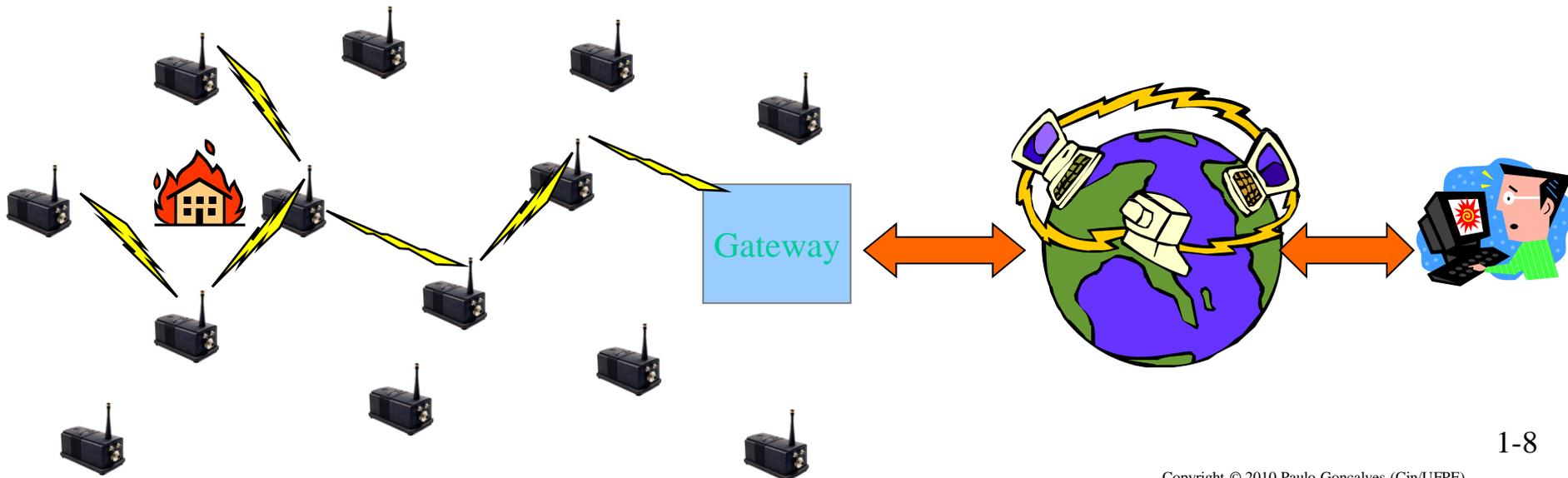


Rede de Sensores: Definição Moderna

- ❑ Rede de nós sem fio que atende a uma aplicação específica
- ❑ Rede composta por sensores disseminados em uma área de interesse
- ❑ Rede utilizada para a monitoração distribuída de sinais de interesse
- ❑ **Objetivo é colaborativo** ao invés de individual

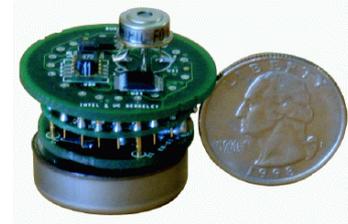


Conjunto de sensores autônomos distribuídos ao longo de uma área de interesse para o monitoramento cooperativo de um ambiente



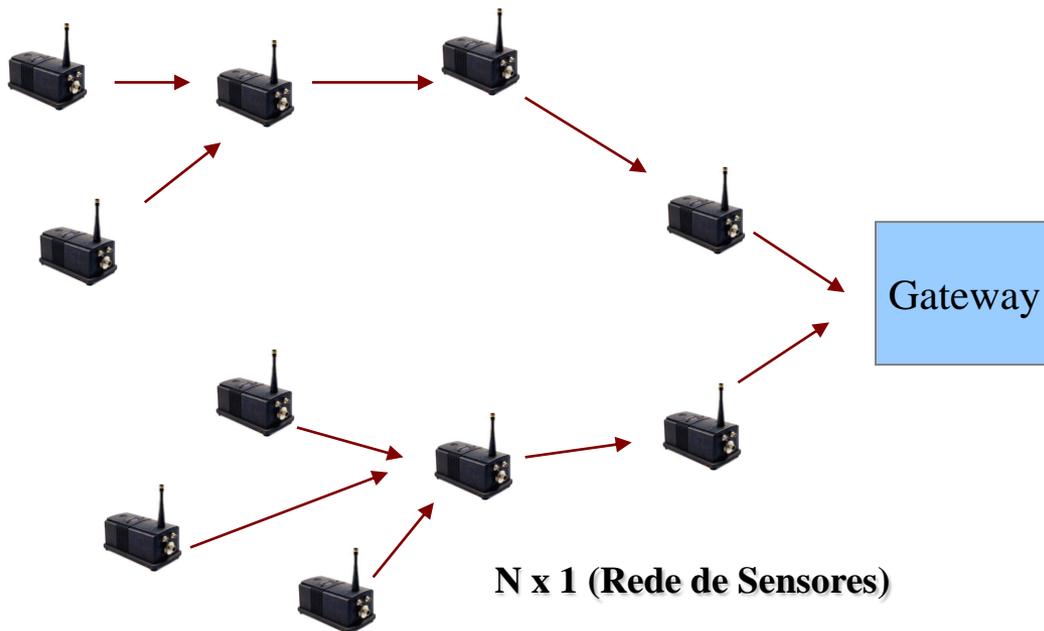
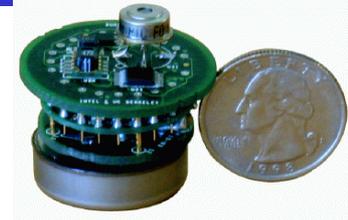
Redes de Sensores: Características

- ❑ Quantidade de sensores (depende da aplicação)
 - ❖ Dezenas, Centenas, Milhares
- ❑ Capacidade de **auto-organização**
- ❑ Sensores estão propensos à falhas
- ❑ Topologia pode mudar frequentemente
- ❑ Uso frequente de difusão (broadcast) para a comunicação
- ❑ Sensores podem não ter um identificador global
- ❑ **Limitação de recursos** (energia, capacidade de processamento, memória)
- ❑ **Agregação de dados**

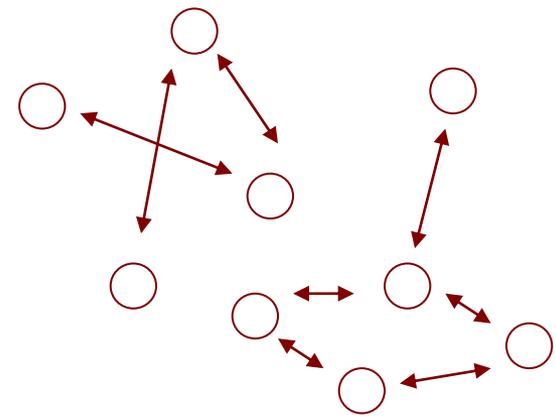


Redes de Sensores: Características

- ❑ **Energia finita:** uso eficiente da energia é primordial
- ❑ Comunicação de muitos para 1 ($N \times 1$) ao invés de muitos para muitos ($N \times M$) ou de qualquer um para qualquer um
- ❑ Requer garantias para cobertura da área de captação, conectividade e respeito de limites de latência impostos

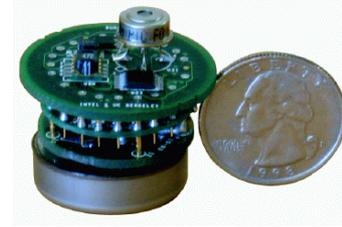


$N \times 1$ (Rede de Sensores)



$N \times M$ (Rede Ad-Hoc)

Algumas Definições



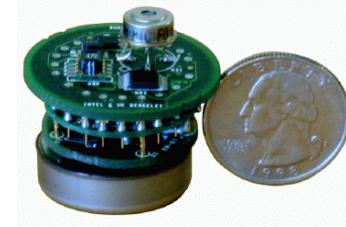
Observador

- ❑ Quem está interessado nos dados recolhidos pelos sensores
- ❑ Pode controlar o que deseja receber
- ❑ Pode estabelecer quando deseja ser informado
 - ❖ Mudança de estado
 - ❖ Variação de uma variável monitorada
 - ❖ Frequência determinada

Fenômeno

- ❑ Processo físico de interesse de um observador
- ❑ Vários fenômenos podem ocorrer ao mesmo tempo e no mesmo lugar

Algumas Definições

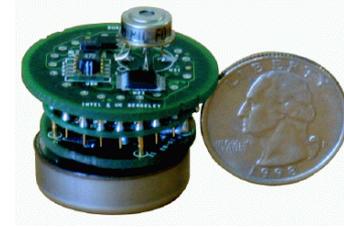


Modelos de redes de sensores

- Depende do comportamento dos sensores, do observador e do fenômeno

- Modelos
 - ❖ Redes estáticas
 - ❖ Redes dinâmicas

Usos



❑ Monitoramento

- ❖ Temperatura
- ❖ Humidade
- ❖ Movimento de veículos
- ❖ Luminosidade
- ❖ Pressão
- ❖ Vazamento de óleo
- ❖ Níveis de ruído
- ❖ Presença ou ausência de objetos
- ❖ Estresse mecânico em objetos
- ❖ Velocidade, direção e tamanho de um objeto

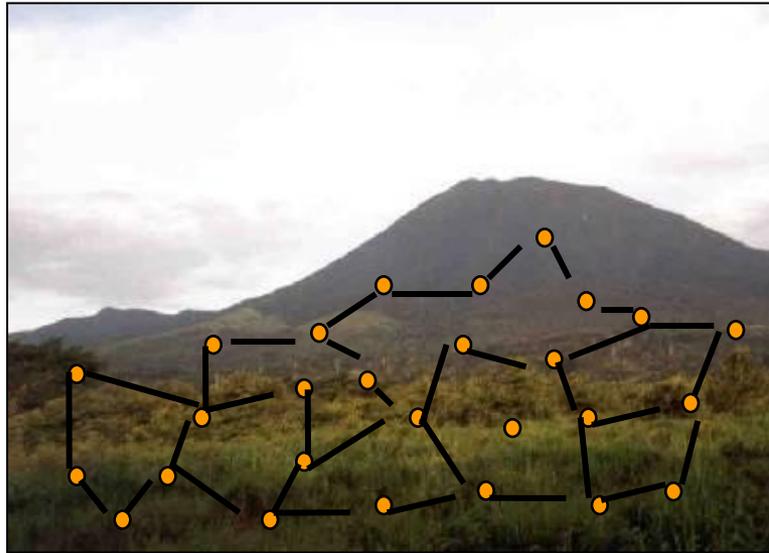
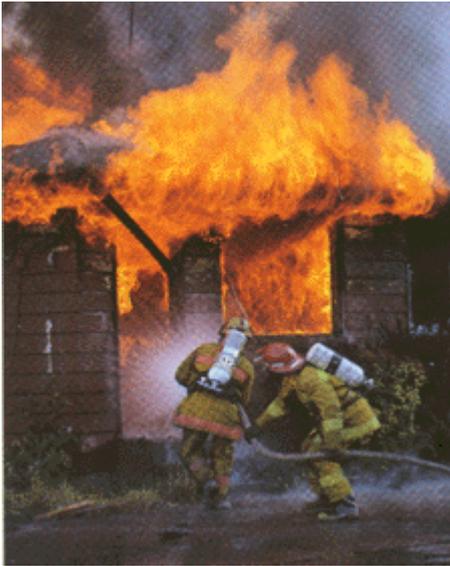
❑ Captação contínua, detecção de eventos, identificação de eventos, etc.

APLICAÇÕES

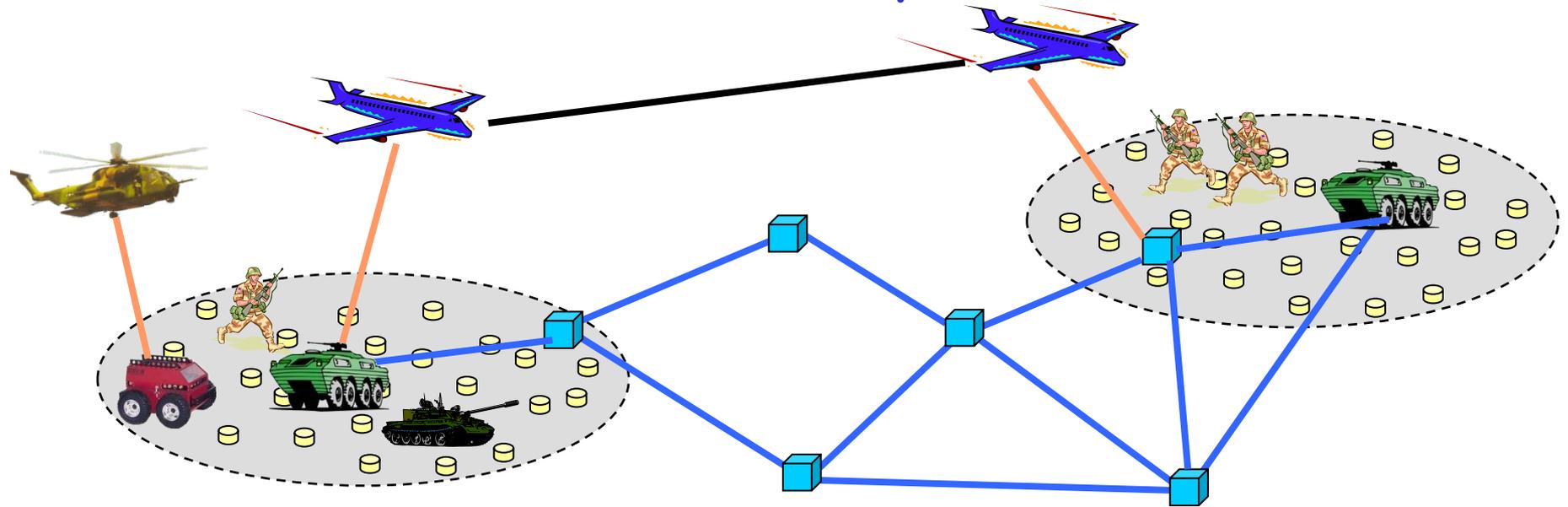
Em Várias Áreas

- Militar
- Saúde
- Segurança
- Automatização residencial
- Automatização industrial
- Meio ambiente
- etc

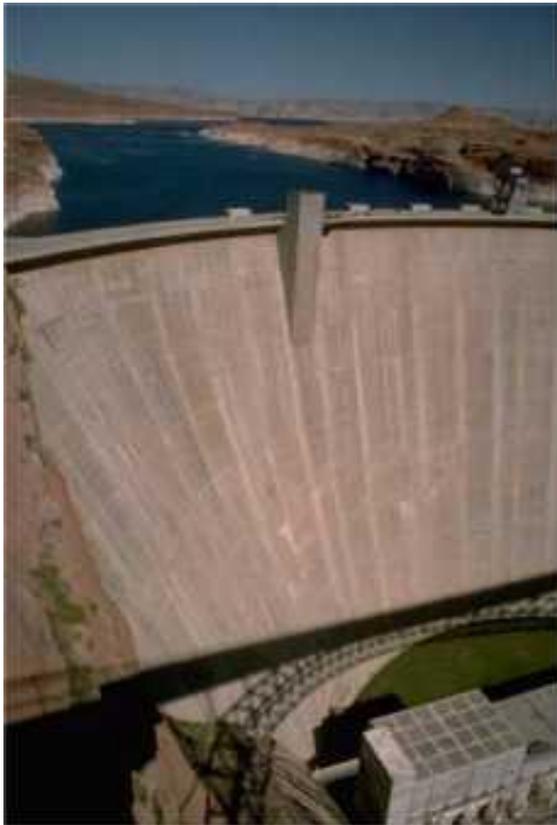
Detecção de Incêndios



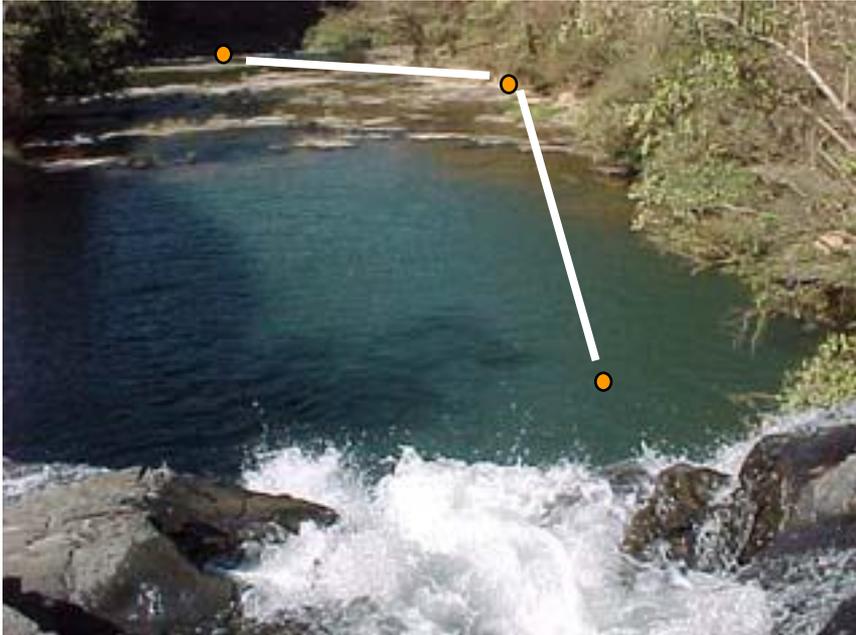
Monitoramento em campo de batalha



Monitoramento de Estruturas



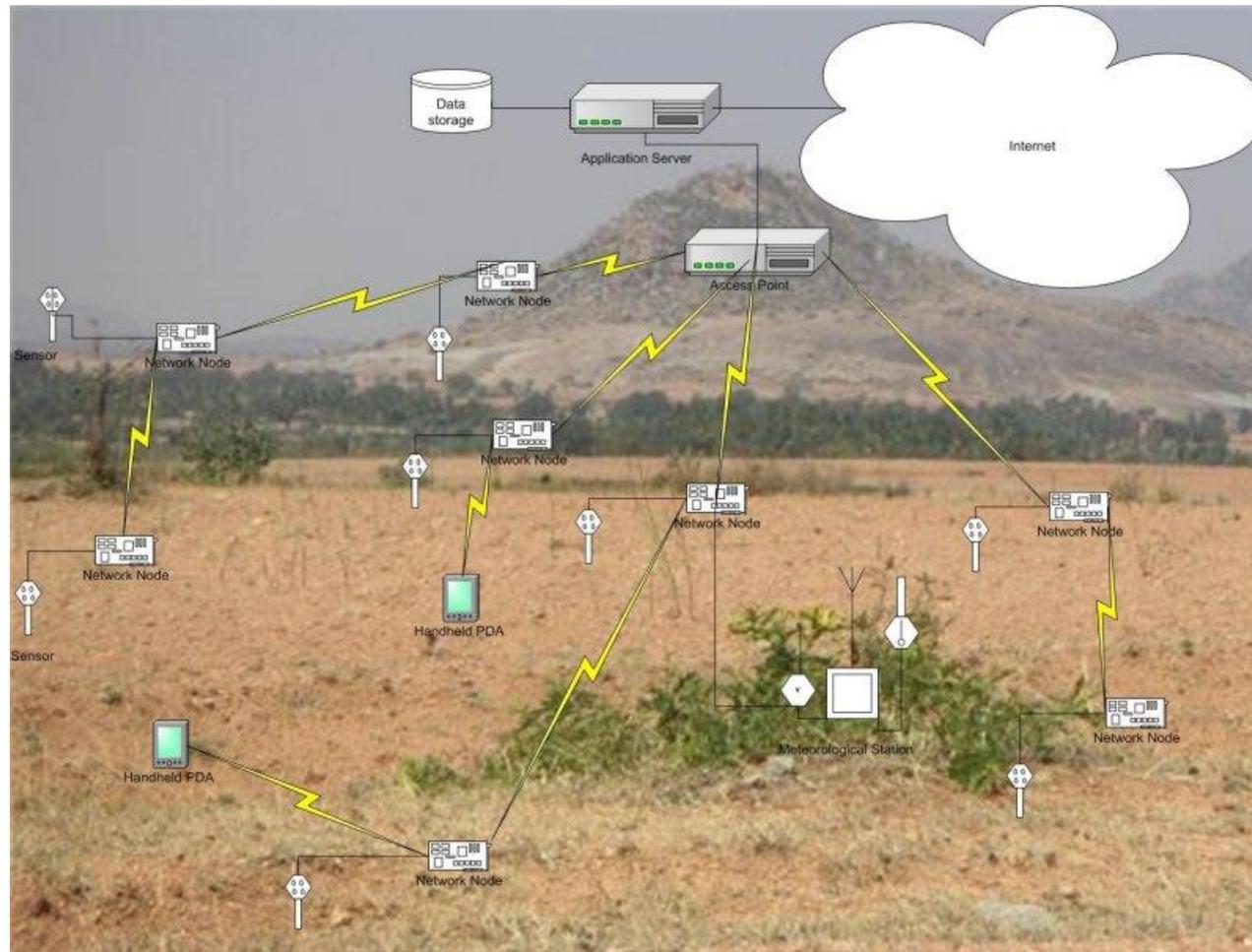
Monitoramento de Rios



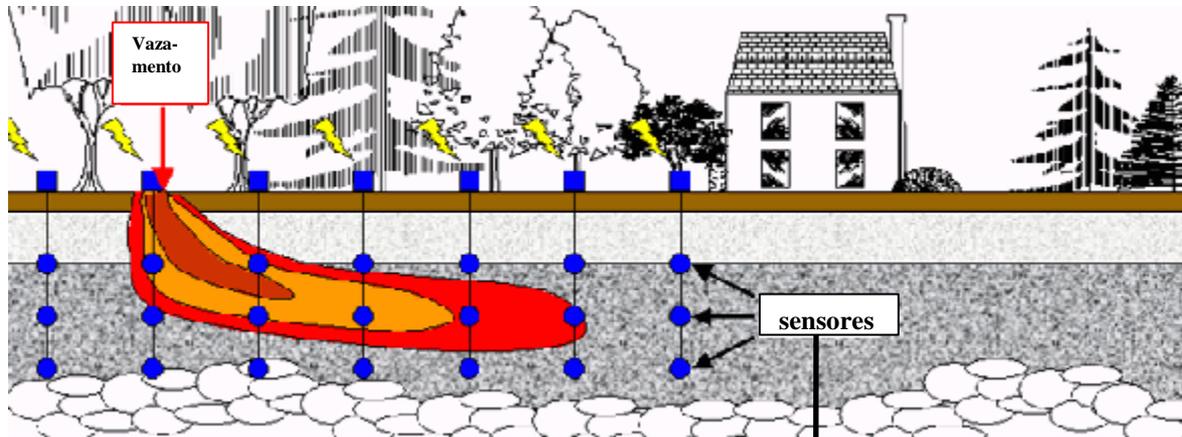
Monitoramento de Plantações



Estação Meteorológica



Monitoramento de Solos



Sensores: memória+computação+rádio

Sensores: transdutores

Estudo de Planetas

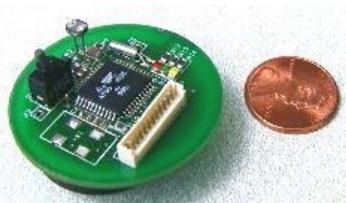
PLATAFORMAS E PADRONIZAÇÃO

Plataformas

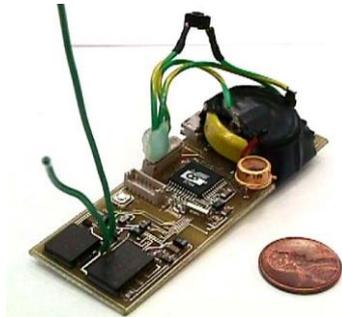
- ❑ Existem **várias plataformas de pesquisa e comerciais**
- ❑ Projetos de universidades
 - ❖ MIT μ AMPS
 - ❖ Família Motes de Berkeley
 - ❖ UCLA iBadge, Medusa, bluetooth radio
- ❑ Produtos comerciais
 - ❖ Rockwell WINS & Hydra Nodes (<http://wins.rc.rockwell.com>)
 - Sísmico, acústico, temperatura, etc.
 - TDMA MAC com suporte a roteamento à múltiplos saltos
 - ❖ Sensoria WINS NG 2.0 (<http://www.sensoria.com>)
 - Imagem e GPS
 - ❖ Dust-Inc (<http://dust-inc.com>)
 - Baseados nos Motes
 - ❖ Crossbow (<http://www.xbow.com>)
 - Baseados nos Motes
- ❑ **Diferenças** em custo, potência, funcionalidade, etc

Plataformas: Exemplos

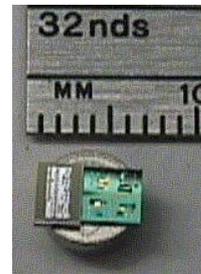
Modern Sensor Nodes



UC Berkeley: COTS Dust



UC Berkeley: COTS Dust



UC Berkeley: Smart Dust



UCLA: WINS



Rockwell: WINS

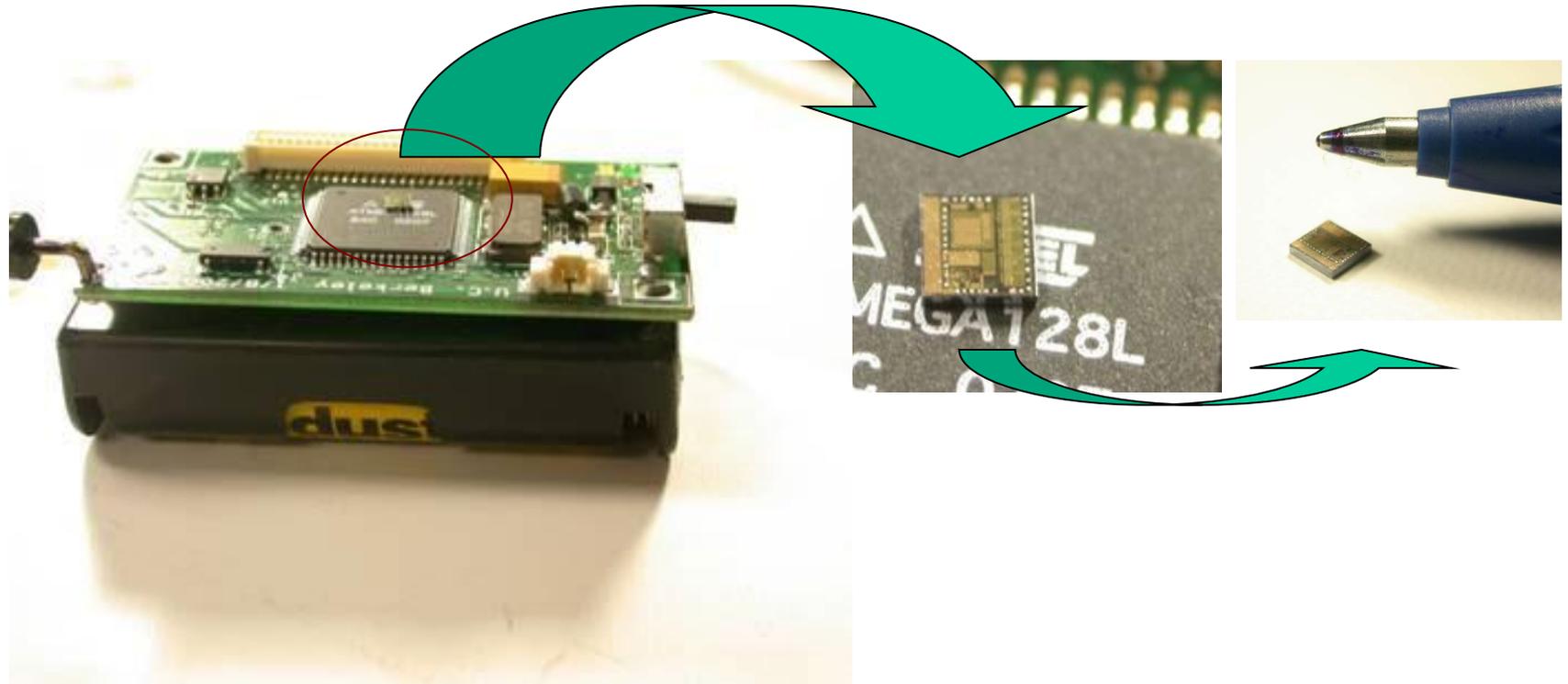


JPL: Sensor Webs



BTNode

Plataformas: Exemplos



Smart Dust - Berkeley

Sistema Operacional

□ TinyOS (Motes)

- ❖ 1º Sistema Operacional Open Source específico para os Motes
- ❖ Flexível: pode ser estendido para trabalhar com diversas aplicações
- ❖ Sistema simples que usa pouca memória (4KB)
- ❖ Sem multithreading (ainda?)
- ❖ Dirigido a eventos
 - Eficiência de uso da energia
- ❖ Dois tipos de trabalhos
 - Tarefas, i.e., computações
 - Eventos, i.e., eventos de captação, recepção de pacotes, etc.
- ❖ Sistema de captação é indagado periodicamente sobre a ocorrência de eventos

Sistema Operacional (programação em C)

- ❑ Contiki
 - ❖ Semelhante ao TinyOS mas **suporta multithreading**

- ❑ MANTIS
 - ❖ **Preemptivo**: kernel tem controle do tempo usado por cada processo

- ❑ LiteOS
 - ❖ Usa **abstrações UNIX** (e.g. ls, cp)

- ❑ Nano-RK
 - ❑ **Preemptivo**: kernel tem controle do tempo usado por cada processo
 - ❑ Tempo real

Padronização

- ❑ **IEEE**
 - ❖ Foco nas camadas MAC e Física

- ❑ **IETF**
 - ❖ Foco nas camadas de rede, transporte, sessão e apresentação (modelo OSI)

- ❑ Existem soluções proprietárias

- ❑ Alguns padrões/iniciativas para Redes de Sensores
 - ❖ ISA100 - foco em automação industrial
 - ❖ IEEE 1451 - conjunto de padrões para interface de transdutores inteligentes
 - ❖ ZigBee - padrão para low-cost, low-power wireless mesh networking
 - ❖ IEEE 802.15.4 - padrão de camada MAC e Física para Low Rate WPANs
 - ❖ IETF RPL - IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks

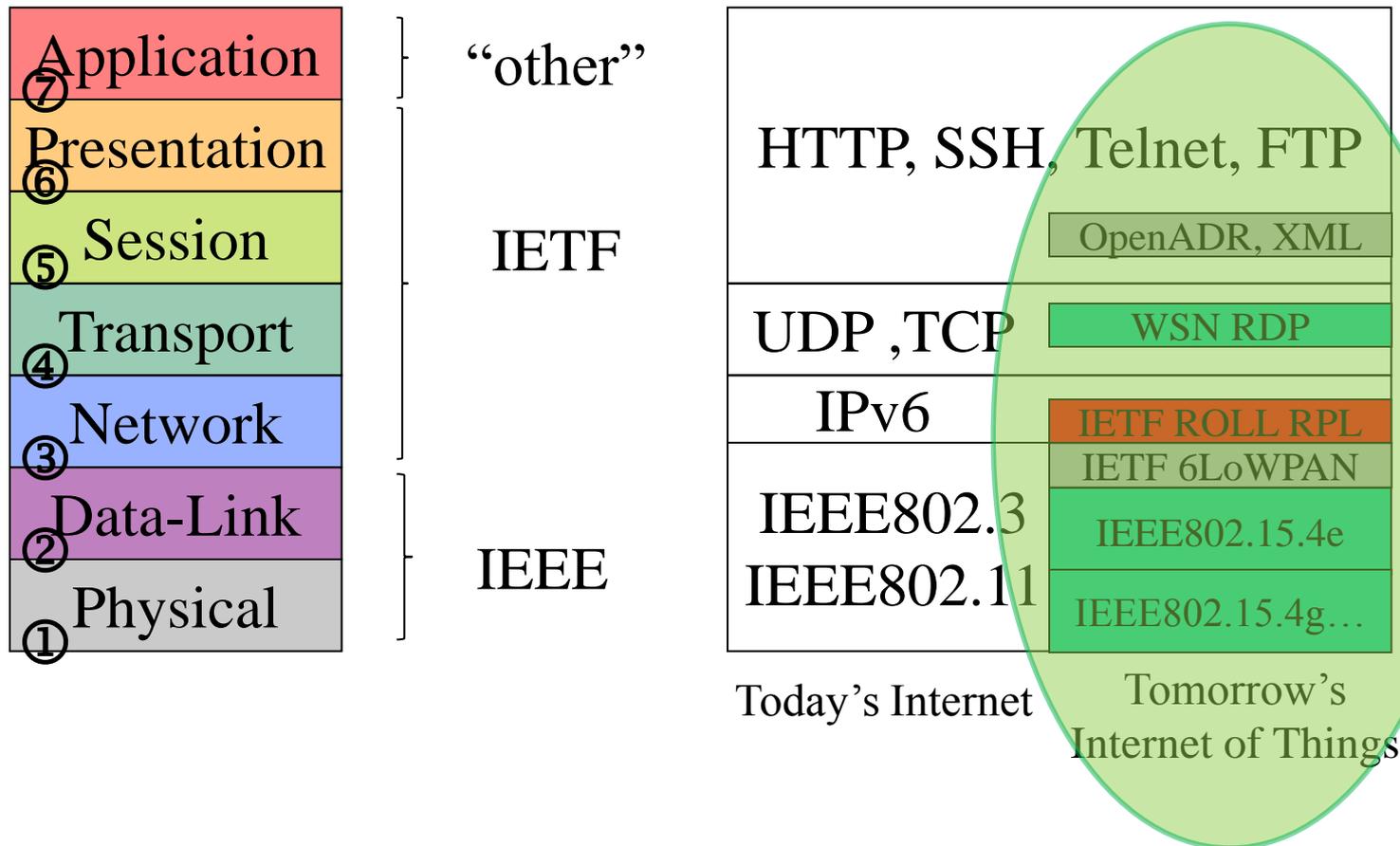
Outra Iniciativa: OpenWSN

- Não é um padrão ainda!

- **Ideia:** desenvolver uma pilha de protocolos com base no modelo de 7 camadas da OSI
 - ❖ Open-Source
 - ❖ Sobre uma variedade de plataformas de hardware/software

- **Como?** usando tecnologias de ponta
 - ❖ IEEE802.15.4-2006 radio chips
 - ❖ Protocolos sendo padronizados para as camadas MAC, rede(rooteamento), transporte e aplicação

OpenWSN: Pilha de Protocolos



OpenWSN: Pilha de Protocolos

□ IEEE 802.15.4g

- ❖ "The role of IEEE 802.15 Smart Utility Networks (SUN) Task Group 4g is to create a PHY amendment to 802.15.4 to provide a global standard that facilitates very large scale process control applications such as the utility smart-grid network capable of supporting large, geographically diverse networks with minimal infrastructure, with potentially millions of fixed endpoints"

□ IEEE 802.15.4e

- ❖ "The IEEE 802.15 Task Group 4e is chartered to define a MAC amendment to the existing standard 802.15.4-2006. The intent of this amendment is to enhance and add functionality to the 802.15.4-2006 MAC to a) better support the industrial markets and b) permit compatibility with modifications being proposed within the Chinese WPAN"

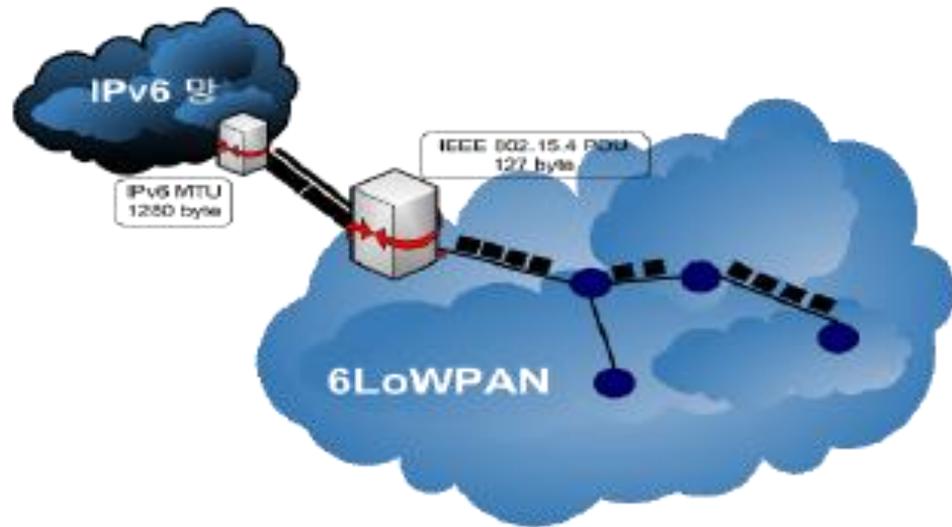
HTTP, SSH, Telnet, FTP	OpenADR, XML
UDP, TCP	WSN RDP
IPv6	IETF ROLL RPL
IEEE802.3	IETF 6LoWPAN
IEEE802.11	IEEE802.15.4e
	IEEE802.15.4g...

Today's Internet

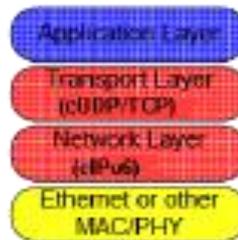
Tomorrow's
Internet of Things

6LoWPAN

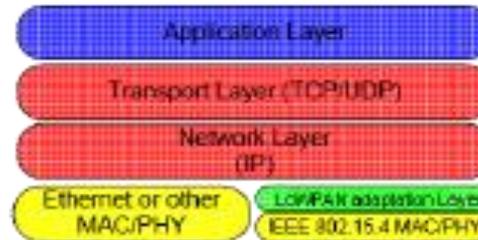
- ❑ Grupo de Trabalho no IETF
- ❑ IPv6 over Low Power Wireless "Personal" Area Networks
- ❑ Definição de **mecanismos de encapsulamento e compressão de cabeçalho** que permitem pacotes IPv6 serem enviados para (ou recebidos de) redes baseadas no IEEE 802.15.4



Host of IP network



Gateway (Dual stack)



6LoWPAN Sensor node



OpenWSN: Pilha de Protocolos

❑ IETF ROLL RPL

- ❖ **ROLL:** *Routing over Low-power and Lossy Networks*
- ❖ **LLNs:** *Low power and Lossy Networks*
- ❖ **RPL:** *Routing Protocol for LLNs*
- ❖ O grupo de trabalho "ROLL" do IETF persegue um padrão para prover **interoperabilidade** entre sensores em redes Bluetooth, Wi-Fi, 802.15.4, etc **com a Internet**
- ❖ Foco é em roteamento , levando em conta segurança

❑ WSN RDP

- ❖ Reliable Data Protocol?

❑ OpenADR, XML

- ❖ Preocupa-se com a padronização dos dados?

HTTP, SSH, Telnet, FTP	OpenADR, XML
UDP ,TCP	WSN RDP
IPv6	IETF ROLL RPL
IEEE802.3	IETF 6LoWPAN
IEEE802.11	IEEE802.15.4e
	IEEE802.15.4g...

Today's Internet

Tomorrow's
Internet of Things

ESTUDO DE CASO: ZIGBEE

Motivação

- ❑ No **contexto de WPANs**, até pouco tempo atrás, buscava-se
 - ❖ **somente o provimento de uma alta taxa de transferência de dados**
- ❑ Algumas aplicações para automação residencial, segurança, agricultura, indústria, etc
 - ❖ **não necessitam de interfaces com altas taxas de transferência de dados** e sim de **interfaces de baixo consumo de energia e baixo custo**
- ❑ Os padrões até então existentes não eram adequados por causa do **alto custo, consumo energético elevado e complexidade de implementação**

Algumas Aplicações (Requisitos Anteriores)

❑ Automação Residencial

- ❑ aquecimento, ventilação, ar-condicionado, segurança, iluminação e controle de objetos

❑ Industrial

- ❑ detecção de situações de emergência, monitoramento de máquinas

❑ Automotivo

- ❑ sensoriamento e comunicação: monitoramento da pressão de pneus

❑ Agricultura

- ❑ sensoriamento e comunicação: umidade do solo, pesticida, herbicida, níveis de pH

❑ Outras

- ❑ controle de produtos eletrônicos, periféricos de PCs, etc
- ❑ requisitos de taxa de dados varia de 115,2 kbps a menos de 10 kbps

IEEE 802.15.4

- ❑ O grupo de trabalho **IEEE 802.15.4** iniciou o desenvolvimento de uma padrão para **LR-WPAN** (Low-Rate WPAN)

- ❑ **Objetivos** do grupo
 - ❖ **prover um padrão** de comunicação com baixa taxa de transferência de dados e com baixíssimos: custo e complexidade de implementação, consumo de energia

 - ❖ **permitir conectividade sem fio** entre dispositivos fixos, portáteis e móveis de custos irrisórios

Características Gerais

Propriedade

Taxa de dados (Raw)

868 MHz: 20 kbps; 915 MHz: 40 kbps; 2.4 GHz: 250 kbps

Alcance

10 - 20 metros

Latência

Abaixo de 15 ms

Canais

868MHz: 1 canal; 915 MHz: 10 canais; 2.4 GHz: 16 canais

Frequência

Duas PHYs: 868 MHz/915 MHz e 2.4 GHz

Endereçamento

Short 16-bit ou 64-bit IEEE

Acesso ao Canal

CSMA-CA e slotted CSMA-CA

Temperatura

-40 a +85 °C

Abordagens para Redução do Consumo:

O Grupo IEEE 802.15.4 focou nas seguintes abordagens:

- ❑ Redução da quantidade de dados transmitidos
- ❑ Redução do ciclo de trabalho da interface de comunicação e da frequência de transmissão de dados
- ❑ Redução da complexidade
- ❑ Redução do alcance de comunicação
- ❑ Implementação de mecanismos de gerenciamento de energia (power-down e sleep modes)

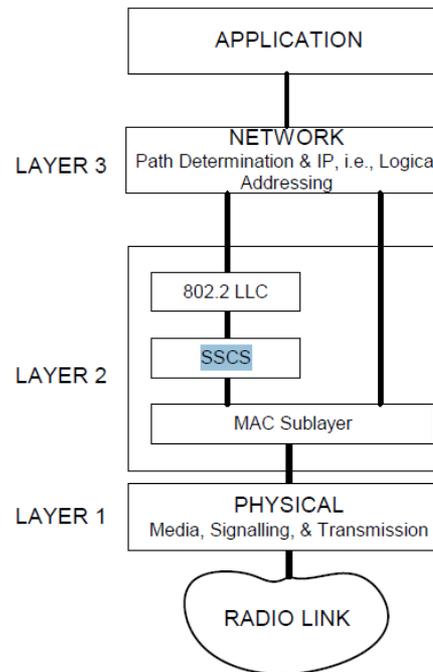
Introdução ao IEEE 802.15.4

- ❑ IEEE 802.15.4 lida apenas com a camada PHY e parte da camada Enlace (Data link layer)
- ❑ Os protocolos de camadas superiores são deixados para as aplicações e para a indústria
- ❑ A Aliança Zigbee é uma associação de empresas envolvidas no desenvolvimento de padrões para as camadas superiores tendo como base o IEEE 802.15.4. Isso inclui os protocolos de rede, segurança e aplicação

Modelo em Camadas do IEEE

802.15.4 (Modelo OSI da ISO)

Modelo OSI da ISO	Modelo IEEE 802	
7. Aplicação	Camadas Superiores	
6. Apresentação		
5. Sessão		
4. Transporte		
3. Rede		
2. Enlace	IEEE 802.2 LLC, tipo I	Outras LLC
	SSCS (Service-Specific Convergence Sublayer)	
1. Física (PHY)	IEEE 802.15.4 (MAC)	
	IEEE 802.15.4 868/915 MHz (PHY)	IEEE 802.15.4 2.4 GHz (PHY)



❑ Modelo OSI da ISO (7 camadas em vez das 5 do modelo Internet)

❑ IEEE 802.2, tipo I é uma camada comum aos padrões IEEE 802. Essa camada é usada, por exemplo, para encapsular datagramas IP e requisições ARP

❑ SSCS: Interface entre a camada MAC e a camada superior, provendo uma forma de acesso às primitivas da camada MAC

Camada de Rede

- ❑ Serviços providos pela camada de rede são mais desafidores pela necessidade das implementações consumirem pouca energia
- ❑ Camada de rede que usa o padrão IEEE 802.15.4 deve possuir como características a auto-configuração e a auto-manutenção de forma a minimizar custos para o usuário
- ❑ IEEE 802.15.4 suporta várias topologias de rede, incluindo estrela e peer-to-peer
- ❑ Tipo de topologia depende da aplicação
 - ❖ Periféricos de PCs podem usar uma topologia estrela
 - ❖ detectores de presença com ZigBee podem necessitar de uma grande área de cobertura, a qual seria melhor coberta utilizando-se uma topologia peer-to-peer

Classes de Dispositivos

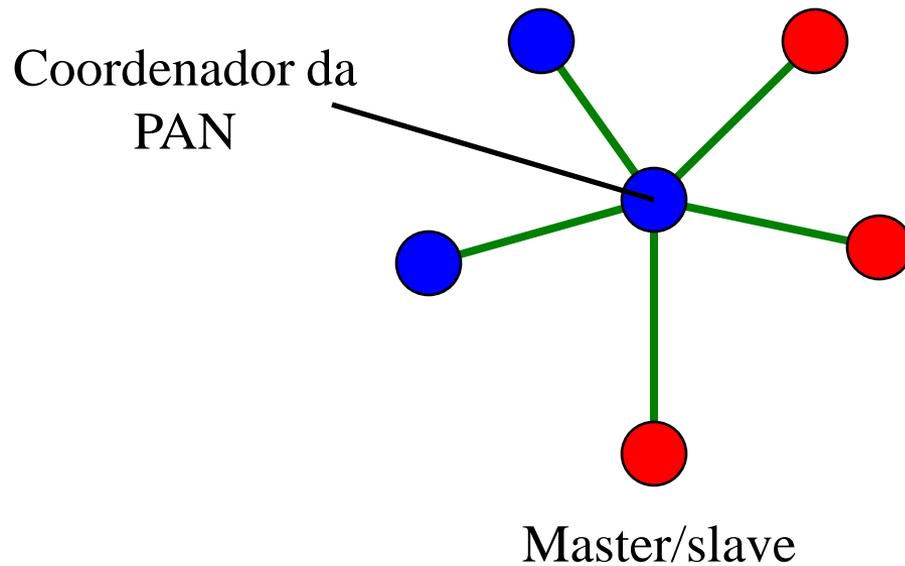
□ Full Function Device (FFD)

- ❖ Qualquer topologia
- ❖ Capaz de ser coordenador de PAN
- ❖ Se comunica com qualquer outro dispositivo
- ❖ Implementa toda a pilha de protocolos

□ Reduced Function Device (RFD)

- ❖ Uso limitado à topologia estrela ou a um end-device em uma rede peer-to-peer
- ❖ Não pode ser coordenador de PAN
- ❖ Muito simples de ser implementado
- ❖ Conjunto de protocolos reduzidos

Topologia Estrela (Star)

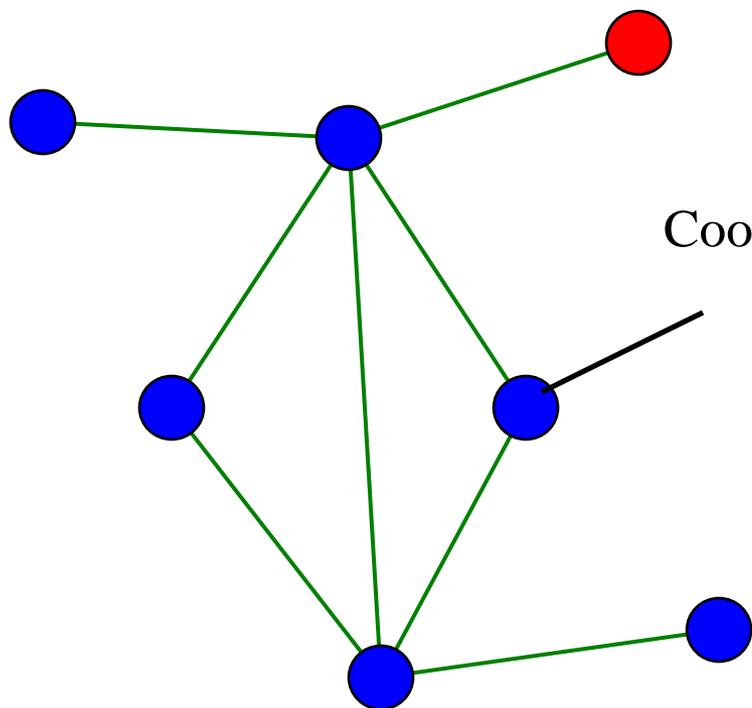


● FFD

● RFD

— Fluxo de comunicação

Topologia Peer-to-Peer

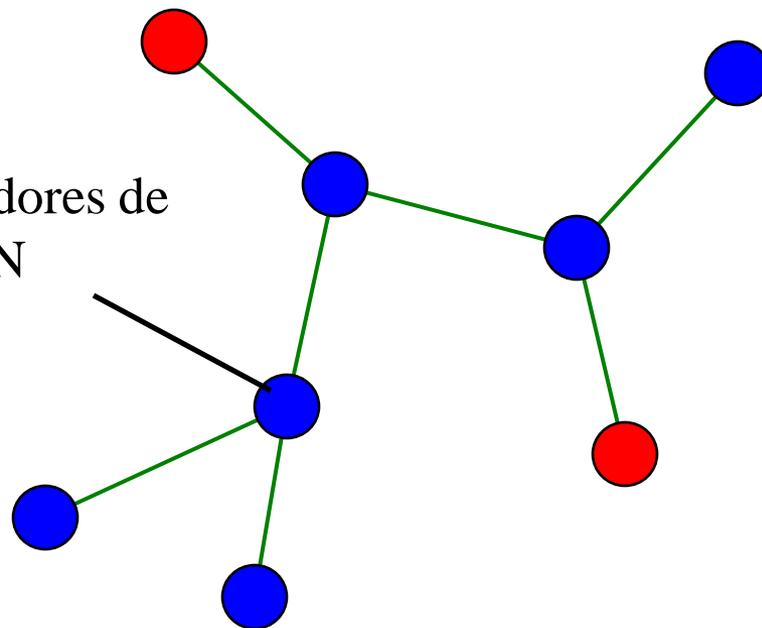


Coordenadores de
PAN

Ponto a ponto

● FFD

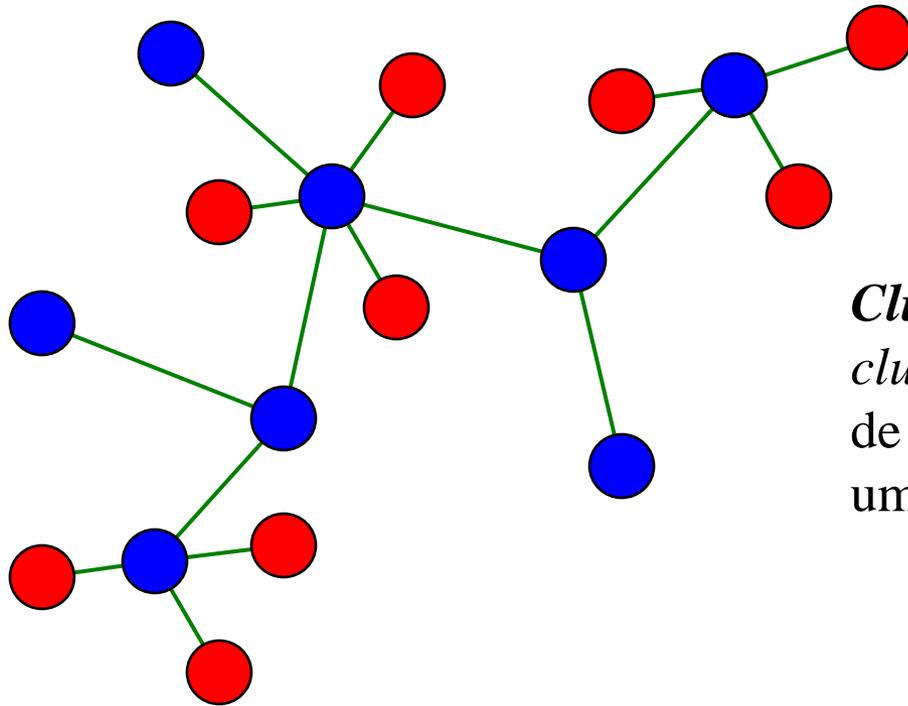
● RFD



Cluster tree

— Fluxo de Comunicação

Topologia Combinada



Clustered stars - exemplo,
cluster nodes existem entre quartos
de um hotel e cada quarto possui
uma rede em estrela para controle

● FFD

● RFD

— Fluxo de Comunicação

Camada Enlace

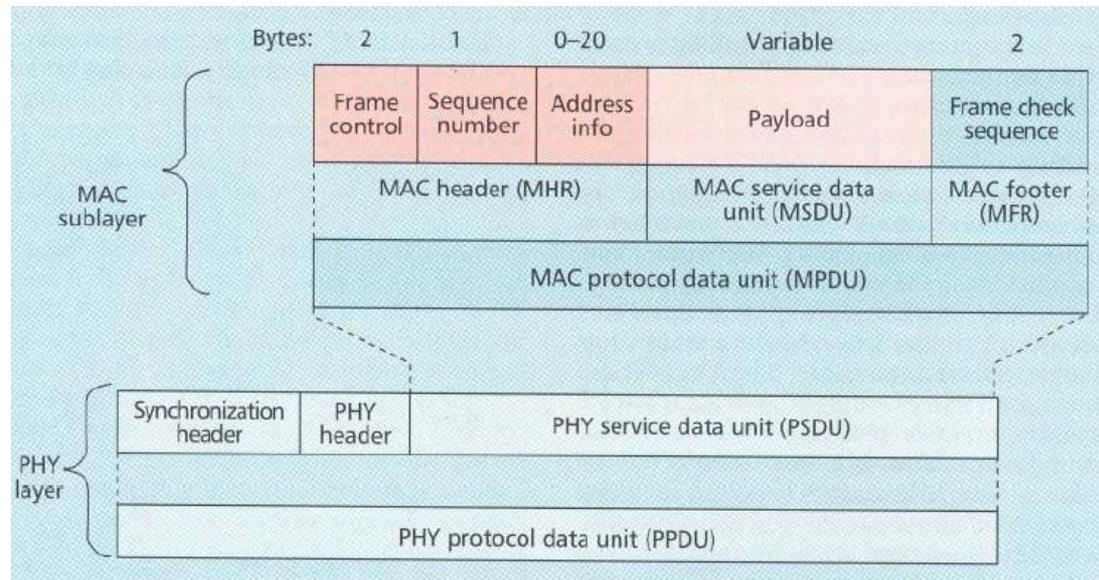
- ❑ IEEE 802 divide a camada enlace em duas subcamadas
 - ❖ MAC e LLC
- ❑ LLC é padronizada e é comum no 802.3, 802.11, 802.15.1
- ❑ IEEE 802.15.4 MAC provê mecanismos de
 - ❖ Associação e desassociação
 - ❖ Entrega de quadro de confirmação (ACK)
 - ❖ Acesso ao canal
 - ❖ Validação de quadros
 - ❖ Gerenciamento de slots de tempo garantidos
 - ❖ Gerenciamento de *beacons*

Camada MAC (Medium Access Control)

- ❑ MAC provê serviços de dados e gerenciamento
- ❑ Serviço de gerenciamento possui 26 primitivas enquanto no IEEE 802.15.1 são 131 primitivas e 32 eventos
- ❑ MAC 802.15.4 é de baixa complexidade, sendo adequada para “low-end applications”
 - ❖ O “custo” é ter menos funções do que o IEEE 802.15.1 (e.g., IEEE 802.15.4 não suporta enlaces síncronos de comunicação de voz)

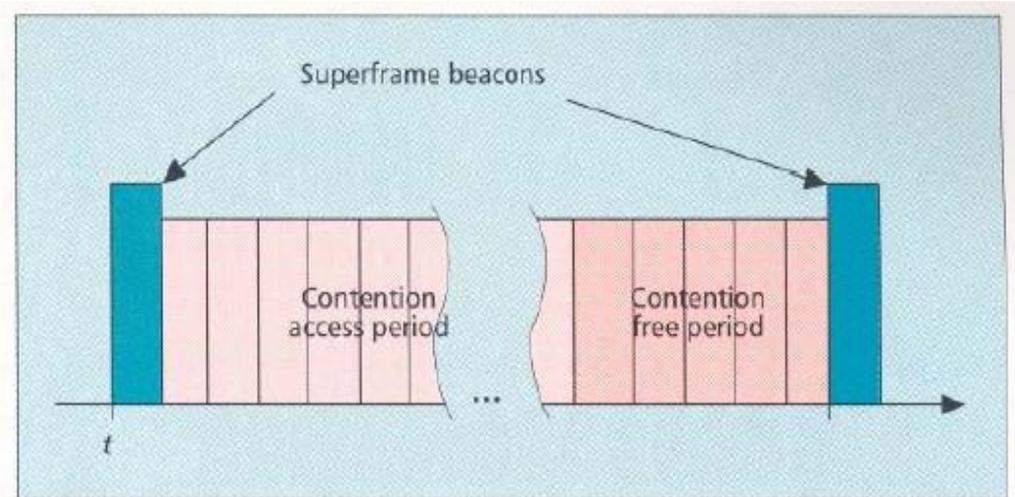
Formato do quadro MAC

- ❑ Campo "Frame control" indica o tipo de quadro MAC sendo transmitido, especifica o formato do campo "Address", e controla confirmações (ACKs)
- ❑ Tipos de endereço: endereço físico de 64 bits e endereço curto de rede de 16 bits
- ❑ Campo "Address" tem tamanho variável de 0 a 20 bytes
- ❑ Campo "Payload" tem tamanho variável mas quadro MAC deve ser ≤ 127 bytes
- ❑ FCS é usado pra verificação de integridade usando CRC de 16 bits



Superframe

- ❑ Certas aplicações requerem BW dedicada para alcançar **baixa latência**
 - ❖ Para isso, podem operar no modo opcional denominado "superframe"
- ❑ Coordenador da PAN transmite beacons de superframe em intervalos pré-determinados divididos em 16 slots de tempo
- ❑ O acesso ao canal é baseado em contenção mas o coordenador da PAN pode atribuir slots de tempo a um único dispositivo necessitando de BW dedicada e de transmissões com baixa latência. Tais slots são chamados de *guaranteed time slots (GTS)* e juntos formam um período livre de contenção.

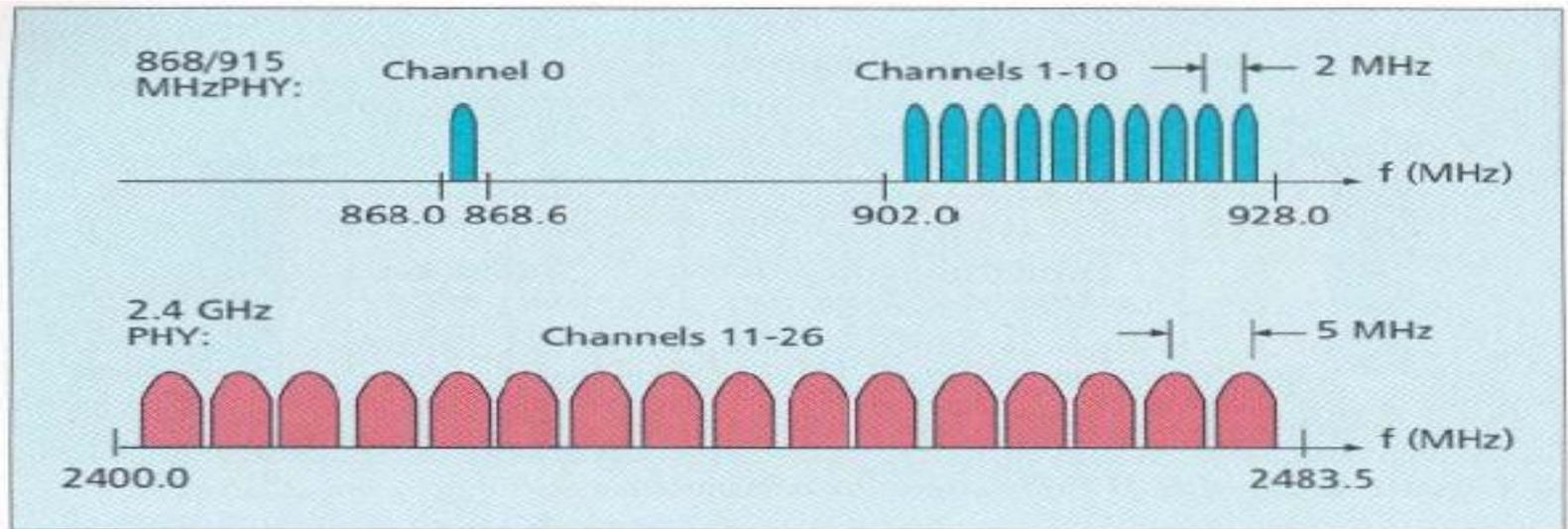


■ Figure 4. The LR-WPAN superframe structure.

Outras Características da MAC

- ❑ Redes habilitadas para o envio de beacons e uso de superframes usam o mecanismo CSMA-CA para controle de acesso múltiplo ao meio
 - ❖ Primeiro verifica se outro dispositivo está transmitindo no mesmo canal. Se estiver, atrasa a transmissão por determinado período de tempo
- ❑ A camada MAC confirma a recepção de quadro de dados com sucesso através do envio de ACK
- ❑ O rascunho do padrão IEEE 802.15.4 especifica 3 níveis de segurança
 - ❖ nenhuma segurança
 - ❖ lista de controle de acesso (segurança não-criptográfica)
 - ❖ segurança baseada em chave simétrica (uso de AES-128)

Camada Física



■ Figure 5. The IEEE 802.15.4 channel structure.

27 canais
distribuídos
em 3 bandas

Channel number	Channel center frequency (MHz)
$k = 0$	868.3
$k = 1, 2, \dots, 10$	$906 + 2(k - 1)$
$k = 11, 12, \dots, 26$	$2405 + 5(k - 11)$

■ Table 2. IEEE 802.15.4 channel frequencies.

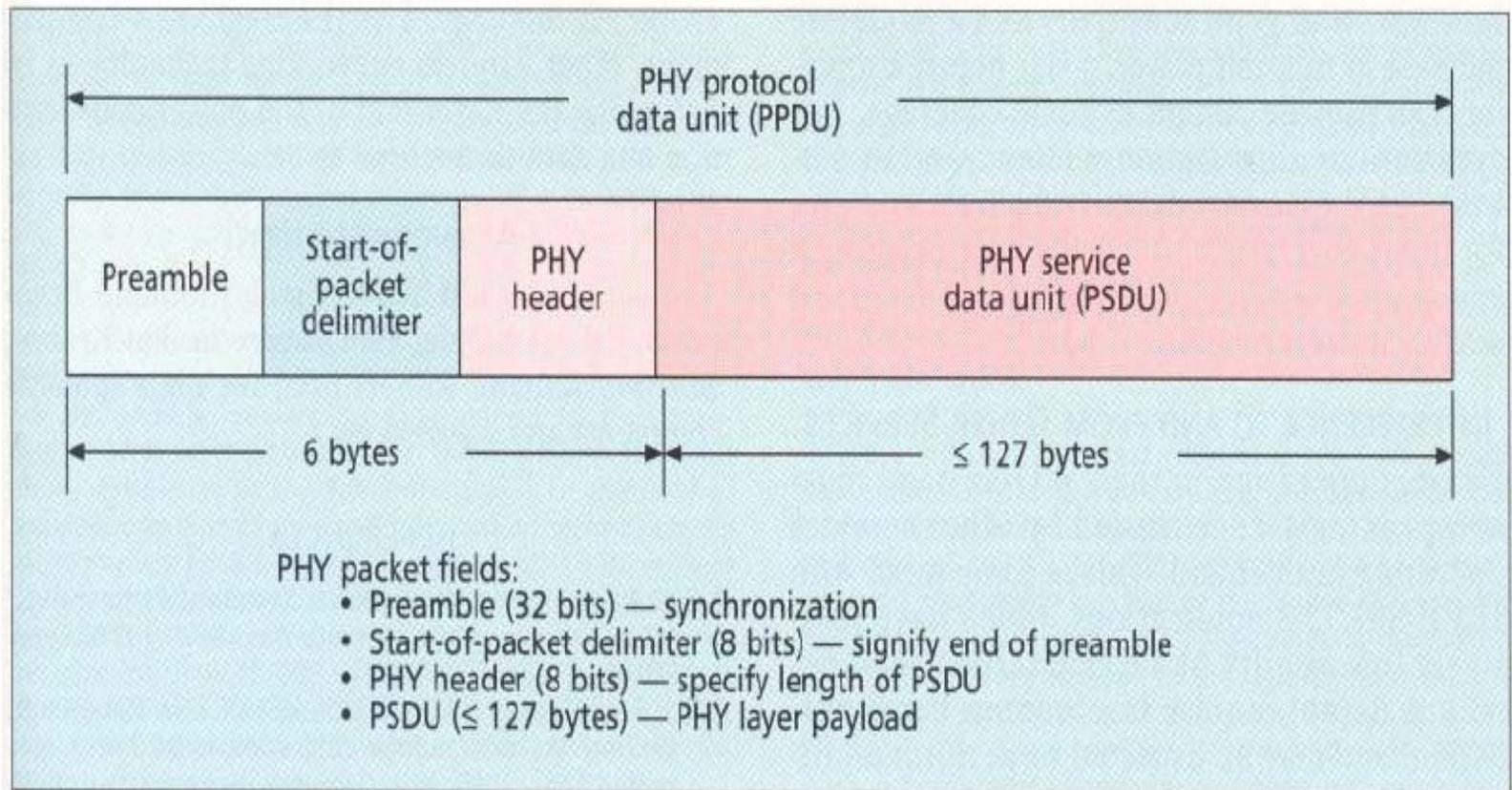
Camada Física

- ❑ Duas possibilidades sendo diferenciadas apenas pela banda (868/915 MHz ou 2,4 GHz)
- ❑ A banda de 2,4 GHz está disponível mundialmente e permite uma taxa de transmissão de 250 kbps
- ❑ 868/915 MHz PHY especifica a operação na banda de 868 MHz na Europa e na banda ISM de 915 MHz nos EUA. As taxas de dados são respectivamente 20 kbps e 40 kbps
- ❑ Diferentes taxas de transmissão podem ser “exploradas” para se alcançar diversos objetivos

Camada Física

- ❑ 27 canais disponíveis considerando-se as 3 bandas
- ❑ Inclui mecanismo de seleção dinâmica de canal para evitar/minimizar interferências
- ❑ Possui diversas funções implementadas
 - ❖ detecção de energia de recepção
 - ❖ indicador de qualidade de enlace
 - ❖ troca de canal
- ❑ Tais funções são usadas pela rede para estabelecer o canal inicial de operação e para alterar o canal usado de acordo com a qualidade do mesmo

Estrutura do "Pacote" da Camada Física



Modulação

PHY	Frequency band	Data parameters			Spreading parameters	
		Bit rate (kb/s)	Symbol rate (kbaud)	Modulation	Chip rate (Mchips/s)	Modulation
868/915	868.0–868.6 MHz	20	20	BPSK	0.3	BPSK
MHz PHY	902.0–928.0 MHz	40	40	BPSK	0.6	BPSK
2.4 GHz PHY	2.4–2.4835 GHz	250	62.5	16-ary orthogonal	2.0	O-QPSK

Interferência

- ❑ Interferência é algo comum na banda de 2,4 GHz por causa da presença de outros dispositivos que operam na mesma faixa
- ❑ Aplicações IEEE 802.15.4 possuem normalmente baixos requisitos de QoS (Qualidade de Serviço) e podem necessitar de múltiplas tentativas para retransmissão de pacotes quando houver interferência
- ❑ Dispositivos IEEE 802.15.4 podem "dormir" até 99,9% do tempo de operação e suas transmissões são de curto alcance
 - ❖ Se não estiverem em torno de "bons" vizinhos na banda de 2,4 GHz, suas transmissões podem ser seriamente afetadas

Bluetooth vs IEEE 802.15.4.

WPAN baseada em Bluetooth

- ❑ Poucos dispositivos
- ❑ Range de comunicação 10m a 100m
- ❑ Taxa de Dados máx 1Mb/s
- ❑ Consumo energético não é dos melhores
- ❑ Tempo de vida da bateria é baixo
- ❑ Topologia Estrela somente (na prática)

IEEE 802.15.4 LR-WPAN

- ❑ Muitos dispositivos
- ❑ Range de comunicação 10m ~ 20m
- ❑ Taxa de dados 20 kb/s, 40kb/s e 250kb/s
- ❑ Consumo de energia é ultra-baixo
- ❑ Bateria pode durar anos
- ❑ Topologia Estrela e Peer-to-Peer

ZIGBEE Alliance

- ❑ A Zigbee Alliance é uma **associação de empresas** envolvidas no desenvolvimento de **especificações para camadas mais elevadas** de dispositivos baseados no IEEE 802.15.4. Inclui, protocolos para a camada de rede, protocolos de segurança e aplicações
- ❑ Foco em automação residencial e predial, controles, equipamentos eletrônicos, periféricos de PCs, brinquedos e monitoração médica

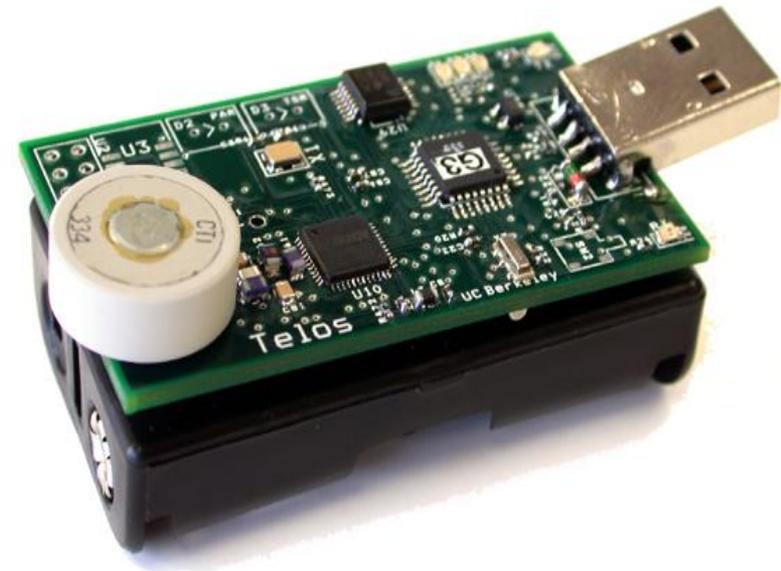


ZIGBEE Alliance

- ❑ Busca simplicidade, longevidade da bateria, capacidade de comunicação via rede, confiabilidade e baixo custo
- ❑ Importante para prover interoperabilidade, certificação e valorização de marcas
- ❑ Empresas promotoras: Honeywell, Invensys, Mitsubishi, Motorola, Samsung e Philips
- ❑ Lista crescente de participantes da indústria mundial buscando soluções e produtos com base no ZigBee

MicaZ

Telos



Exemplo de Implementações com ZigBee

■ MicaZ (AVR)

- 0.2 ms wakeup
- 30 μ W sleep
- 6 mW active
- 45 mW radio
- 250 kbps
- 2.5V min
 - 2/3 of AA capacity

■ Telos (TI MSP)

- 0.006 ms wakeup
- 2 μ W sleep
- 0.5 mW active
- 45 mW radio
- 250 kbps
- 1.6V min
 - 7/8 of AA capacity

On a pair of AA batteries with a 1% duty cycle using TDMA or low power listening:

$$0.01 * (\text{active current}) + 0.99 * (\text{sleep current}) = \text{avg current}$$
$$\text{battery capacity} / \text{avg current} = \text{lifetime}$$

258 days

584 days

SENSORES EM AÇÃO: EXPERIMENTOS E OUTRAS APLICAÇÕES

Experimento

An Experiment using MICAz Wireless Sensor Nodes

- http://www.youtube.com/watch?v=5_RFh3WI5Zo&NR=1

Experimento

105 hop wireless sensor network

- <http://www.youtube.com/watch?v=jtRv2PCeOyM>

Experimento

WiFly: Wireless Sensor Networks and R/C planes

- http://www.youtube.com/watch?v=q6_2gtMf03w&feature=fvW

Experimento

MOSES lab sensor swarming

- <http://www.youtube.com/watch?v=5hQi6Du-csg&feature=related>

Experimento Localization Demo

- <http://www.youtube.com/watch?v=5TKY2njg9UU>

Aplicação Sustainable Water Management

- <http://www.youtube.com/watch?v=sxlnSdyvoIs&feature=related>

Aplicação:

Chicken Tracability System with Zigbee Communication

- <http://www.youtube.com/watch?v=rhUKAZ3pcm8>

Aplicação

Robots with a mind of their own

- <http://www.youtube.com/watch?v=SkvpEfAPXn4>

Aplicação

WIWINE wireless wine technology

- <http://www.youtube.com/watch?v=cxl3Hcfq9k8>

Aplicação

Road tunnel fire rescue

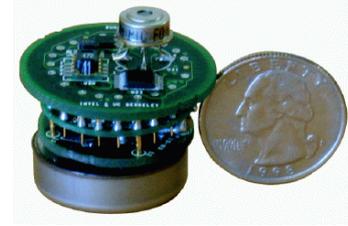
- http://www.youtube.com/watch?v=RU21YO6XF_o

PESQUISA

Visão da Área de Pesquisa

- ❑ A área de pesquisa em redes de sensores sem fio é **vasta**
- ❑ Proliferação de artigos a partir de **2001** (pelo IEEE Xplore)
 - ❖ + de **48000** artigos !
- ❑ Muitas pesquisas estão bastante maduras
 - ❖ Estamos em **2013!**
- ❑ Limitações de *Hardware* e Energia norteiam diversas pesquisas

Exemplo: Consumo Energético

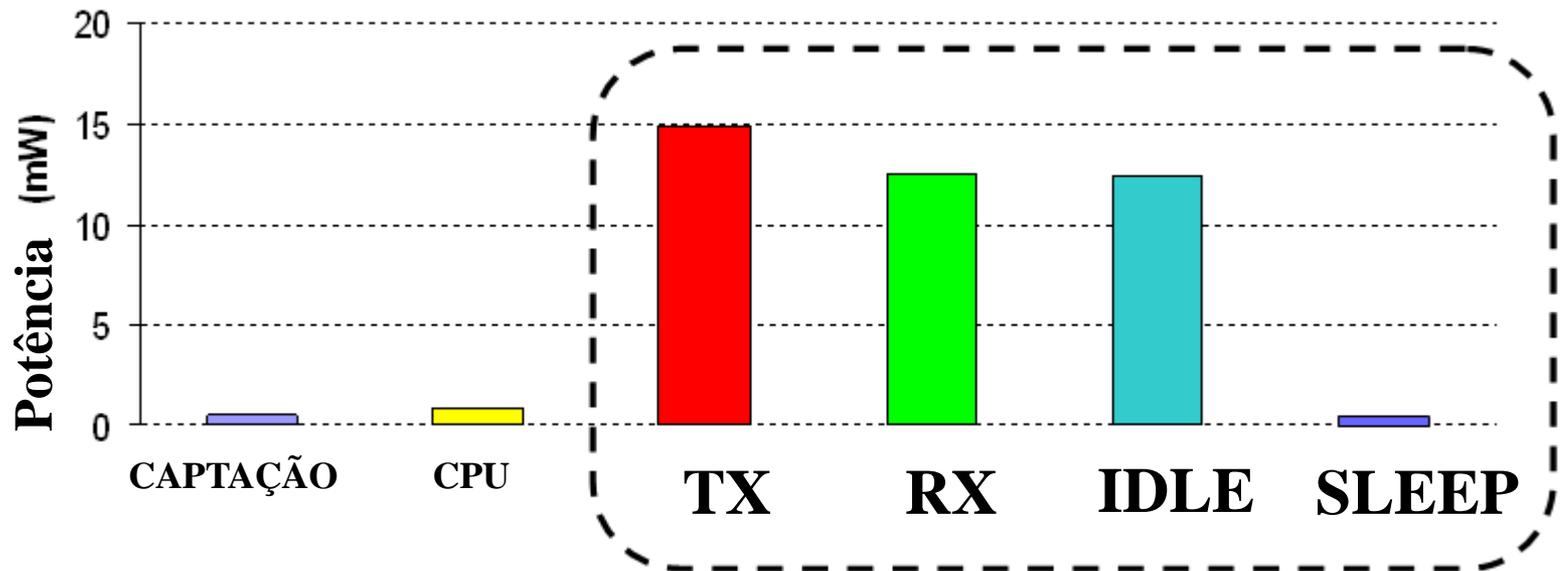


- Consumo em ordem decrescente de importância
 - ❖ Mobilidade
 - ❖ Comunicação
 - ❖ Protocolos (MAC, roteamento)
 - ❖ CPU (processamento, agregação de dados)
 - ❖ Captação (depende do que deve ser "captado")

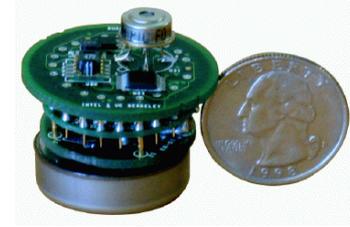
E.g, Com Motes 1 byte transmitido consome o mesmo que 11000 ciclos de CPU !

Exemplo: Consumo Energético

Consumo de Energia de um Sensor (Exemplo)



Exemplo: Consumo Energético



- A energia gasta por bit transmitido é dependente do desempenho de comunicação desejado e do tipo de modulação escolhido

- Energia gasta com rádio
 - ❖ Inicialização da Interface de Rádio
 - ❖ Idle state (captação + interface de rádio)
 - ❖ Recepção de Pacote
 - ❖ Transmissão de Pacote

E.g, Com Motes

Battery Lifetime for sensor reporting every minute		
	Duty Cycle	Estimated Battery Life
Full time listen	100%	3 days
Full time low power listen	100%	6.54 days
Periodic Multi-hop Listening	10%	65 days
No Listen (no Multi-hop)	0.01%	years

Alguns dos Principais Problemas

- ❑ **Maximização do tempo de vida da rede**
 - ❖ Protocolos, softwares e hardwares eficientes
 - ❖ Considerando todas as camadas da pilha de protocolos
- ❑ Fontes de Alimentação
 - ❖ Miniaturização de baterias
 - ❖ Extração de energia do ambiente
 - ❖ Micro-usinas
- ❑ Gerenciamento e Auto-organização
- ❑ Escalabilidade
- ❑ Integração com a Internet
- ❑ Sincronização
- ❑ Robustez e Tolerância a Falhas
- ❑ Roteamento
- ❑ Localização
- ❑ Agregação de Dados
- ❑ Mobilidade

Alguns dos Principais Problemas

- ❑ Endereçamento
- ❑ Segurança
- ❑ Interoperabilidade
- ❑ Outras vertentes
 - ❖ Redes de Sensores para Estudo de Planetas
 - ❖ Redes de Sensores Aquáticas

Tudo isso lidando com limitações de *hardware* e energia!

Soluções podem depender da aplicação!