Rede de Sensores: Evolução, Aplicações e Desafios

Prof. Dr. Shusaburo Motoyama
Faculdade de Campo Limpo Paulista (FACCAMP)
Campo Limpo Paulista, SP, Brazil
Email: shumotoyama@gmail.com

Organização da Palestra

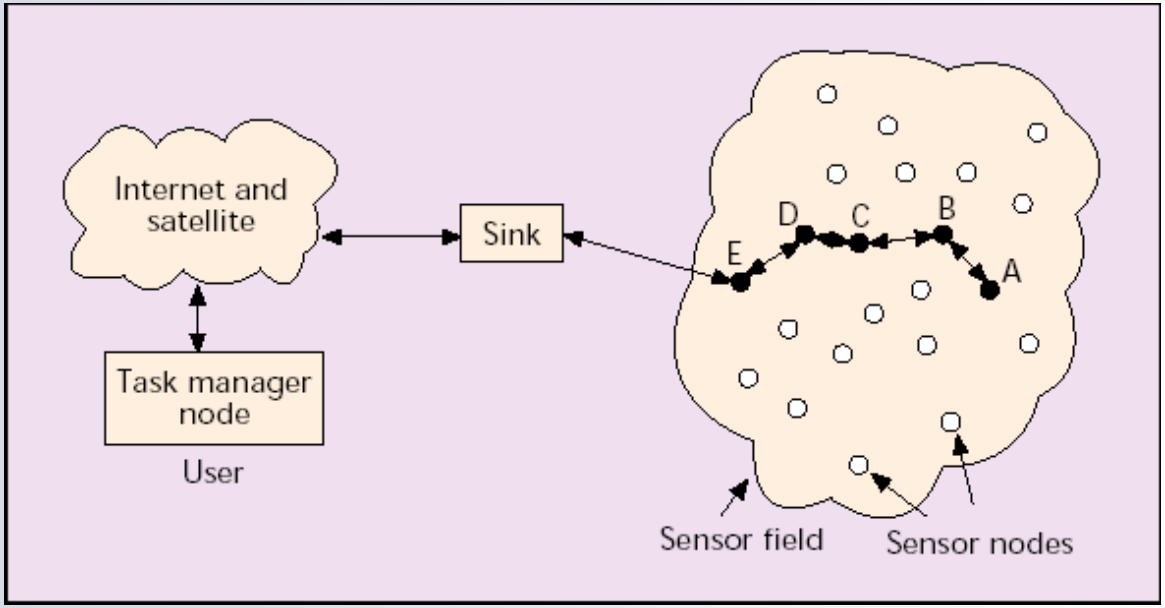
- Rede de sensores sem fio
- Evolução
- Aplicações
- Arquitetura em camadas
- Rede corporal de sensores
- Observações finais

Rede de Sensores Sem Fio

- Resultado dos avanços tecnológicos em:
  - miniaturização dos componentes eletrônicos,
  - desenvolvimento de soluções em software inteligente,
  - evolução de sistemas embarcados de baixo consumo de energia,
  - melhorias em telecomunicações e em redes de computadores.
- Sensor
  - É um transdutor
  - Converte fenômenos físicos, por ex., calor, luz, movimento, vibração, sons, etc, em sinais elétricos.
- Nó sensor
  - Unidade básica de uma rede de sensores
  - Contém sensores, processador, memória, transmissor/receptor e fonte de energia.

Rede de Sensores Sem Fio

- Rede de sensores
  - Consiste de um grande número de nós sensores.
  - Nós distribuídos dentro ou bem perto do fenomeno a ser monitorado.



Fonte: I.F.Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", *Computer Networks (Elsevier) Journal*, March 2002

Redes de Sensores: Evolução

- Início: durante a Guerra fria nos EUA
  - Desenvolvimento de um sistema de vigilância com sensores acústicos no fundo do oceano para detectar submarino soviético (SOSUS – Sound Surveillance System).
  - É utilizado atualmente por NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) para monitorar atividades sísmicas e vida marinha.
- 1980: Redes de sensores distribuídos da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)
  - Concomitante com o início da ARPANET (predecessor de Internet)
  - Sensores de baixo custo distribuídos colaborando um com outro, operando independentemente, sendo a informação encaminhada para outro nó que faça melhor uso dela.

Redes de Sensores: Evolução

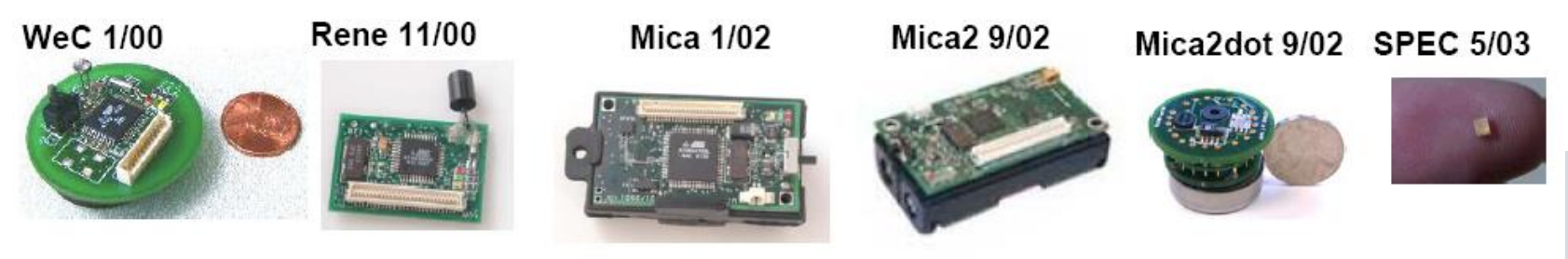
- Programa ambicioso na época em que a capacidade de processamento dos processadores era muito baixa.
- O projeto trouxe evolução na área de computação distribuída, processamento de sinal, rastreamento, etc.
- 2002: experiência em Duck Island para estudar melhor os comportamentos dos pássaros.

- 150 nós sensores distribuídos ao logo da ilha enviam dados de temperatura, pressão e umidade para um dispositivo central.
- Dados disponibilizados na Internet através um link de satélite.

Fonte: http://courses.missouristate.edu/HuiLiu/csc690/slides/Wireless%20Sensor%20Networks.ppt

Redes de Sensores: Evolução

- 2004: Aparecimento de plataformas de WSN
  - Mica 2, Mica2Dot, MicaZ e Telos B
  - Software de infraestrutura: TinyOS, TinyDB
- 2005 em diante: mais áreas de aplicação da WSN.
  - Agricultura de precisão
  - Saúde
    - WBAN (wireless body area network) – para monitoramento de sinais vitais do corpo humano
    - WSAN (wireless sensor and actor network) – rede de sensores e atuadores sem fio.
- Atualmente: Automação de casa (lar) e Internet das coisas.



Ad Hoc Network ou MANET (Mobile Ad hoc Network)

- Uma rede sem infraestrutura, utiliza as capacidades dos participantes.
- ***ad hoc network*** – uma rede construida "para uma finalidade especifica".
- Exemplo mais simples: Laptops em uma sala de conferência - uma rede ***single-hop ad hoc.***

Aplicações

- Automação de um pavimento de fábrica.
- Recuperação de desastre.
- Comunicação carro-a-carro
- Formação de uma rede militar

Rede de sensores e rede ad hoc

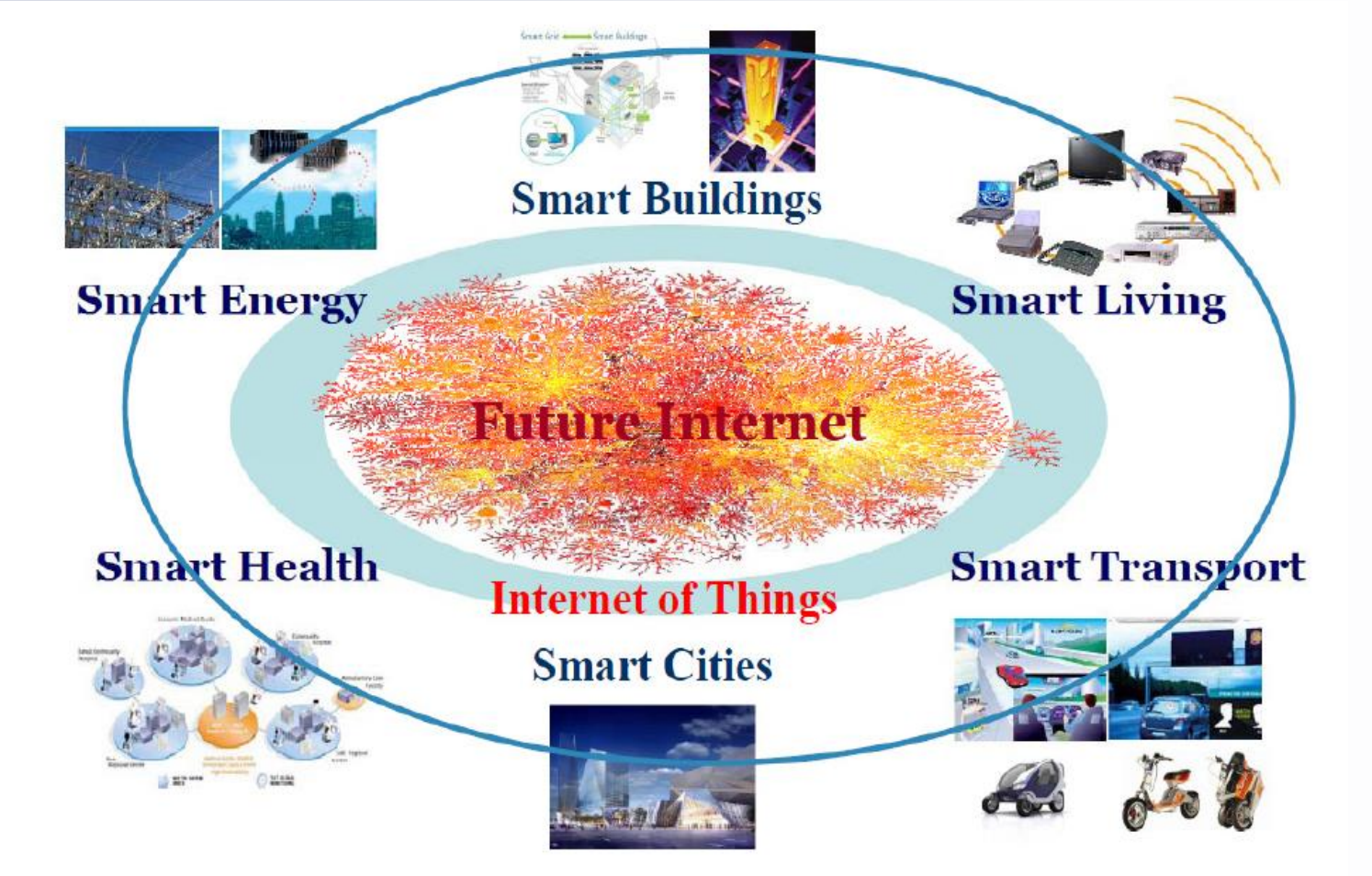
Rede de sensores vs rede ad hoc:

- O número de nós em uma rede de sensores pode ser muitas ordens de grandeza maior do que a rede ad hoc.
- Nós sensores são densamente espalhados.
- Nós sensores são limitados em energia, capacidades computacionais e memória.
- Nós sensores são propensos a falhas.
- A topologia da rede de sensores muda frequentemente.
- Nós sensores usam principalmente a difusão, a maioria das redes ad hoc é baseada em p2p.
- Nós sensores podem não ter ID global.

Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)

- IoT consiste em tornar os objetos de uso cotidiano em objetos inteligentes e interligar com a Internet. Possível graças ao uso de sensores e de *tags* RFID (identificador por radio frequência) endereçáveis, fixadas nos objetos, que se comunicam por meio de uma rede, e esta, com a Internet
- O RFID é usado atualmente em:
  - cobrança de pedágio automático em rodovias
  - gestão da cadeia de suprimentos
  - e-saúde
  - identificação funcional por meio de crachás

Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)



Fonte: Vermesan, O., et al. 2011. Internet of Things Strategic Research Roadmap. *European Research Cluster*. [Online] Disponível: http://www.internet-of-things-research.eu/

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicações Militares

- Monitoramento de forças aliadas, equipamentos e munições
- Vigilância de campo de batalha
- Reconhecimento de forças inimigas e a região (terreno)
- Alvos
- Avaliação de perdas na batalha
- Detecção de ataque nuclear, biológico e quimico

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicações ambientais

- Detecção de incêndios florestais
- Mapeamento da biocomplexidade do ambiente
- Detecção de inundações
- Agricultura de precisão
- Poluição do ar e da água

Zebranet: uma WSN para estudar o comportamento das zebras

• Colares equipados com GPS são colocados em zebras.
• Dados são enviados via peer-to-peer.
• Algumas zebras dão acesso aos dados.

Fonte:http://courses.missouristate.edu/HuiLiu/csc690/slides/Wireless%20Sensor%20Networks.ppt

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicação em Saúde

- Telemonitoramento dos sinais vitais do corpo humano (Redes de sensors corporais, WBAN – wireless body area network)
- Rastreamento e monitoramento de médicos e pacientes dentro de um hospital (IoT)
- Administração de medicamentos em hospitais (IoT)

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicações em Escritório e Lar (Home and Office Applications)

- Automação de escritórios e de lares
- Ambientes inteligentes (Smart environment)

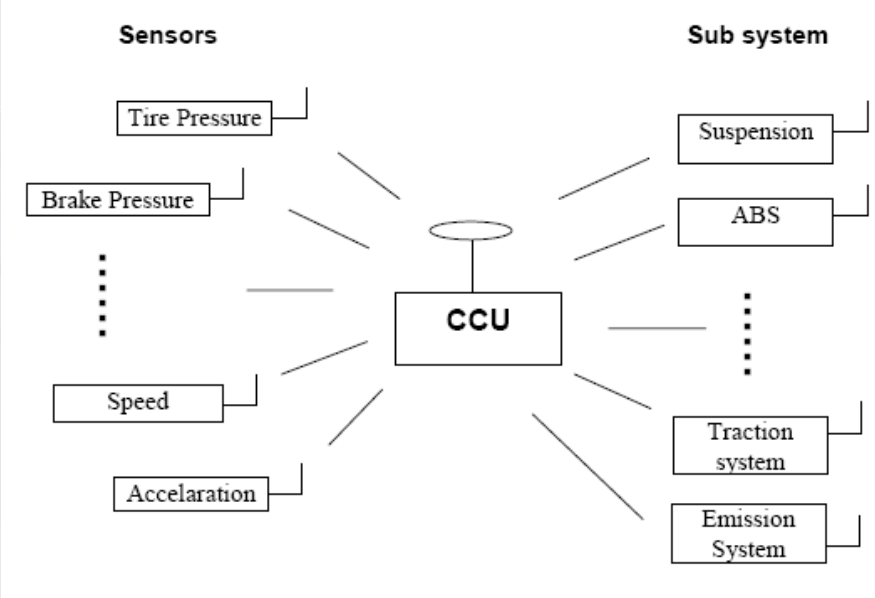
Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicações Automotivas

- Redução de fiação
- Medições de reservatórios e de partes rotativas
- Inspeções técnicas remotas
- Monitoramento de peças, por ex., suspensão.

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Aplicações Automotivas



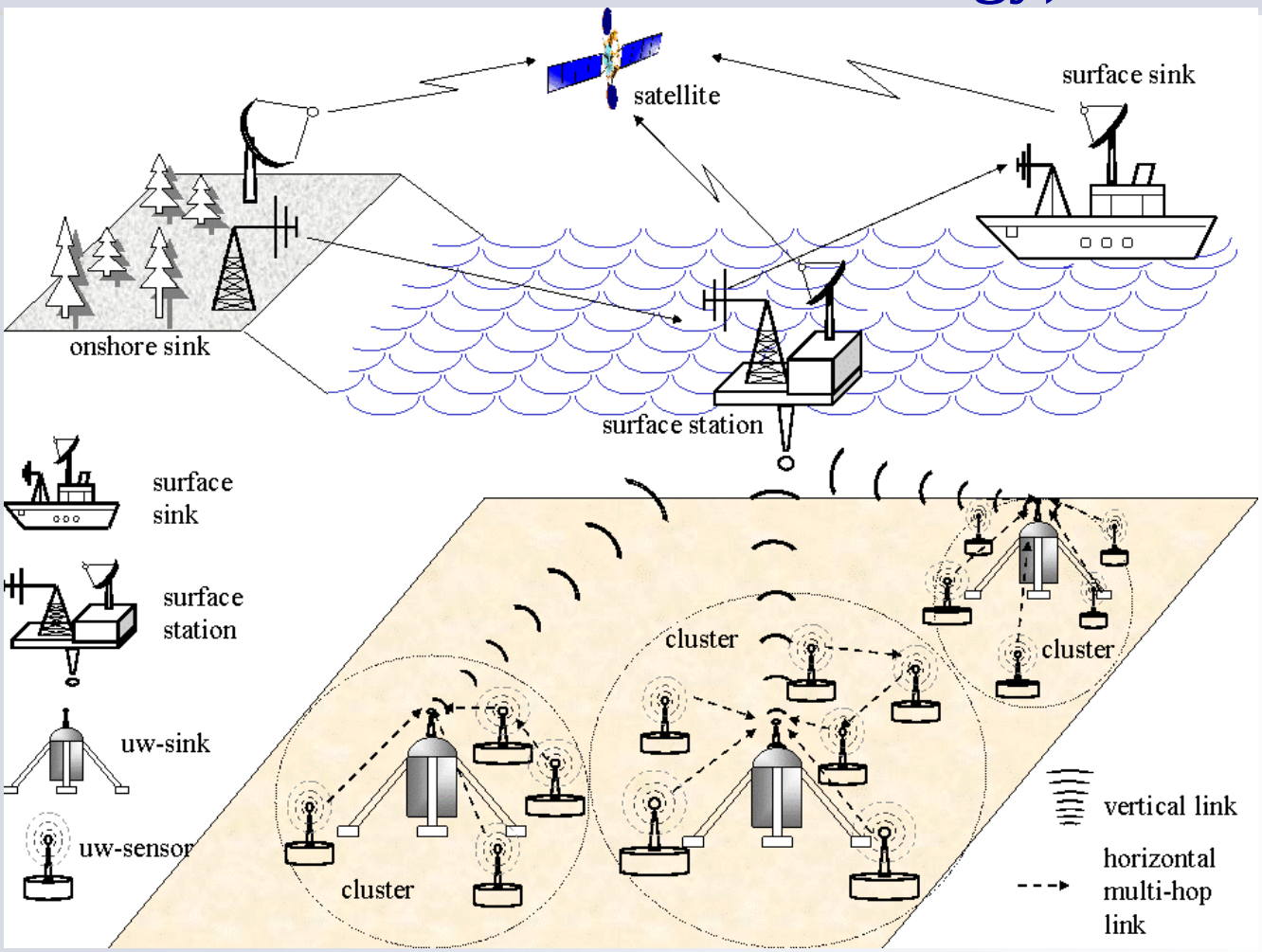
Fonte: http://www.ann.ece.ufl.edu/courses/eel6935_09spr/papers/EEL6935_Presentation_Arslan.pptx

Aplicações de Rede de Sensores Sem fio

Outras aplicações

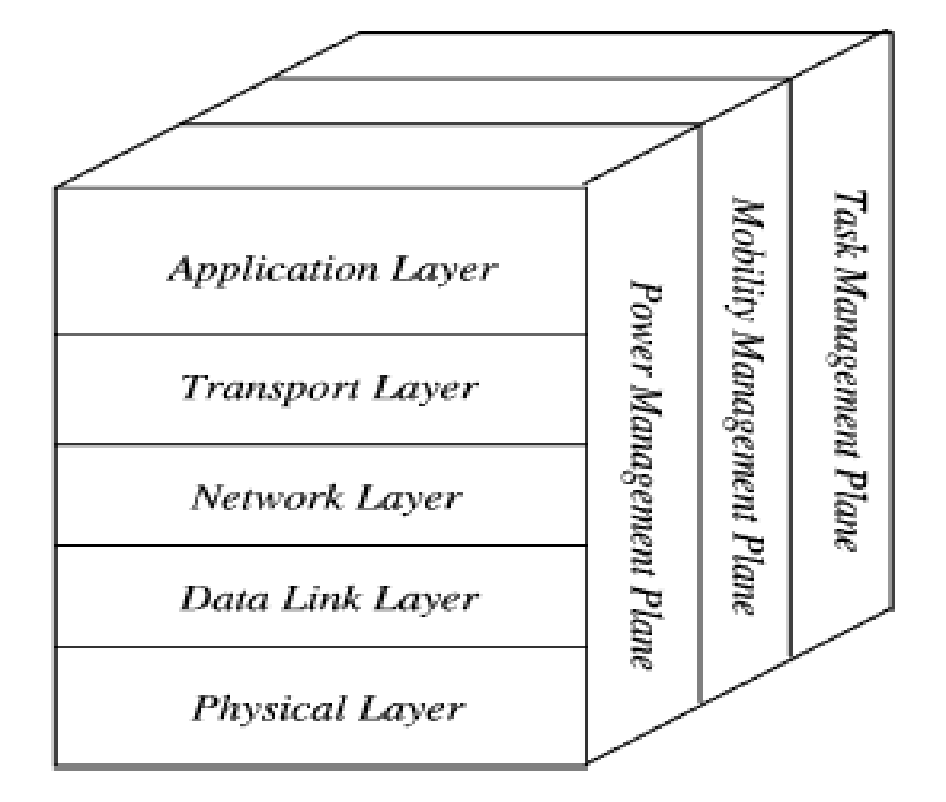
- Controle ambiental em prédios de escritórios (economizar energia)
- Museus Interativos
- Detecção e monitoramento de roubos de carros
- Controle de inventários
- Rastreamento e detecção de veículos

Redes de sensores acústicos submersos (ref. Georgia Institute of Technology)



Fonte: http://www.ann.ece.ufl.edu/courses/eel6935_09spr/papers/EEL6935_Presentation_Arslan.pptx

Arquitetura em camadas de redes de sensores



Fonte: I.F.Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci,
"Wireless Sensor Networks: A Survey", *Computer Networks (Elsevier) Journal*, March 2002

Camada Física

Responsável por:

- Seleção de frequência
- Geração da portadora de frequência
- Deteção de sinal
- Modulação
- Criptografia

Camada Física

Desafios:

- Custo de Hardware
  - Como conseguir um nó menor que $1?
- Radio
  - Ultrawideband?
  - Zigbee/IEEE 802.15.4

Camada Enlace de Dados

Responsável por

- Multiplexação de fluxo de dados
- Detecção de quadro de dados
- Controle de acesso ao meio
- Controle de erro

Camada Enlace de Dados: MAC

Objetivos:

- Criação de uma infraestrutura de rede
- Compartilhamento eficiente e justo dos recursos de comunicação entre os sensores

Camada Enlace de Dados: MAC

Problemas dos protocolos existentes:

- Sistema celular – rede de um pulo (single hop) não é viável para rede de sensores (baixa potência dos nós sensores)
- A conservação de energia não é levada em conta
- Segurança não é considerada

Camada Enlace de Dados: MAC

Tecnologia atual:

- Bluetooth e Mobile Ad Hoc Network (MANET)
- Ambas as tecnologia são projetadas para um número pequeno de nós
- Consumo de energia é ainda um problema

Camada Enlace de Dados: MAC

Esquemas MAC alternativos:

- MAC próprio para redes de sensores
- Controle de acesso ao meio adaptativo (Self-Organizing) para rede de sensores
- Meio de acesso baseado em CSMA
- Hibrido entre TDMA/FDMA

Camada Enlace de Dados: MAC

Economia de energia:

- Estratégia básica: desligar o rádio transmissor quando não está transmitindo
- Pode ser ineficaz devido ao custo de religar
- Gerenciamento dinâmico de energia pode ser uma solução

Camada Enlace de Dados: MAC

Desafios:

- MAC para redes de sensores sem fio
- Modos de economizar energia
- ARQ e FEC para camada enlace de dados

Camada de Rede

Princípios de projeto:

- Eficiência de energia
- Nós Data-centric (nós conscientes de dados)
- Agregação de dados não é sempre desejável

Camada de Rede

Possíveis soluções:

- Rota de máxima eficiência energética (maior energia em cada nó)
- Rota de energia mínima (menor gasto energético)
- Rota de mínimo pulo

Camada de Transporte

- Confiabilidade fim-a-fim
  - Retransmissão
  - Congestão
- Segurança fim-a-fim
  - Autenticação, criptografia, integridade dos dados

Camada de Aplicação

- Gerenciamento de rede de sensores
- Requisição de banco de dados (Database queries)
- Sincronização/calibração de tempo?
- Outros?

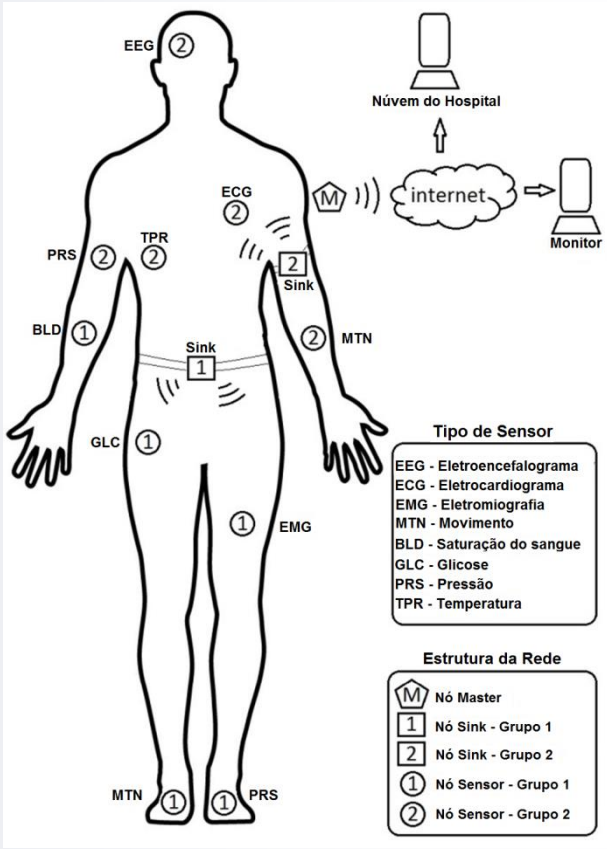
Rede Corporal de Sensores, WBAN – Wireless Body Area Network

Vantagens de uma WBAN

- Gestão da Saúde.
- Monitoramento Continuo de sinais fisiológicos.
  - Temperatura
  - Pressão
  - Batimento cardíaco
  - Glicemia, etc
- Garante Mobilidade do Paciente.
- Monitoramento pós-alta em casa

Conceitos

- As WBANs podem ser empregadas em diversas áreas:
  - Medica
  - Entretenimento
  - Militar
- Componentes de uma WBAN:
  - Nó Sensor
  - Nó Atuador
  - Dispositivo Pessoal (sink)



Fonte: "Controle de Acesso ao Meio (MAC) Baseado em *Polling* Hierárquico para Rede Corporal de Sensores sem Fio"
Dissertação de mestrado de Fernando Di Gianni

Desafios

Características Essenciais

- Taxa de Dados
- QoS
  - Sensores prioritários
- Segurança
  - Dados seguros (ACK)
- Privacidade
  - Criptografia

Taxa Média de Dados

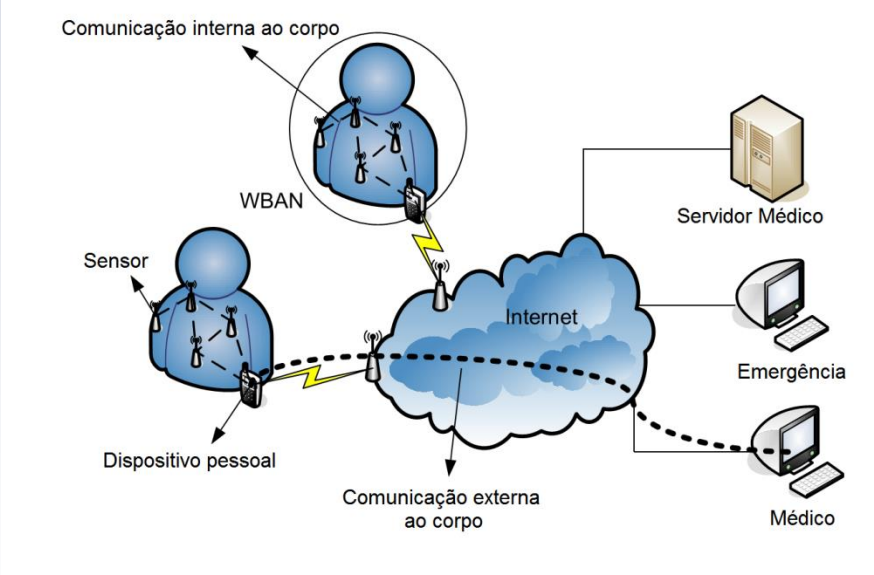
Aplicações WBAN e Taxa Média de dados (Latré et al. 2010).

Application	Data Rate	Bandwidth	Accuracy
ECG (12 leads)	288 kbps	100-1000 Hz	12 bits
ECG (6 leads)	71 kbps	100-500 Hz	12 bits
EMG	320 kbps	0-10.000 Hz	16 bits
EGG (12 leads)	43.2 kbps	0-150 Hz	12 bits
Blood saturation	16 kbps	0-1 Hz	8 bits
Glucose monitoring	1600 kbps	0-50 Hz	16 bits
Temperature	120 kbps	0-1 Hz	8 bits
Motion sensor	35 kbps	0-500 Hz	12 bits
Cochlear implant	100 kbps	-	-
Artificial retina	50-700 kbps	-	-
Audio	1 Mbps	-	-
Voice	50-100 kbps	-	-

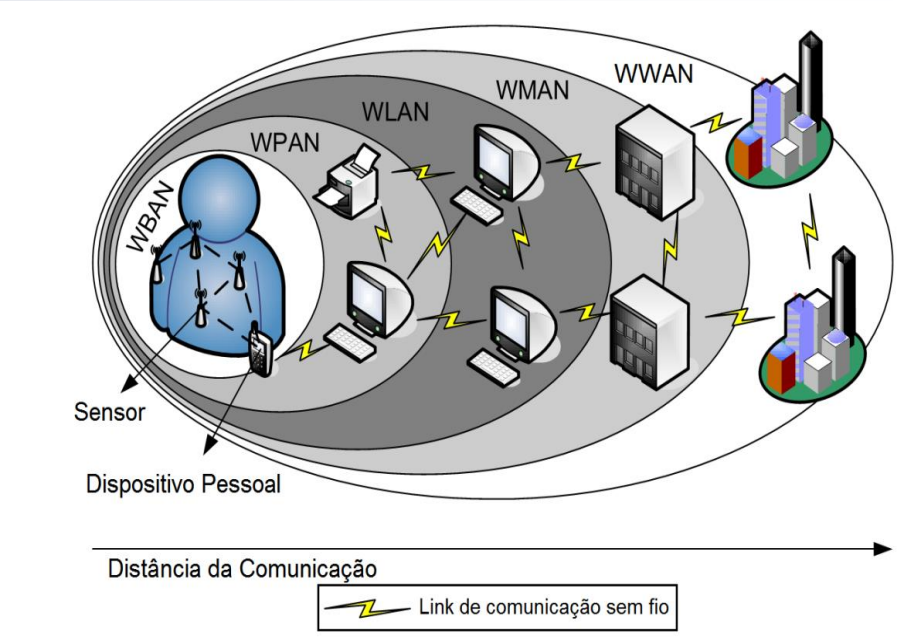
Fonte: B. Latré, B. Braem I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, “A survey on wireless body area networks,” Wireless Networks, Volume 17 Issue 1, January 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA

Estrutura da Rede

Tipos de Tráfego:
Interno e Externo ao corpo



Posicionamento da WBAN



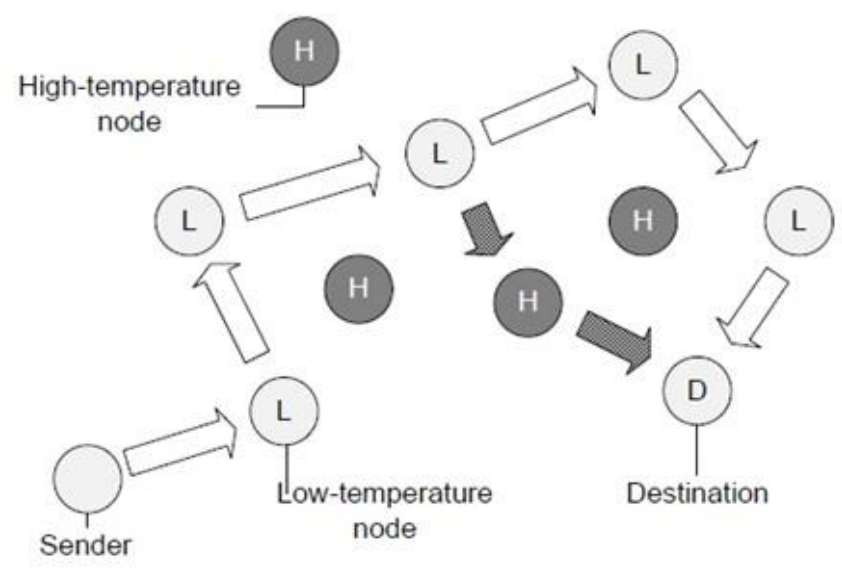
Fonte: B. Latré, B. Braem I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, “A survey on wireless body area networks,” Wireless Networks, Volume 17 Issue 1, January 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA

Arquitetura de Comunicação

- Camada Física
  - Comunicação por RF.
  - Tecido humano absorve energia do rádio.
  - Taxa de absorção específica (SAR) baixa.
  - Linha de visada LOS (*Line of Sight*) e sem linha de visada NLOS (*Non Line of Sight*) entre sensores.
  - Movimento do Corpo.
- Camada MAC
  - Bluetooth-IEEE 802.15.1.
  - ZigBee-IEEE802.15.4.
  - Novo IEEE 802.15.6.

Arquitetura de Comunicação

- Camada de Rede
- Roteamento:
  - Baseado em Temperatura
  - Baseado em Cluster.



Roteamento por temperatura (Latré et al. 2010).

Fonte: B. Latré, B. Braem I. Moerman, C. Blondia and P. Demeester, “A survey on wireless body area networks,” Wireless Networks, Volume 17 Issue 1, January 2011, Kluwer Academic Publishers Hingham, MA, USA

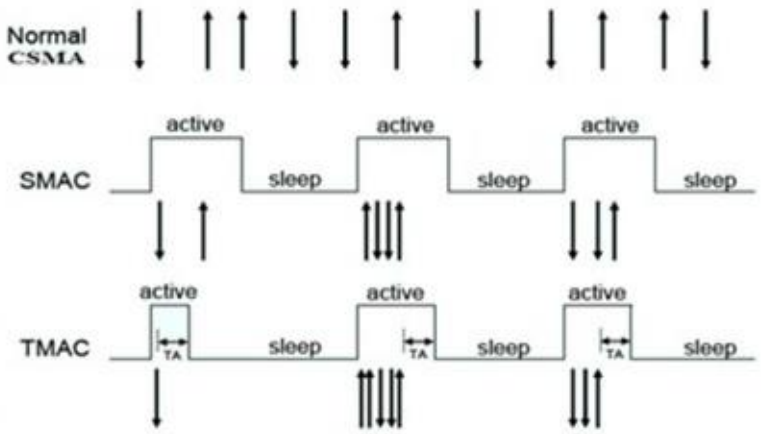
Camada MAC

- Os métodos de controle de acesso ao meio na WBAN devem ser projetados para economizar energia. Nesta fase de comunicação, o consumo de energia pode ser grande.
- Controle de Acesso – MAC
  - Baseados em Contenção.
    - Usa técnica CSMA/CA.
  - Livres de Contenção.
    - TDMA e Polling.

Camada MAC

- Redes sensores em geral utiliza MAC baseado em Contenção:
  - Baseado em CSMA/CA.
  - RTS/CTS/DATA/ACK.
  - Sincronização modo de operação do radio.
  - escuta (ativo-*listen*) e repouso (*sleep*)

Ciclos de operação do S-MAC com periodos ativos e de repouso fixos (Chen 2005).



Ciclos Ativos e Repousos dos S-MAC e T-MAC (Dam et al. 2003).

Fonte: T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," SenSys 2003, Los Angeles, California, USA, 2003

Camada MAC

- A fase de comunicação em que são trocadas as informações de RTS/CTS/DATA/ACK, consome razoável energia. Não é adequado para WBAN.

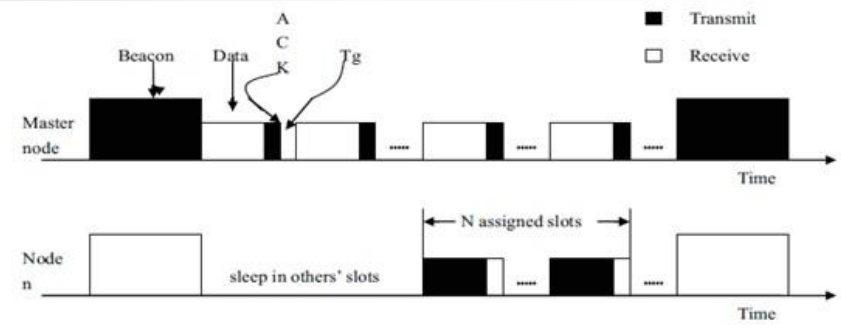
- Protocolo MAC Livre de Contenção:
  - Topologia estrela.
  - Nó Central, controla as operações da rede.
  - Baseados em TDMA ou Polling.
  - Sensores tem poucas funções, solicitação de acesso envio de dados.

Camada MAC

Esquema TDMA

- Quadro de tempo é dividido em três partes:
  - Beacon;
    - Controle, Sincronismo e delimitador de quadros.
  - Downlink (de nó central para nós)
    - Unicast ou Broadcast.
  - Uplink (dos nós para nó central)
    - Somente nós agendados podem transmitir

Estrutura dos Quadros



Estrutura do quadro TDMA MAC (Yan, Z., and Liu. 2011).

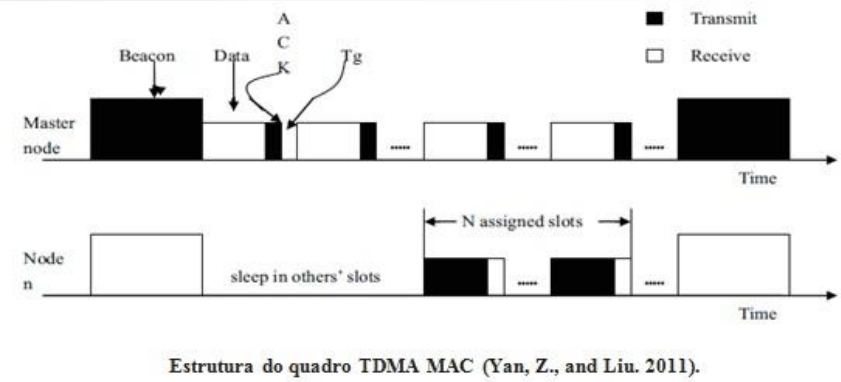
Fonte: Z. Yan & B. Liu, (2011, July). A context aware MAC protocol for medical Wireless Body Area Network. In Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International (pp. 2133-2138). IEEE.

Camada MAC

Protocolo Sensível ao Contexto

- Baseado no contexto de Normalidade ou Urgência do Paciente.
- Parâmetros ficam armazenados no nó Central.
- Determinação de Slots e taxa de dados depende do estado do paciente.

Estrutura do Quadro



Estrutura do quadro TDMA MAC (Yan, Z., and Liu. 2011).

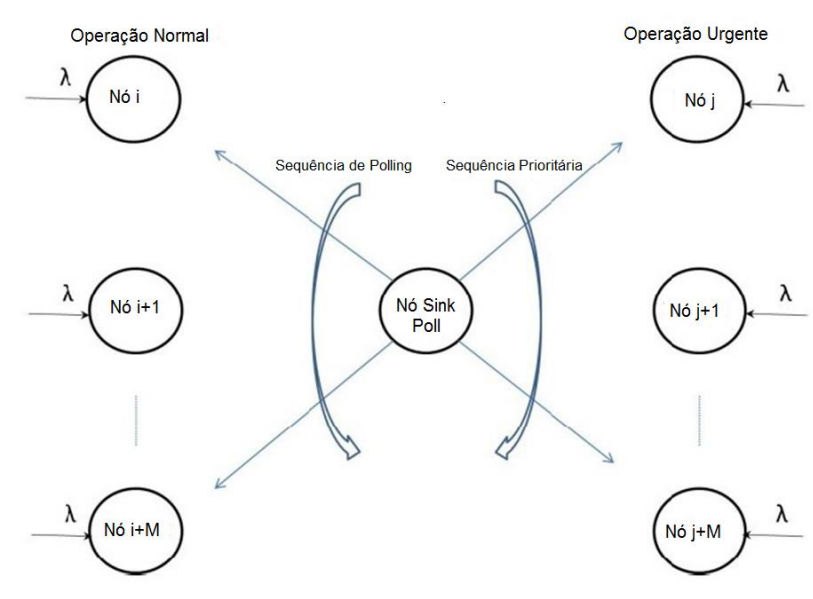
Fonte: Z. Yan & B. Liu, (2011, July). A context aware MAC protocol for medical Wireless Body Area Network. In Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International (pp. 2133-2138). IEEE.

Camada MAC

Acesso por *polling*

- Os sensores são inspecionados em uma sequência pré-determinada.
- Se o sensor contiver dados, estes serão transmitidos. Caso o sensor não contenha dados, o próximo sensor será inspecionado.
- Polling flexível: No caso de uma situação emergencial, o sensor que estiver em situação emergencial receberá prioridade

Polling flexível



Fonte: S. Motoyama, 2012. Flexible Polling-based Scheduling with QoS Capability for Wireless Body Sensor Network. 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, LCN 2012, Clearwater, USA

Observações Finais

- Os projetos de redes de sensores são bastante dependentes das aplicações. Cada aplicação tem suas características, e o projeto deve satisfazer essas peculiaridades.

- A perspectiva de custo dos componentes utilizados em redes de sensores se tornar cada vez mais barato, talvez seja uma grande oportunidade para o Brasil investir nessa área e conseguir independência tecnológica em comunicações do futuro.