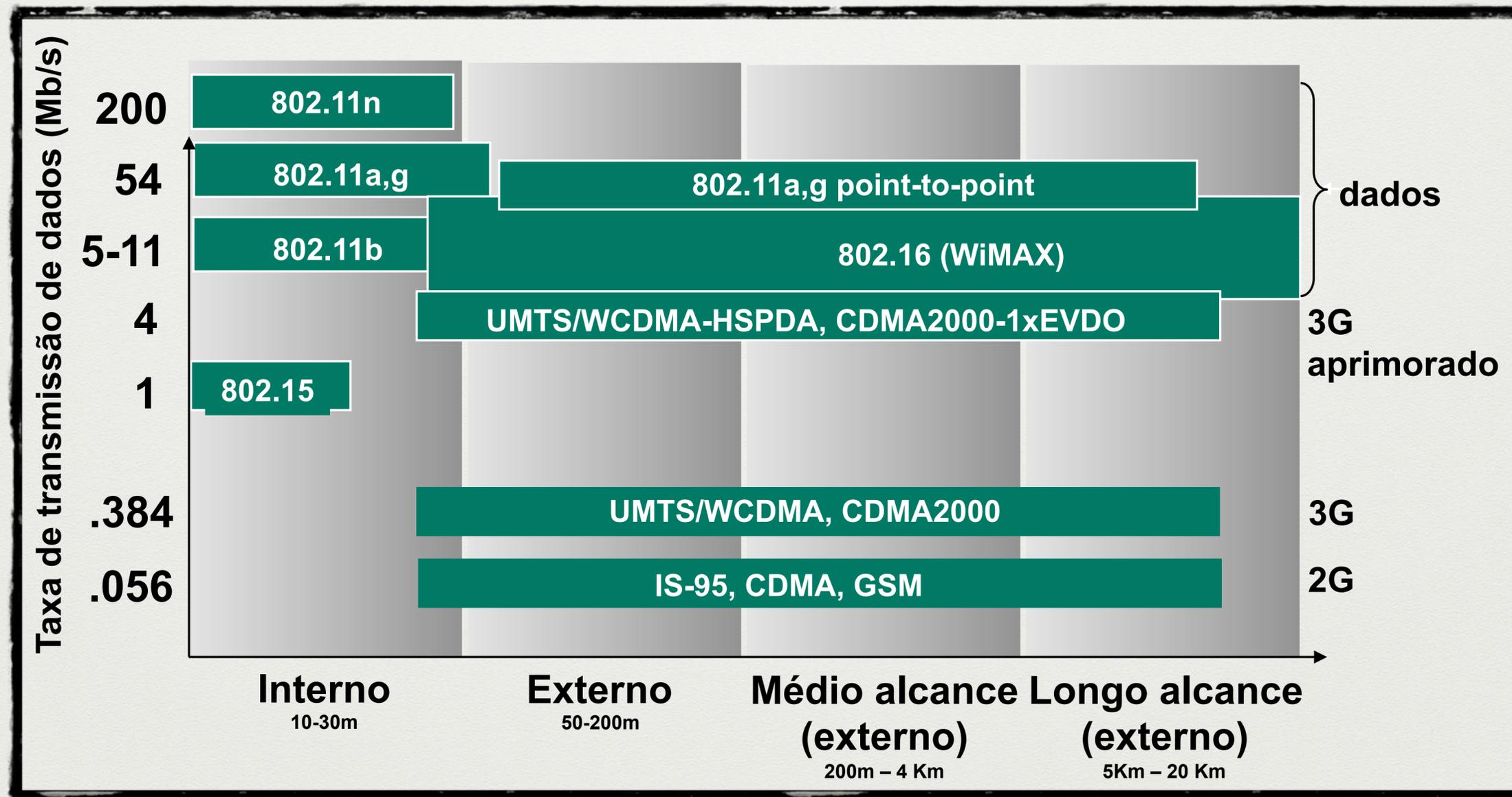


Resumo da aula anterior

- Bluetooth
 - IEEE 802.15.1
 - Piconets
 - Scatternets
 - Sistema mestre-escravo
 - 1 mestre e até 7 escravos ativos
 - Comunicação controlada pelo mestre
 - Economia de energia
 - Modos de operação

Padrões para redes sem fio



IEEE 802.15.4

ZigBee



Fonte: zigbee.org

IEEE 802.15.4

- Desenvolvimento de um novo padrão de redes pessoais sem fio
- ZigBee Alliance e IEEE - 2000
- Objetivo
 - Padrão com complexidade, custo e energia extremamente baixos
- Foco
 - Em redes de sensores sem fio
- Aplicações
 - Custo das soluções WPANs tradicionais é muito alto
 - Desempenho como de uma rede Bluetooth não é necessário

IEEE 802.15.4

- Muitas aplicações de controle e monitoramento para indústrias e domicílios
 - Pedem um maior tempo de vida de bateria
 - Usam menos banda passante
 - Possuem uma menor complexidade
- Exemplos
 - Medição de água ou gás
 - Monitoramento de segurança
- Redes sem fio padrões não atendem esses requisitos

IEEE 802.15.4

- ZigBee
 - Camadas rede a aplicação
- IEEE 802.15.4
 - Camadas física e enlace



ZigBee

- Aliança formada por mais de 400 membros
 - Motorola, Philips, Samsung, APC, Cisco, Crossbow, Dust Networks, EDF, LG, NEC, Epson, Texas Instruments e outros
- ZigBee
 - Zig-zag das abelhas para indicar comida as outras abelhas
 - Metáfora para a maneira como os dispositivos na rede se acham e se comunicam

ZigBee

- Objetivo
 - Definir produtos de monitoramento e controle
 - Confiáveis
 - Baixo custo
 - Baixo consumo
 - Conectados sem fio à rede
 - Baseados em um padrão aberto global

ZigBee

- Mercados iniciais
 - Controle domiciliar
 - Automação predial
 - Automação industrial
- ZigBee 1.0
 - Dezembro de 2004
- ZigBee 2007
- ZigBee Pro

IEEE 802.15.4

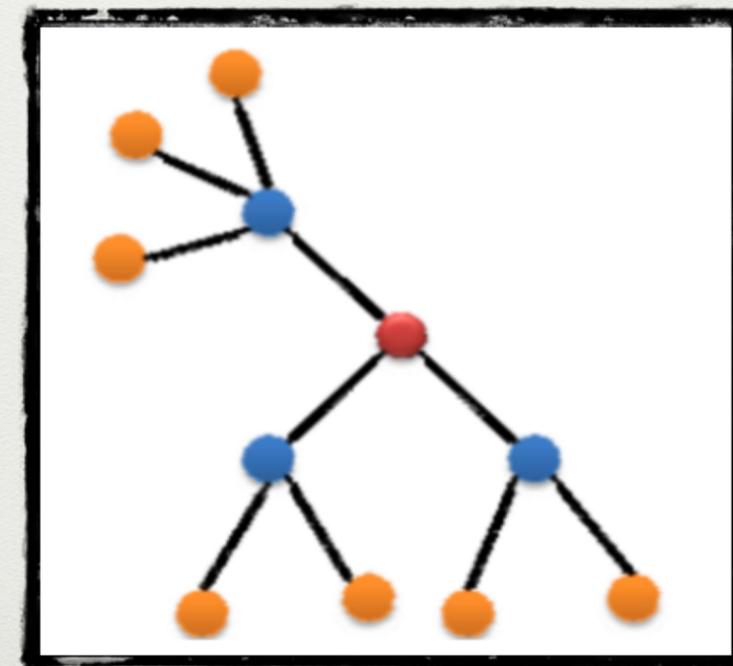
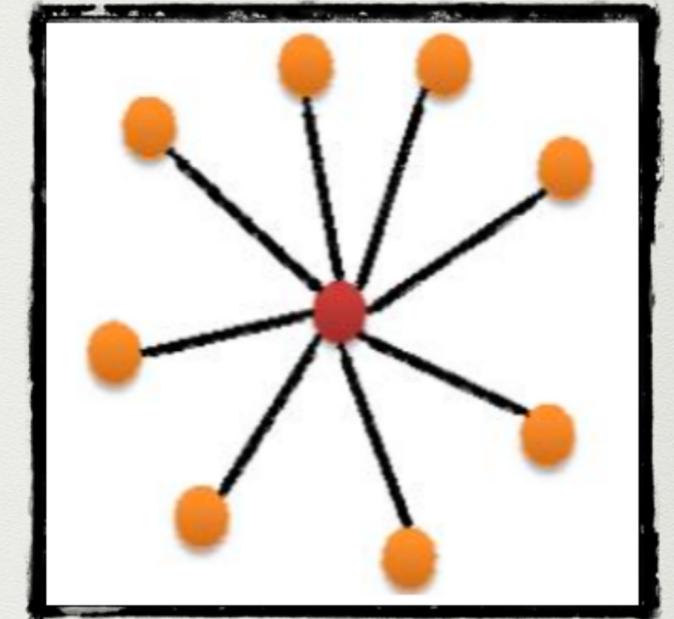
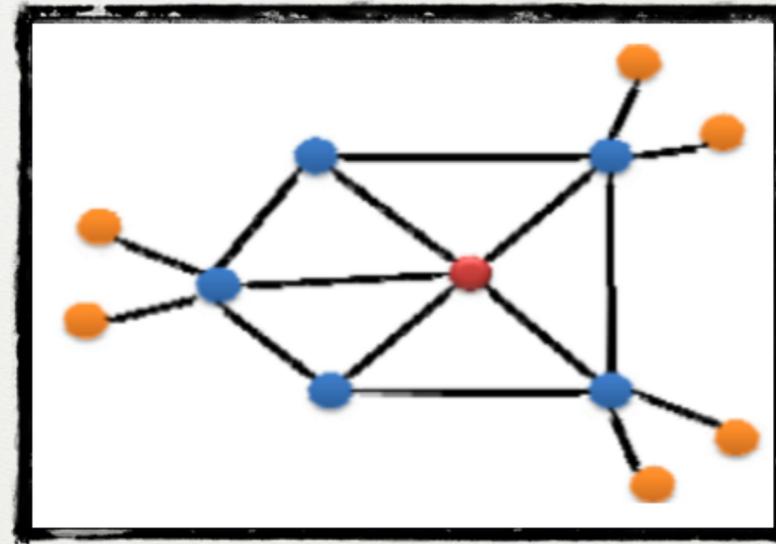
- Para alcançar um pequeno consumo de energia
 - Assume que a quantidade de dados a ser enviada é pequena
 - Dados transmitidos com pequeno *duty-cycle*
 - Estrutura do pacote com pequeno *overhead*
 - Duração da bateria
 - 10 anos

Características principais

- Rede Ad Hoc
- Roteamento fora do escopo do padrão
- Tipos físicos de dispositivos
 - Dispositivos de funcionalidade completa
 - Dispositivos de funcionalidade reduzida

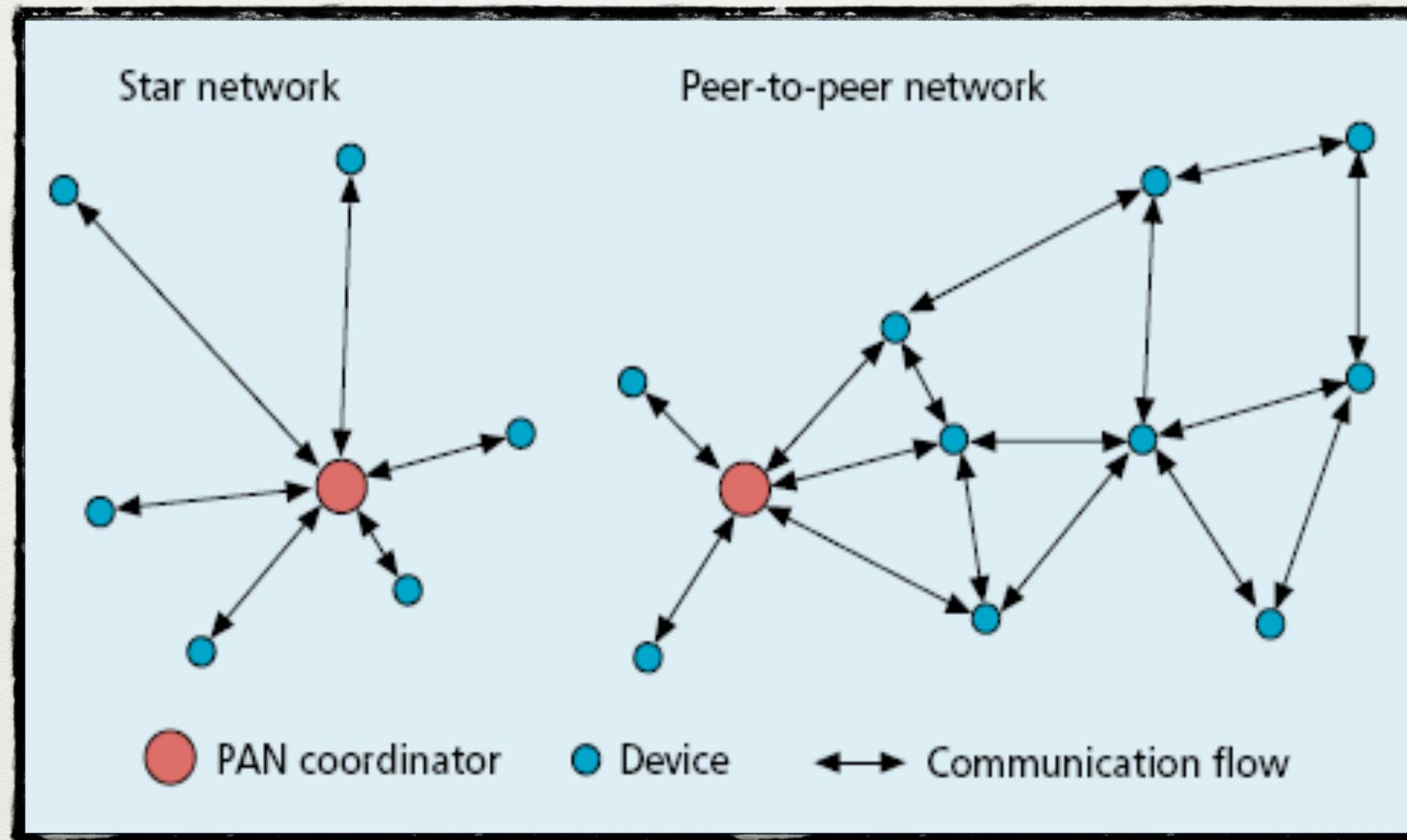
Topologias

- Topologia depende da aplicação
- Estrela
 - Pequena latência
- Árvore
 - Extensão da rede
- Malha (peer-to-peer)
 - Maior cobertura



fonte: Dutta et Al., A Survey - An introduction to ZigBee Inter. Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering v. 4, n. 12, 2015

Topologias



fonte: Callaway et al.

Dispositivos de capacidade completa

- Full Function Devices - FFDs
- Nós capazes de comunicação e roteamento
- Geralmente são alimentados através da rede elétrica
- Podem ser usados em qualquer topologia
- Podem virar o coordenador PAN
- Podem se comunicar com quaisquer tipos de dispositivos

Dispositivos de funcionalidades reduzidas

- Reduced Function Devices - RFDs
- Nós simples que enviam e/ou recebem dados
- Implementação simples em termos de RAM e ROM
- Geralmente são alimentados com bateria
- Não podem se tornar o coordenador de rede
- Somente se comunicam com os FFDs
- Cada RFD só pode estar associado a um FFD por vez

Arquitetura do ZigBee-IEEE 802.15.4

- Tipos dispositivos
 - Coordenador PAN
 - Coordenador-Roteador
 - Outros dispositivos

Coordenador de PAN

- FFD
- Começa uma PAN
 - Definição do PAN ID
- Provê sincronização
 - através do envio de quadros de sinalização (beacons)
 - Para outros dispositivos
 - Outros coordenadores
- Alocação de endereços
- Não dorme

Coordenador-Roteador

- Conecta dispositivos
 - Pode repassar mensagens
- Não dorme
- Geralmente utilizado em topologia em malha

IEEE 802.15.4

Camada Física



Camada Física

- Bandas que não necessitam de licença
 - 868 MHz
 - 915 MHz
 - 2,4 GHz
- Transmissão de pelo menos 1 mW
- Alcance típico de 10 a 20 m (1 mW)

Camada Física

- Técnicas de transmissão
 - DSSS (Direct Sequency Spread Spectrum)
 - Separação por código
 - Modulações BPSK ou O-QPSK (opcional)
 - PSSS (Parallel Sequency Spread Spectrum)
 - Modulação ASK

Banda de 868 MHz

- 3 canais
- Modulação BPSK
 - 1 bit por símbolo
 - 20 kbaud
 - Taxa de 20 kbps
- Modulação O-QPSK
 - 4 bits por símbolo
 - 25 kbaud
 - Taxa de 100 kbps
- Modulação ASK
 - Taxa de 250 kbps

Banda de 915 MHz

- 30 canais
- Modulação BPSK
 - 40 kbaud
 - Taxa de 40 kbps
- Modulação O-QPSK
 - 62,5 kbaud
 - Taxa de 250 kbps
- Modulação ASK
 - Taxa de 250 kbps

Banda de 2,4 GHz

- 16 canais
- Técnica de transmissão
 - DSSS
- Modulação O-QPSK
 - 62,5 kbaud
 - Taxa de 250 kbps

Perdas

- Dispositivos próximos
 - Praticamente 0%
- Afastados
 - 10%
 - 100%
- Muitos testes na literatura mostram perdas significativas

IEEE 802.15.4

Camada MAC



Sub-camada de acesso ao meio

- Usa endereço de 64 bits do IEEE ou endereço especial de 16 bits
 - Endereço de 16 bits alocado pelo coordenador na associação
- Correção de erros
 - ARQ (Automatic Repeat reQuest)
 - Retransmissão de quadros não reconhecidos
- Avaliação da condição dos canais disponíveis quando a banda passante é menor do que um determinado valor
 - Troca-se pelo de menor energia

Sub-camada de acesso ao meio

- Métodos de acesso
 - CSMA/CA quando não usa beacons
 - Slotted CSMA/CA ou acesso sem disputa quando usa beacons
- Transmissão de dados
 - Entre qualquer dispositivo e o coordenador
 - Entre quaisquer dispositivos
 - Só no caso de topologia em malha

Sub-camada de acesso ao meio

- Segurança em três níveis
 - Sem mecanismo
 - Listas de controle de acesso
 - Criptografia através de chaves simétricas (AES-128)

Métodos de acesso

- Com *beacon*
 - Coordenador envia os *beacons*
 - *Slotted CSMA/CA*
- Sem *beacon*
 - Nós transmitem quando o meio está livre
 - *CSMA/CA*

Sub-camada de acesso ao meio

- Tempos de acesso divididos em períodos de superquadros (uso de beacons)
 - Com disputa
 - Sem disputa

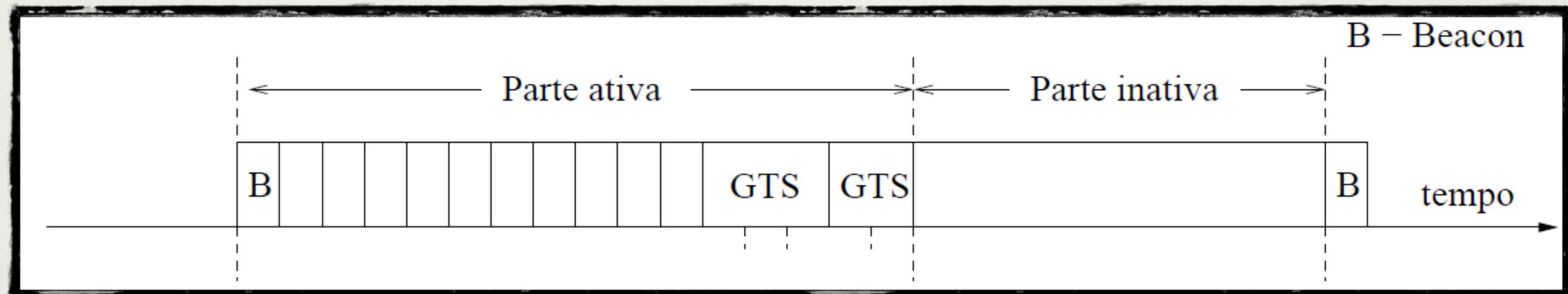
Superquadro

- Coordenador envia *beacons* em intervalos predeterminados
- Tempo entre dois *beacons* é dividido em 16 *slots* (valor padrão)
- Dispositivo pode transmitir a qualquer tempo durante um *slot* (acesso com disputa)
 - Uso de Slotted CSMA/CA
 - *Slots* sincronizados com *beacon*
 - Mas deve terminar a sua transação antes do próximo *beacon*

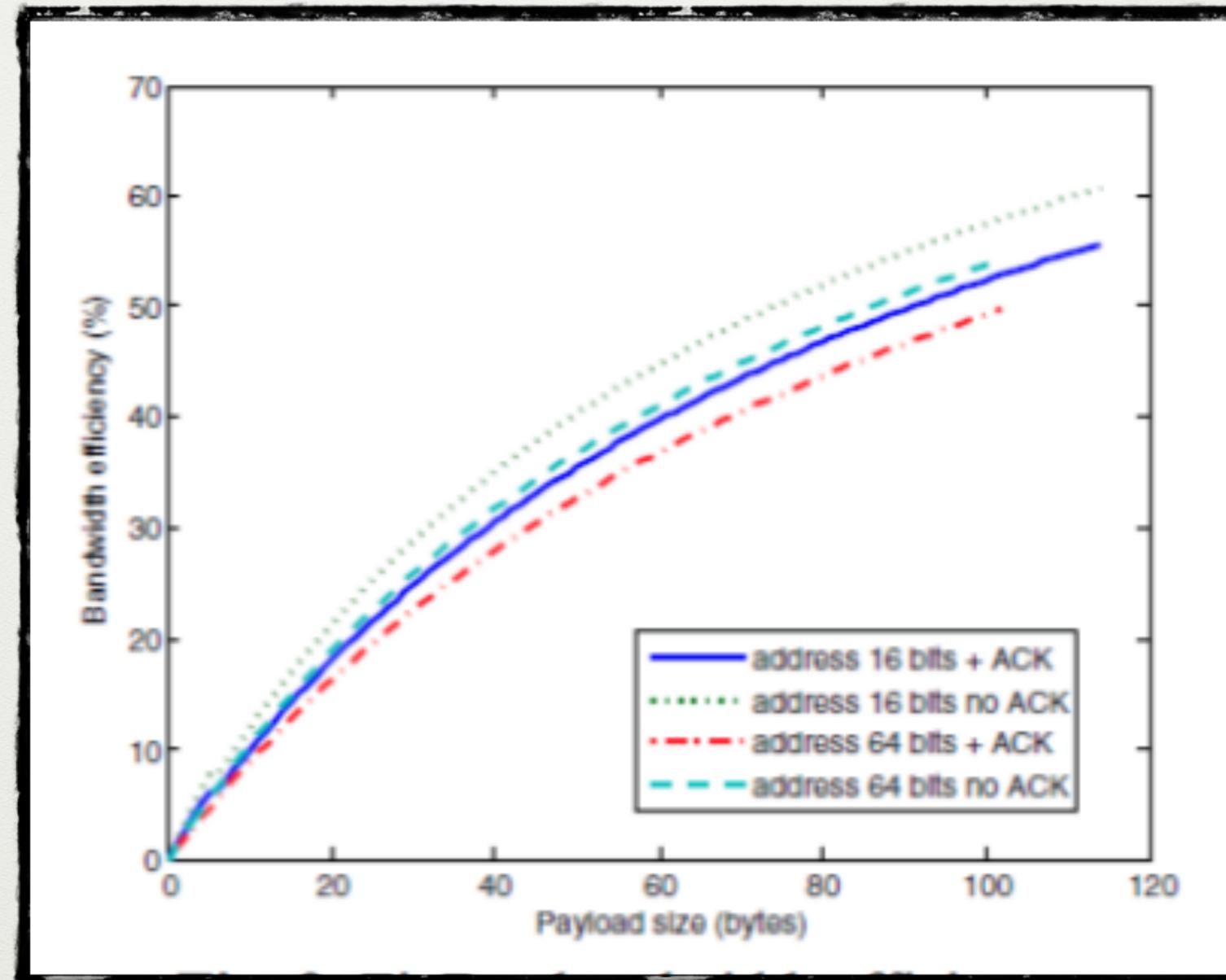
Superquadro

- Existe também um acesso sem disputa
 - Formado pelos *Guaranteed Time Slots* (GTSs)
 - Ocorre antes de terminar o superquadro
 - Tamanho do período livre de disputa depende da demanda
- Em cada beacon há indicação do começo do período livre de disputa e da duração do superquadro
- Usado por aplicações que necessitam de baixa latência ou banda garantida

Método de Acesso ao meio

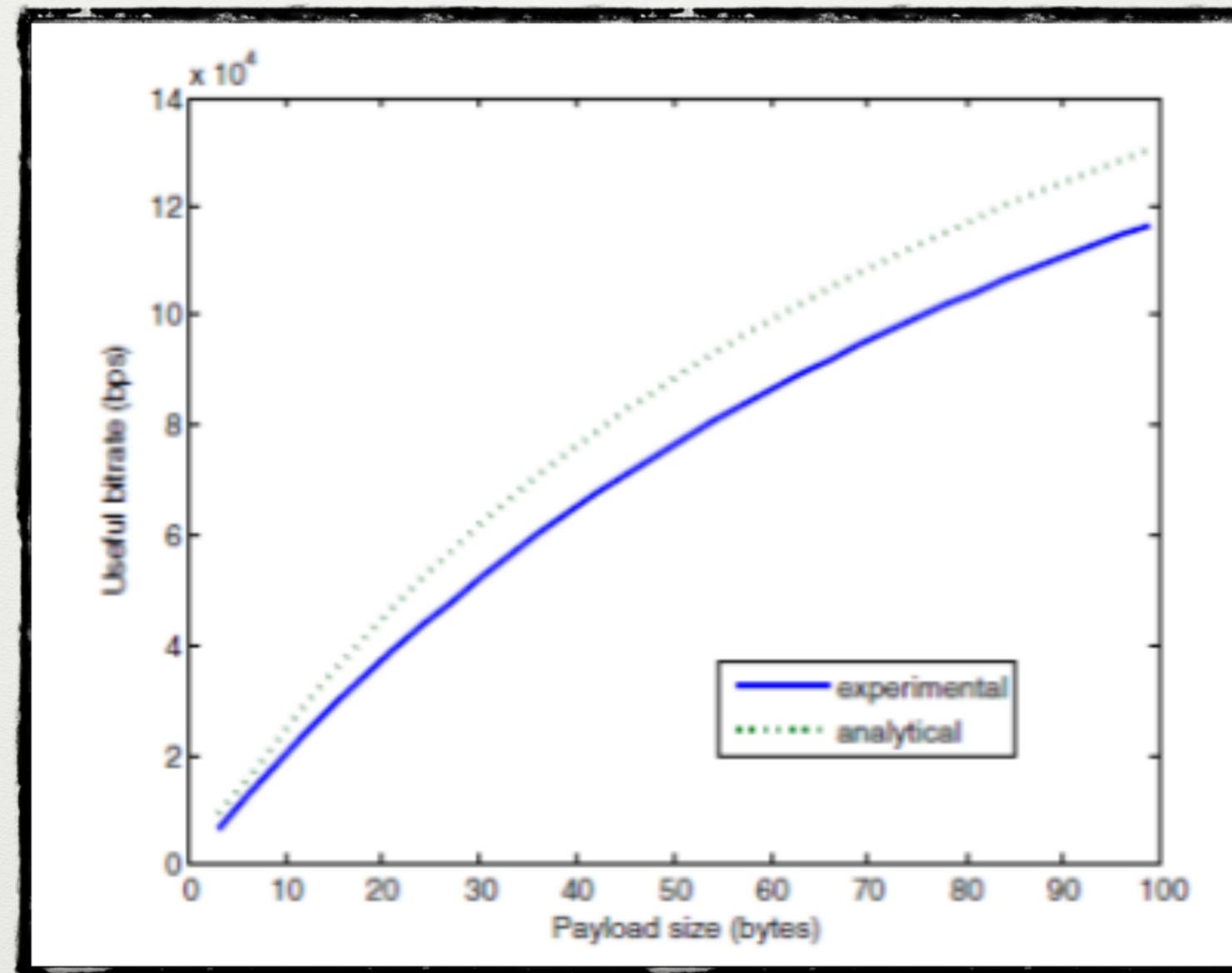


Eficiência da comunicação



fonte: Rachel Luo, "Literature Survey on the Performance of the ZigBee Standard", 2015

Eficiência da comunicação



fonte: Rachel Luo, "Literature Survey on the Performance of the ZigBee Standard", 2015

Camada de rede

- Onde é definido o roteamento
 - Dependente da topologia
- Configuração de novos dispositivos
- Start-up
- Saída e entrada da rede
- Endereçamento
- Descoberta de vizinhos
- Segurança

Segurança

- Autenticação
- Integridade
- *Freshness*
- Privacidade
- ZigBee Trust Centre
 - Nó responsável por prover a segurança
 - Quando não está presente o coordenador assume o papel

Segurança

- Três chaves principais
 - Master key
 - Instalada no dispositivo
 - Garantir confidencialidade na troca das chaves de enlace
 - Link key
 - Únicas em cada nó
 - Troca de informação entre dois dispositivos
 - Network Key
 - Compartilhada na rede
 - Muda periodicamente

WiFi, Bluetooth, ZigBee

Features	WiFi IEEE 802.11	Bluetooth IEEE 802.15.1	ZigBee IEEE 802.15.4
Application	Wireless LAN	Cable Replacement	Control and Monitor
Frequency Bands	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz, 868MHz, 915MHz
Battery Life (Days)	0.1-5	1-7	100-7,000
Nodes Per Network	30	7	65,000
Bandwidth	2-100Mbps	1Mbps	20-250Kbps
Range (Metres)	1-100	1-10	1-75 and more
Topology	Tree	Tree	Star, Tree, Cluster Tree, and Mesh
Standby Current	20 * 10 ⁻³ amps	200 * 10 ⁻⁶ amps	3 * 10 ⁻⁶ amps
Memory	100KB	100KB	32-60KB

WiFi, Bluetooth, ZigBee

- Duração da bateria
 - WiFi
 - 1 dia
 - Bluetooth
 - Troca frequente
 - 3 a 6 meses
 - ZigBee
 - 10 anos
 - Sem troca
- Tempo de entrada na rede
 - WiFi
 - ???
 - Bluetooth
 - 3 segundos
 - ZigBee
 - 30 ms

Créditos

- Figura do primeiro slide
- Fonte: <http://www.ikanda.be/sensors/what-is-iot>