

AULA 12 - LPWAN

Prof. Pedro Braconnot Velloso

Resumo da aula anterior

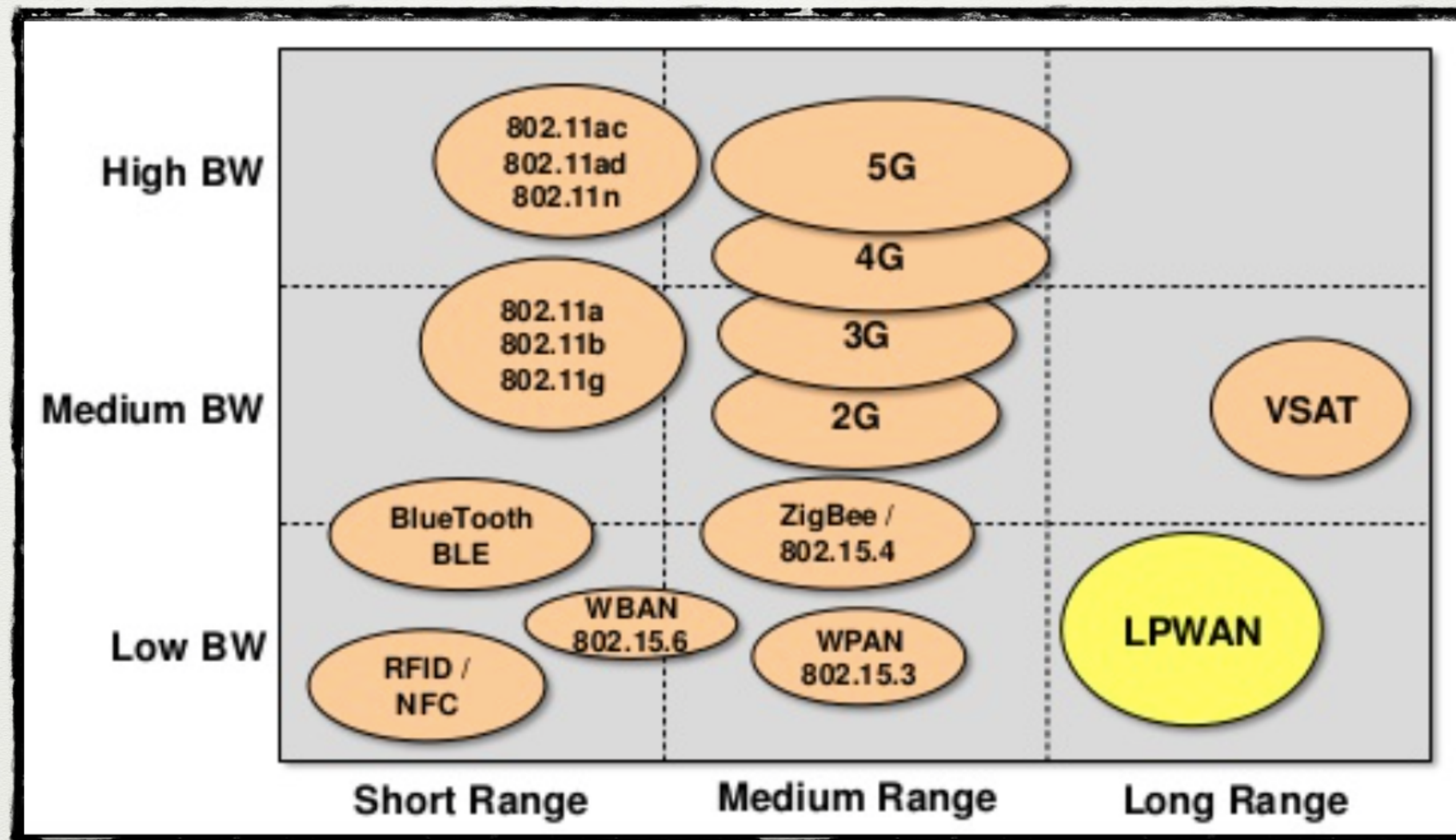
- RFID
 - Aplicações
 - Arquitetura
 - Protocolos de Acesso ao Meio
 - Restrições

Low Power Wide Range Communications



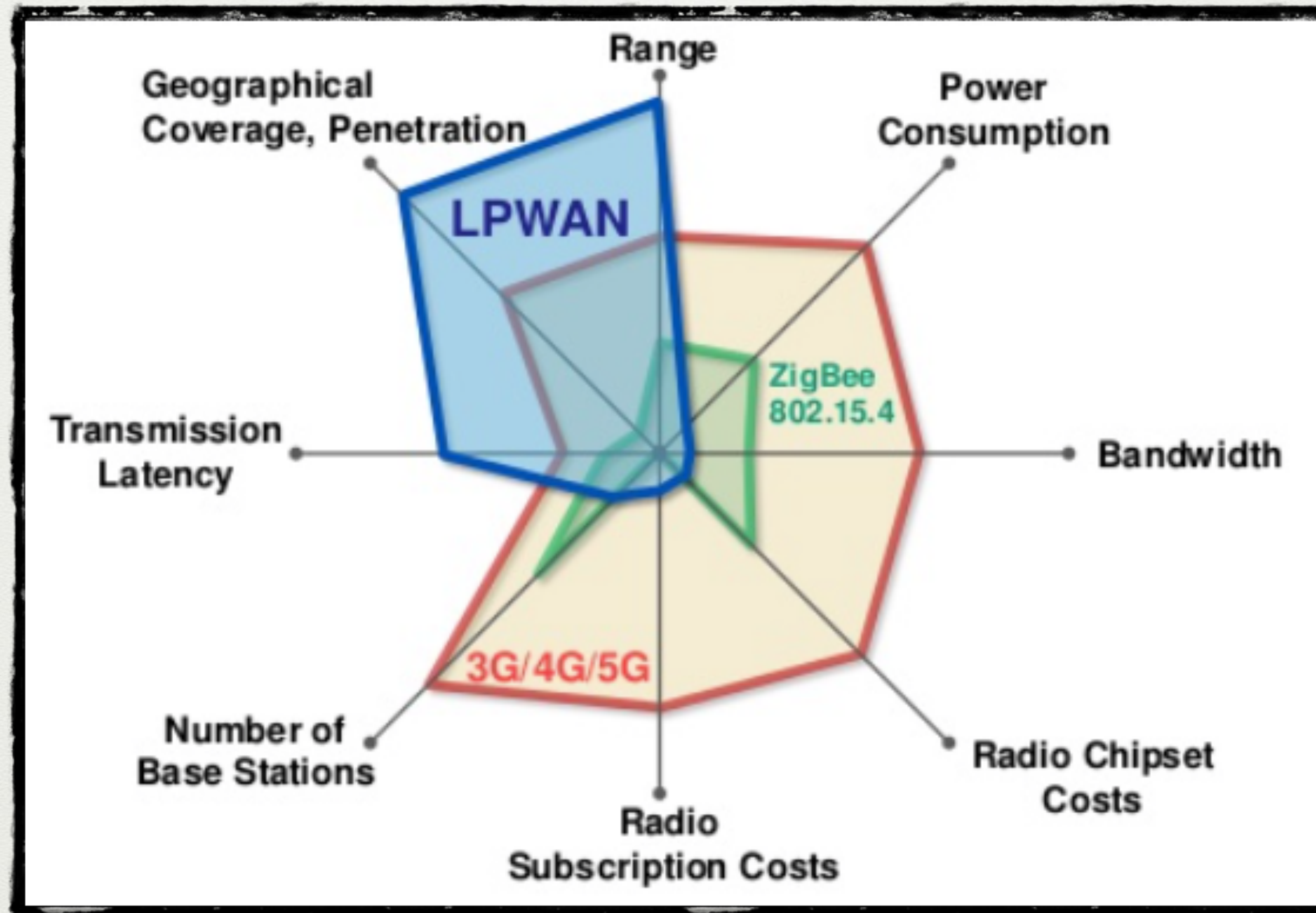
Fonte: rethink-wireless.com

Low Power Wide Area Networks — LPWAN



Fonte: "LPWAN - Low Power Wide Area Networks", indigoo.com

Requisitos



Fonte: "LPWAN - Low Power Wide Area Networks", indigoo.com

Requisitos de LPWAN

Características	Valores esperados
Longo Alcance	5 a 40 km em campo aberto
Baixo consumo	Baterias com duração de 10 anos
Throughput	Poucas centenas de bits/s ou menos
Custo do rádio	Até 2 dólares
Atraso	Sem restrição específica
Número de estações base	Pequeno. Uma estação cobre milhares de dispositivos
Cobertura e penetração	Grande cobertura áreas rurais e boa penetração

Motivação

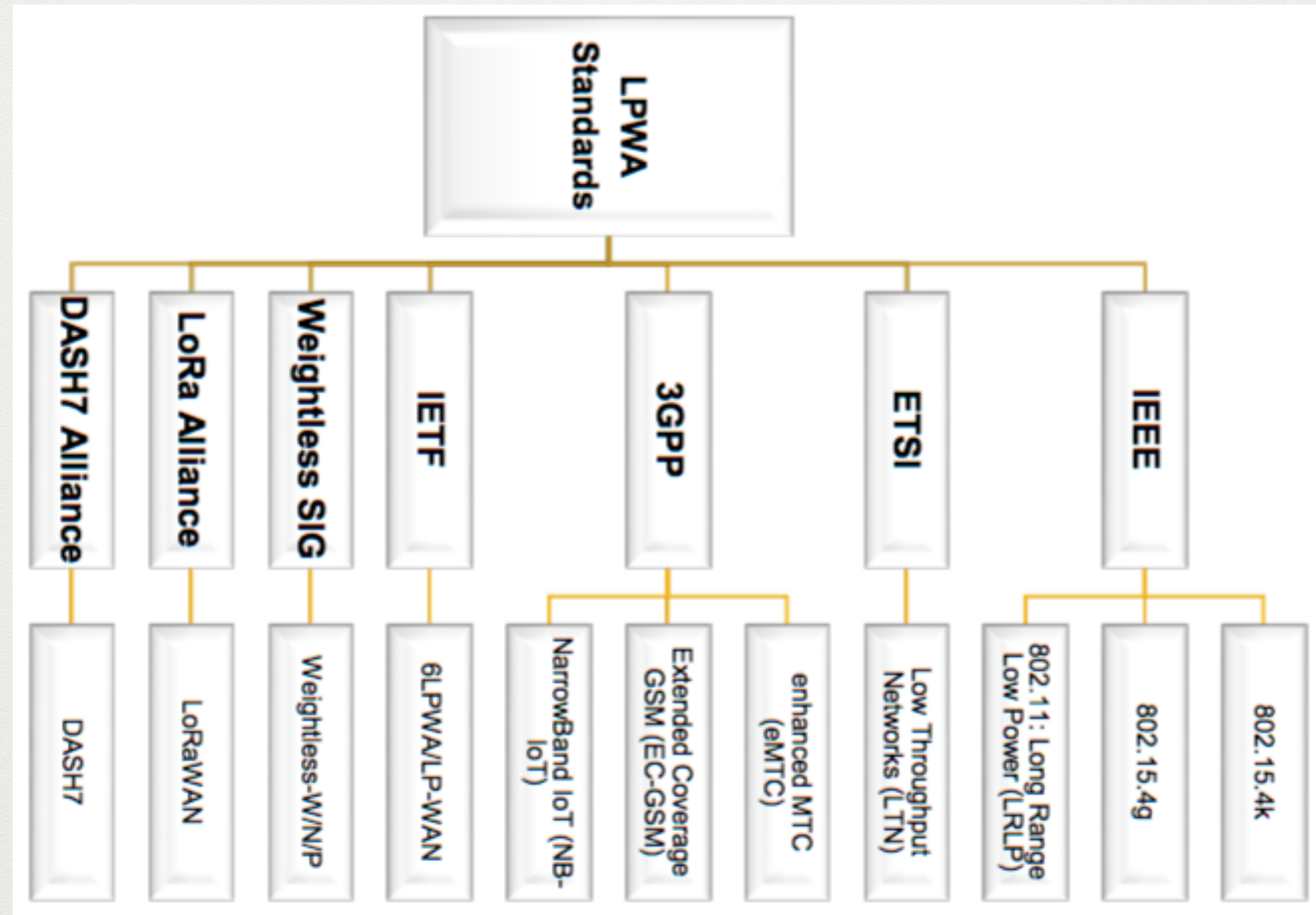
- Eliminar o roteamento
 - Redes em malha
 - Múltiplos saltos
- Topologia em estrela
 - Uma estação base
 - Conecta milhares de dispositivos

Cenários



Fonte: "LPWAN - Low Power Wide Area Networks", indigoo.com

Padrões



Fonte: U. Raza et al., "Low Power Wide Area Networks: An Overview", IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017

Várias tecnologias

- 2012 — SIGFOX
 - Ultra Narrow Band (UNB)
- 2014 — LoRa Alliance
- 2014 — Huawei comprou o NEUL
- Entre outras

LoRaWAN

Low Power Wide Area Network

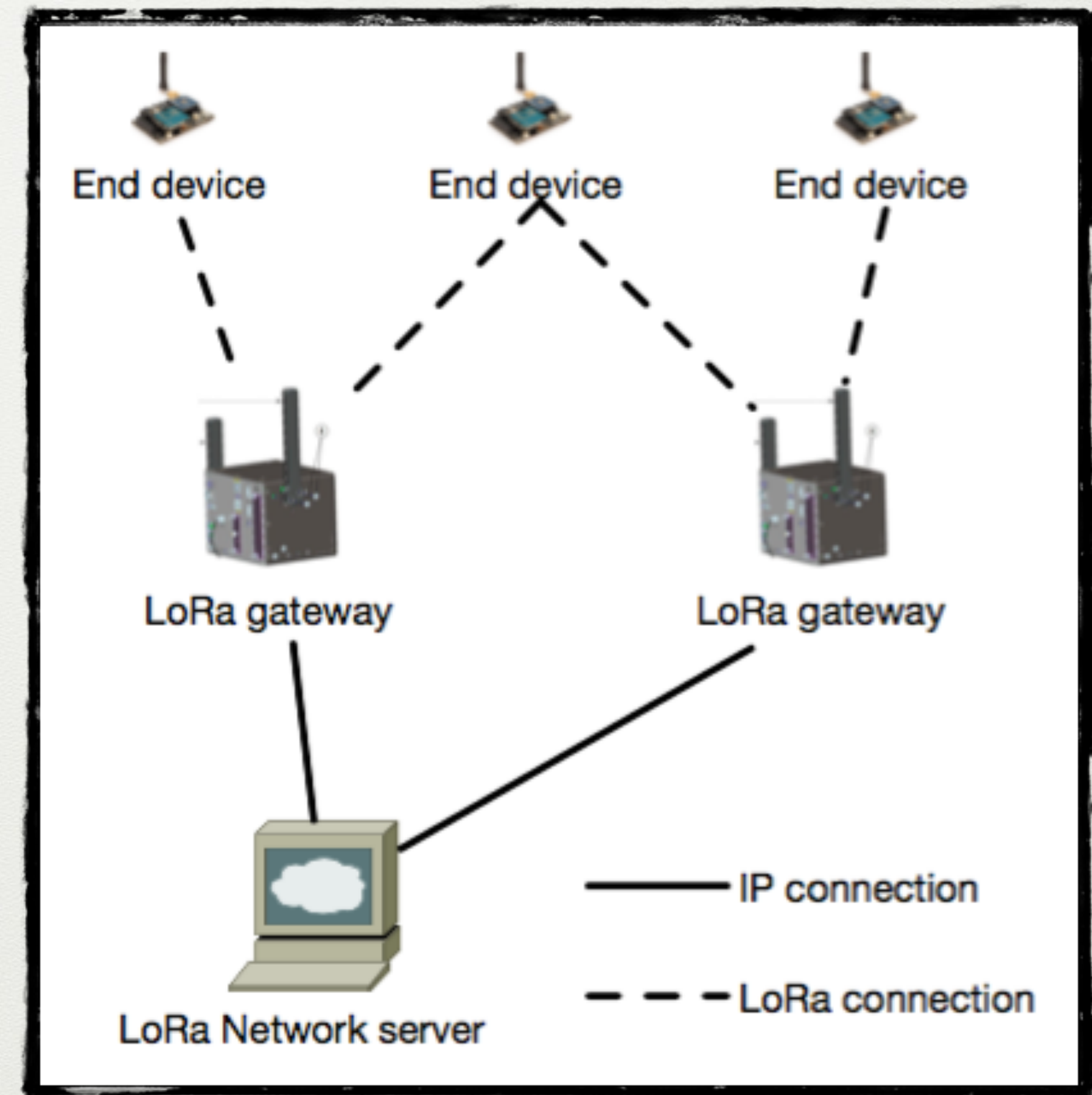


LoRaWAN

- Objetivo
 - Interconectar dispositivos IoT
 - Canal seguro bi-direcional
- Serviços
 - Mobilidade
 - Localização

LoRaWAN

- Dispositivos finais
 - Sensores enviam informações para o Servidor
- Servidor
- Gateways
 - Interconecta os dispositivos finais e o servidor
 - Não é associado a um dispositivo final



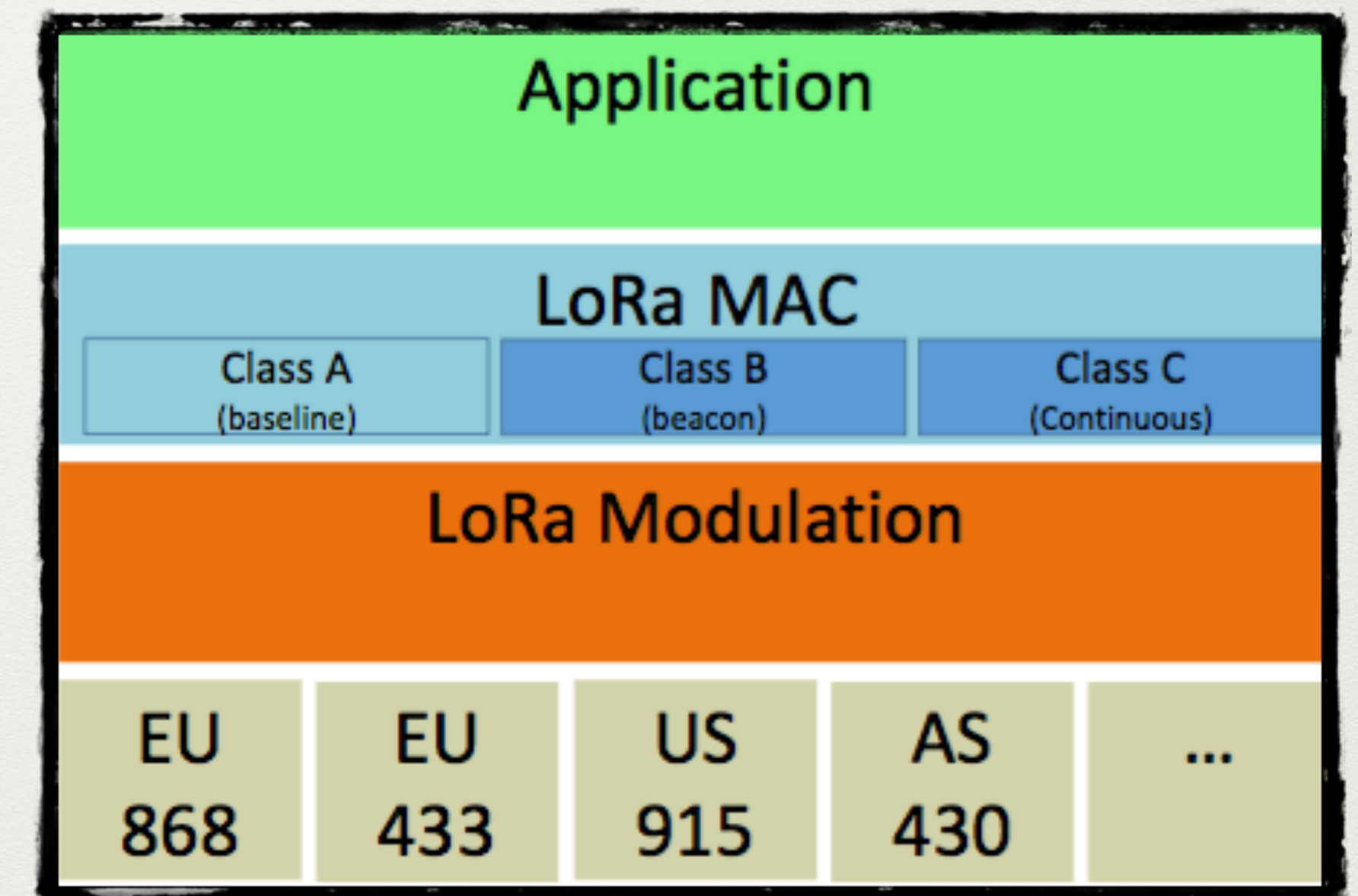
Fonte: "A. Augustin et al., "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things ", Sensors, 2016

LoRaWAN — Principais características

- Várias taxas de transmissão
 - Compromisso com o alcance
 - 0,3 kbps a 50 kbps
 - Esquema de adaptação de taxa de transmissão
 - Economia de energia

Camada Física

- Faixa de frequência
 - 433, 868, e 900 MHz ISM
 - US —> 902 — 928 MHz
 - EU —> 868 MHz
 - ASIA —> 433 MHz
- Regulamentação do *duty cycle*
 - Evitar que um dispositivo ocupe o meio por muito tempo
 - Exemplo 1%



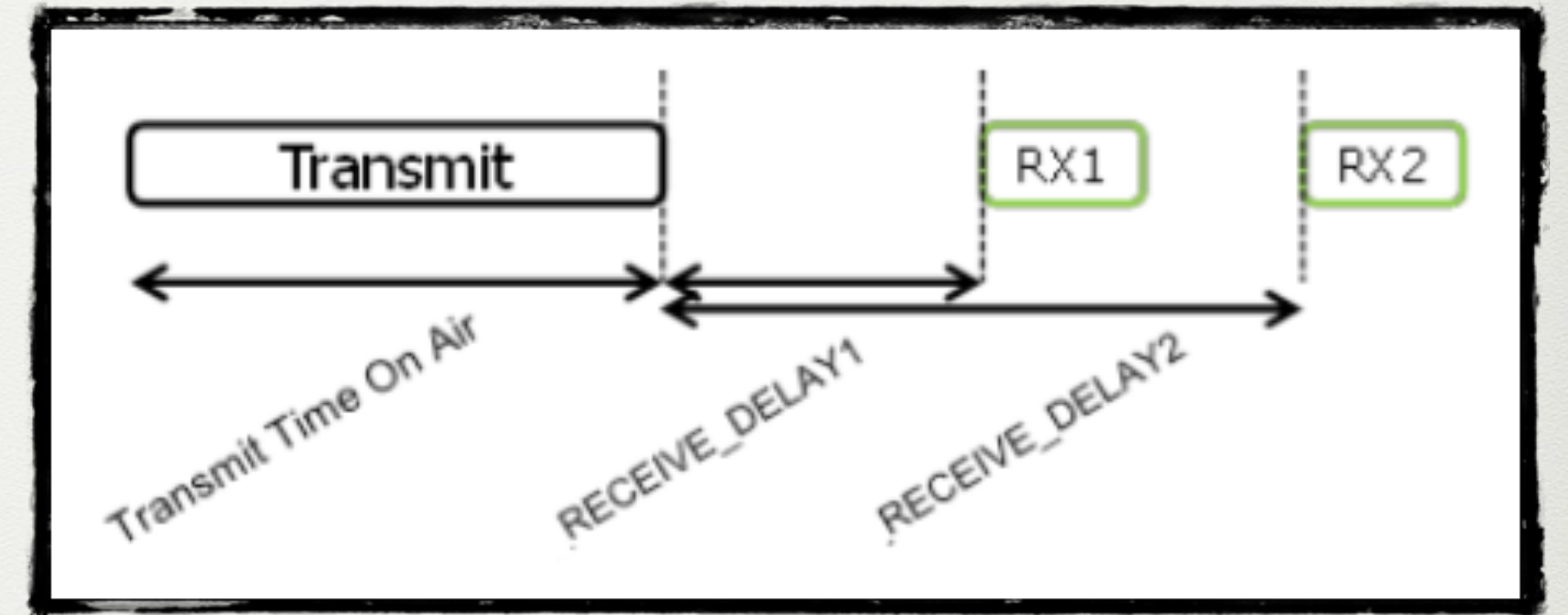
Fonte: "LoRaWAN Specification - v1.0.2", 2016

Camada Física

- Transmissão
 - Chirp Spread Spectrum (CSS)
 - Melhor desempenho para baixa potência
- Modulação proprietária da empresa Semtech

LoRaWAN — Principais características

- Três tipos de dispositivos finais
 - Classe A — Bi-direcional
 - Transmissão no uplink feita com pequeno atraso aleatório
 - Baseado no Aloha
 - A cada transmissão no *uplink*
 - Duas pequenas janelas de transmissão no *downlink*
 - Classe B — Bi-direcional com *slots* de recebimento agendados
 - Período com Beacons
 - Classe C — Bi-direcional com *slots* de recebimento máximo
 - Servidor transmite quando quiser

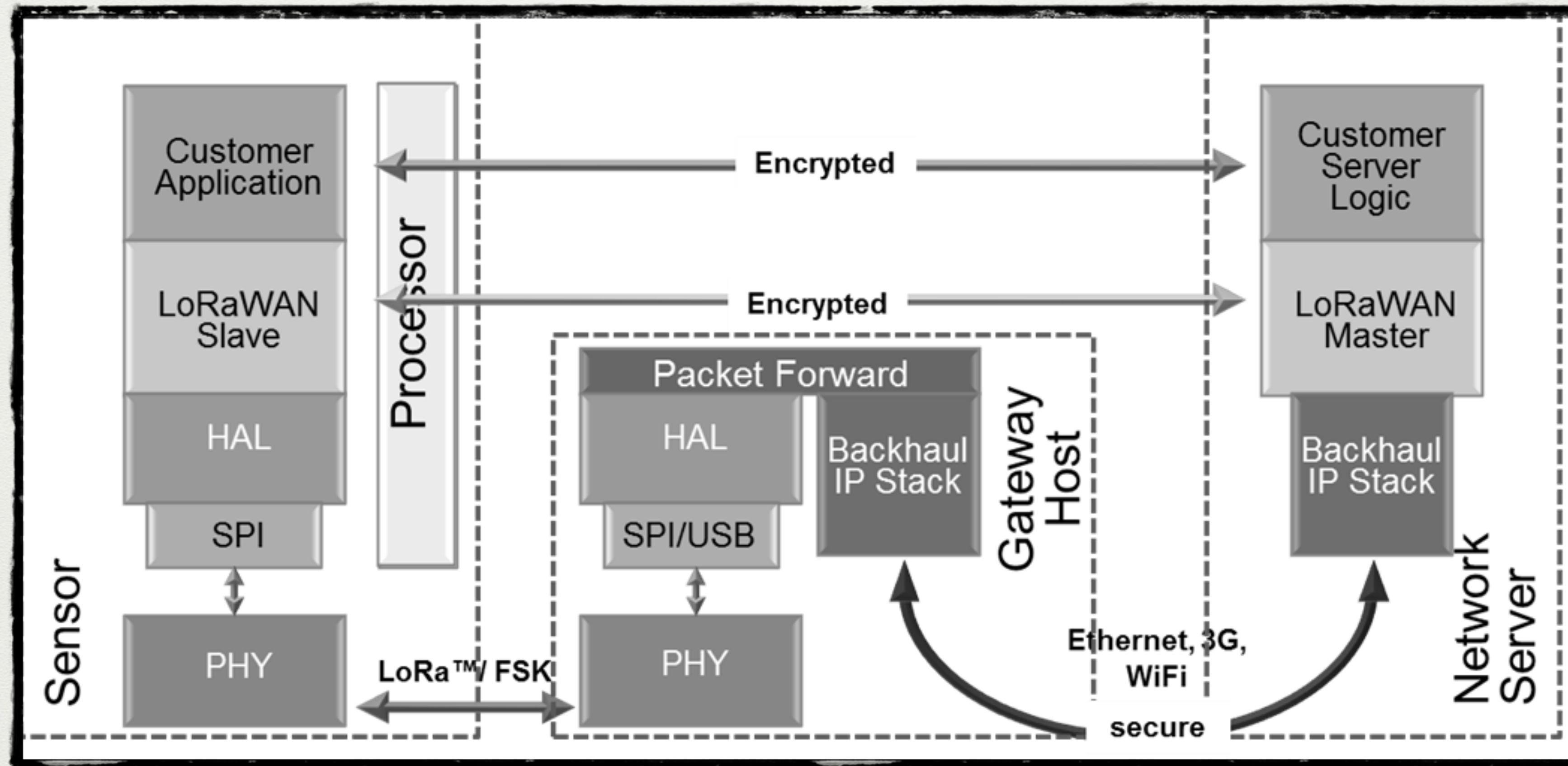


Fonte: "LoRaWAN Specification - v1.0.2", 2016

LoRaWAN — Segurança

- Tipos de chaves (128-bit AES)
 - Unique Network key
 - Integridade
 - Unique Application key
 - Mensagem de dados

Arquitetura LoRa



Fonte: "LoRa Alliance Technology website", 2017

SigFox

- Tecnologia proprietária
 - Muito pouca informação técnica disponível
- Cobertura de 30 — 50 km
- Uma estação base para até 1 milhão de dispositivos
- Limita o envio de informação
 - 140 pacotes por dia
 - 12 Bytes
- 100 bps



WEIGHTLESS SIG

- Weightless Special Interest Group
 - Propuseram 3 padrões
 - Weightless-W
 - Weightless-N
 - Weightless-P
 - Criptografia simétrica



WEIGHTLES-W

- *White spaces* da TV
- Várias modulações
 - 16-QAM
 - DBPSK
- Taxa de transmissão
 - 1 kbps — 10 Mbps
 - Dispositivos finais enviam com uma taxa menor
- Desvantagem —> faixa não disponível em algumas regiões

WEIGHTLES-N

- Banda Sub-GHz
- Ultra Narrow Band
- Modulações DBPSK
- Comunicação em apenas um sentido
 - Dispositivos finais \longrightarrow estações base

WEIGHTLES-P

- Banda Sub-GHz
- Modulações
 - GMSK
 - QPSK
- Taxa de transmissão
 - 0,2 kbps — 100 kbps

INGENU RPMA

- Frequência de funcionamento
 - 2,4 GHz
 - Não há restrições de duty-cycle
 - Maior taxa de transmissão
- Utiliza uma tecnologia de transmissão patenteada
 - Random Phase Multiple Access (RPMA)
 - Variação do CDMA
 - Vários dispositivos podem transmitir em um único slot
- Compatível com IEEE 802.15.4k



3rd Generation Partnership Project — 3GPP

- LTE Enhancements for Machine Type Communications (eMTC)
 - Baixo consumo
 - Power Saving Mode
- Extended Coverage GSM (EC-GSM)
 - Aumentar a cobertura GSM
- Narrow-Band IoT (NB-IoT)



NB-IoT

- Narrow Band
- Não é compatível com 3G
 - Co-existe com GSM, GPRS, LTE
- Corta o custo e o consumo de energia comparado aos outros dois
 - Baixa taxa de transmissão
 - Menor banda passante

NB-IoT (2016)

- Uplink
 - FDMA
 - 20 kbps
- Downlink
 - OFDM
 - 250 kbps
- 50 k dispositivos por célula
- 10 anos de duração da bateria
 - 200 bytes por dia enviados

IEEE 802.15.4k

- Low Energy, Critical Infrastructure Monitoring Networks
 - Low-Energy Critical Infrastructure Monitoring (LECIM) applications
- 2,4 GHz
- DSSS e FSK
 - Aumentar o alcance a a densidade
- CSMA/CA com PCA — Priority Channel Access
- CSMA e ALOHA com PCA
- 300 bps — 50 kbs
- Alcance de 3 km

IEEE 802.15.4g

- Low-Data-Rate, Wireless, Smart Metering Utility Networks
- Estender o IEEE 802.15.4
 - Aumentar o alcance
 - 3 novas camadas físicas
 - FSK, OFDMA, QPSK
 - 40 kbps — 1 Mbps

IEEE 802.11ah

- Extensão ao IEEE 802.11
 - Alcance de 1 km em áreas urbanas
 - 100 kbps
 - Método de acesso ao meio
 - Definido para milhares de dispositivos conectados
- Consumo de energia e alcance
 - Melhor que ZigBee e BlueTooth
 - Pior que outras tecnologias LPWAN

Comparações de Tecnologias

LPWAN Technology	Standard / Specification	Range	Spectrum
ETSI LTN	ETSI GS LTN 001 - 003	40 km in open field	Any unlicensed spectrum such as ISM (433MHz, 868MHz, 2.4GHz)
LoRaWAN	LoRa Alliance LoRaWAN	2-5km in urban areas <15km in suburban areas	Any unlicensed spectrum 868MHz (Eu) 915MHz (US) 433MHz (Asia)
Weightless-N	Weightless SIG	<5km in urban areas 20-30km in rural areas	800MHz – 1GHz (ISM)
RPMA	Proprietary (On-Ramp Wireless), planned to become an IEEE standard	<65km line of sight <20km non line of sight	2.4GHz

Fonte: "LPWAN - Low Power Wide Area Networks", indigoo.com

Comparação entre padrões

	SIGFOX	LORAWAN	INGENU	TELENSA
Modulation	UNB DBPSK(UL), GFSK(DL)	CSS	RPMA-DSSS(UL), CDMA(DL)	UNB 2-FSK
Band	SUB-GHZ ISM:EU (868MHz), US(902MHz)	SUB-GHZ ISM:EU (433MHz 868MHz), US (915MHz), Asia (430MHz)	ISM 2.4GHz	SUB-GHZ bands including ISM:EU (868MHz), US (915MHz), Asia (430MHz)
Data rate	100 bps(UL), 600 bps(DL)	0.3-37.5 kbps (LORa), 50 kbps (FSK)	78kbps (UL), 19.5 kbps(DL) [39]	62.5 bps(UL), 500 bps(DL)
Range	10 km (URBAN), 50 km (RURAL)	5 km(URBAN), 15 km (RURAL)	15 km (URBAN)	1 km (URBAN)
Num. of channels / orthogonal signals	360 channels	10 in EU, 64+8(UL) and 8(DL) in US plus multiple SFs	40 1MHz channels, up to 1200 signals per channel	multiple channels
Link symmetry	×	✓	×	×
Forward error correction	×	✓	✓	✓
MAC	unslotted ALOHA	unslotted ALOHA	CDMA-like	?
Topology	star	star of stars	star, tree	star
Adaptive Data Rate	×	✓	✓	×
Payload length	12B(UL), 8B(DL)	up to 250B (depends on SF & region)	10KB	?
Handover	end devices do not join a single base station	end devices do not join a single base station	✓	?
Authentication & encryption	encryption not supported	AES 128b	16B hash, AES 256b	?
Over the air updates	×	✓	✓	✓
SLA support	×	×	×	×
Localization	×	✓	×	×

Comparação entre padrões

Standard	IEEE		WEIGHTLESS-W	WEIGHTLESS-SIG		DASH7 Alliance DASH7
	802.15.4k	802.15.4g		WEIGHTLESS-N	WEIGHTLESS-P	
Modulation	DSSS, FSK	MR-(FSK, OFDMA, OQPSK)	16-QAM, BPSK, QPSK, DBPSK	UNB DBPSK	GMSK, offset-QPSK	GFSK
Band	ISM SUB-GHZ & 2.4GHz	ISM SUB-GHZ & 2.4GHz	TV white spaces 470-790MHz	ISM SUB-GHZ EU (868MHz), US (915MHz)	SUB-GHZ ISM or licensed	SUB-GHZ 433MHz, 868MHz, 915MHz
Data rate	1.5 bps-128 kbps	4.8 kbps-800 kbps	1 kbps-10 Mbps	30 kbps-100 kbps	200 bps-100kbps	9.6,55.6,166.7 kbps
Range	5 km (URBAN)	up to several kms	5 km (URBAN)	3 km (URBAN)	2 km (URBAN)	0-5 km (URBAN)
Num. of channels / orthogonal signals	multiple channels. Number depends on channel & modulation		16 or 24 channels(UL)	multiple 200 Hz channels	multiple 12.5 kHz channels	3 different channel types (number depends on type & region)
Forward error correction	✓	✓	✓	✗	✓	✓
MAC	CSMA/CA, CSMA/CA or ALOHA with PCA	CSMA/CA	TDMA/FDMA	slotted ALOHA	TDMA/FDMA	CSMA/CA
Topology	star	star, mesh, peer-to-peer (depends on upper layers)	star	star	star	tree, star
Payload length	2047B	2047B	>10B	20B	>10B	256B
Authentication & encryption	AES 128b	AES 128b	AES 128b	AES 128b	AES 128/256b	AES 128b

Desafios de pesquisa

- Escalabilidade
 - Milhares de dispositivos
 - Diferentes densidades
 - Hotpots
 - Interferência entre tecnologias
- Protocolos MAC
 - Aloha ou CSMA

Desafios de pesquisa

- Escalabilidade
- LoRaWAN
 - 120 dispositivos por 3,8 hectares
 - Número de dispositivos
 - Diminui exponencialmente o alcance
 - Interferência entre dispositivos

Desafios de pesquisa

- Controle de interferência
 - Inter-tecnologias
 - Intra-tecnologias
 - Aloha
 - Aumenta a interferência
- Adaptar e agendar transmissões para diminuir a interferência

Desafios de pesquisa

- Modulações de alta taxa
 - LPWAN usualmente usam modulações de baixa taxa de transmissão
 - Para garantir o baixo consumo de energia e o longo alcance
 - Sobretudo as de UNB
- Adaptação para diferentes técnicas de modulação
 - Baixo custo de *hardware*

Desafios de pesquisa

- Interoperabilidade entre diferentes tecnologias LPWANs
- Já existem muitas tecnologias (ETSI, IEEE, 3GPP, IETF)
 - Tendência é que elas permaneçam co-existindo
 - Um padrão que crie a interoperabilidade

Desafios de pesquisa

- Localização
 - Muitas aplicações podem se beneficiar de um serviço de localização
 - Veículos, pessoas e animais
 - Crianças, idosos, animais de estimação, entrega de encomendas e frotas de veículos
- Pode ser medida através do sinal na rede
 - Exige um sistema de estações base mais complexo
 - LPWAN pode ser pouco preciso

Desafios de pesquisa

- Otimização e adaptação do enlace
 - Os enlaces apresentam diferentes qualidades para transmissão
 - As tecnologias apresentam diferentes configurações para diferentes
 - Taxas de transmissão
 - Cobertura
 - Consumo de energia
 - Como otimizar e adaptar para atender ao máximo os requisitos das aplicações?
 - Monitoramento do enlace

Desafios de pesquisa

- *Testbeds* e ferramentas
 - Não existe ainda *Open Testbeds*
 - Comparação de desempenho de diferentes tecnologias
 - Nas mesmas condições
- Já existem modelos analíticos e simuladores
 - **Lorasim**
 - Available: <http://www.lancaster.ac.uk/scc/sites/lora/lorasim.html>
 - D. Magrin, “Network level performances of a lora system,” Master’s thesis, University of Padova, 2016.

Créditos

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