



Universidade Federal do ABC

INF-111

Redes Sem Fio

Aula 10
Internet das Coisas

Prof. João Henrique Kleinschmidt

Santo André, abril de 2016

Roteiro

- **Introdução**
- **Características e aplicações**
- **Protocolos padronizados**
- **IEEE 802.15.4e**
- **6LoWPAN e RPL**
- **CoAP e MQTT**
- **IoT e Cidades Inteligentes**

Introdução

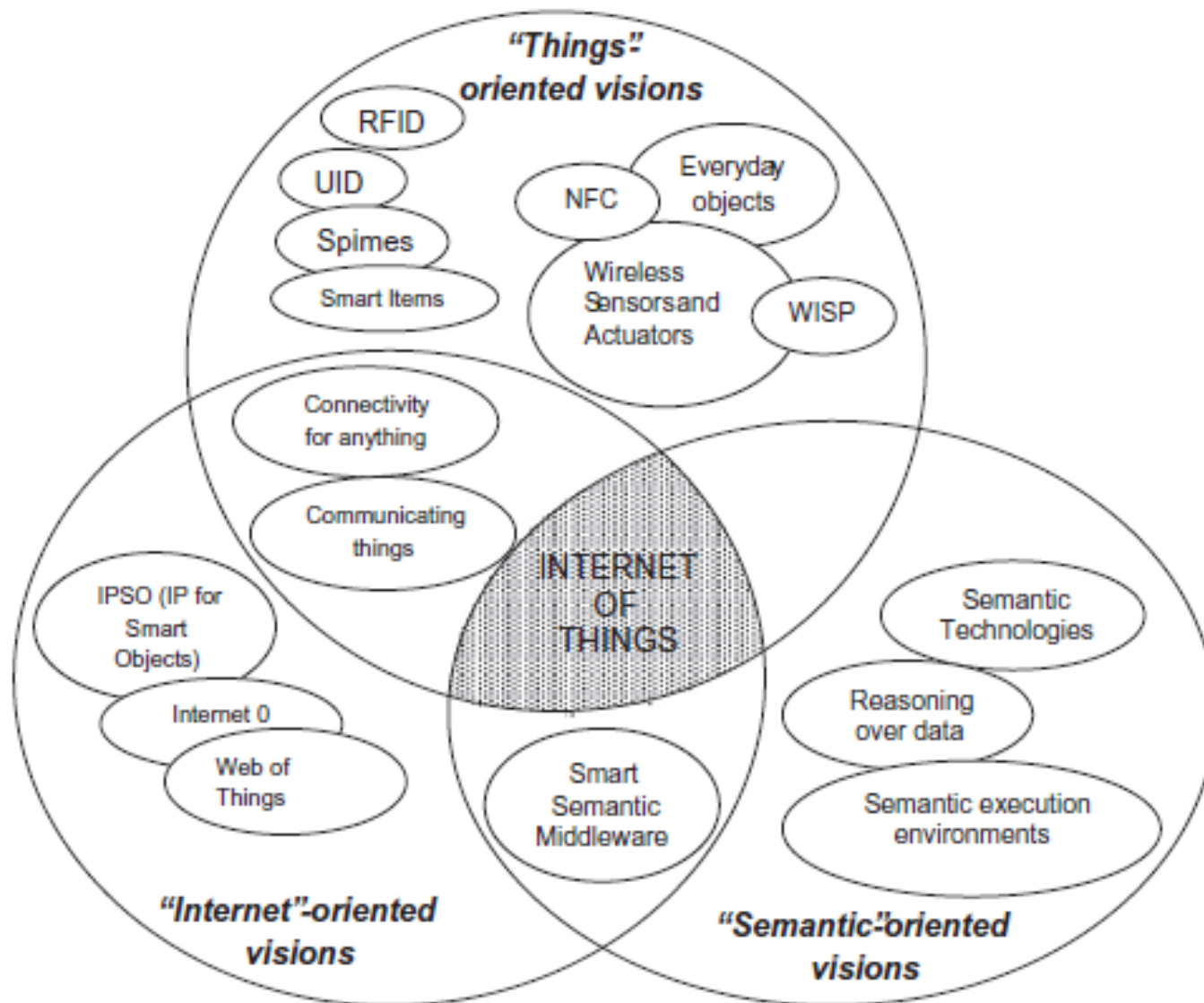
- Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*)
- O termo IoT se refere:
 - Rede global que interconecta objetos inteligentes (*smart objects*) extendendo tecnologias da Internet;
 - Conjunto de tecnologias necessárias para realizar tal visão (ex: RFID, sensores/atuadores, dispositivos de comunicações máquina-máquina (M2M), etc)
 - Conjunto de aplicações e serviços que aproveitam estas tecnologias para desenvolver novas oportunidades de negócios
- *D. Miorandi et al. / Ad Hoc Networks 10 (2012)*

Introdução

- RFID
- Redes ad hoc móveis (MANETs)
- Redes de sensores
- Máquina-máquina (M2M)
- Redes veiculares (VANETs)
- Redes FANETS (Flying Ad Hoc Networks)
- Cidades inteligentes
- Big Data

Introdução

- Convergência de várias visões



IoT – *Smart object (things)*

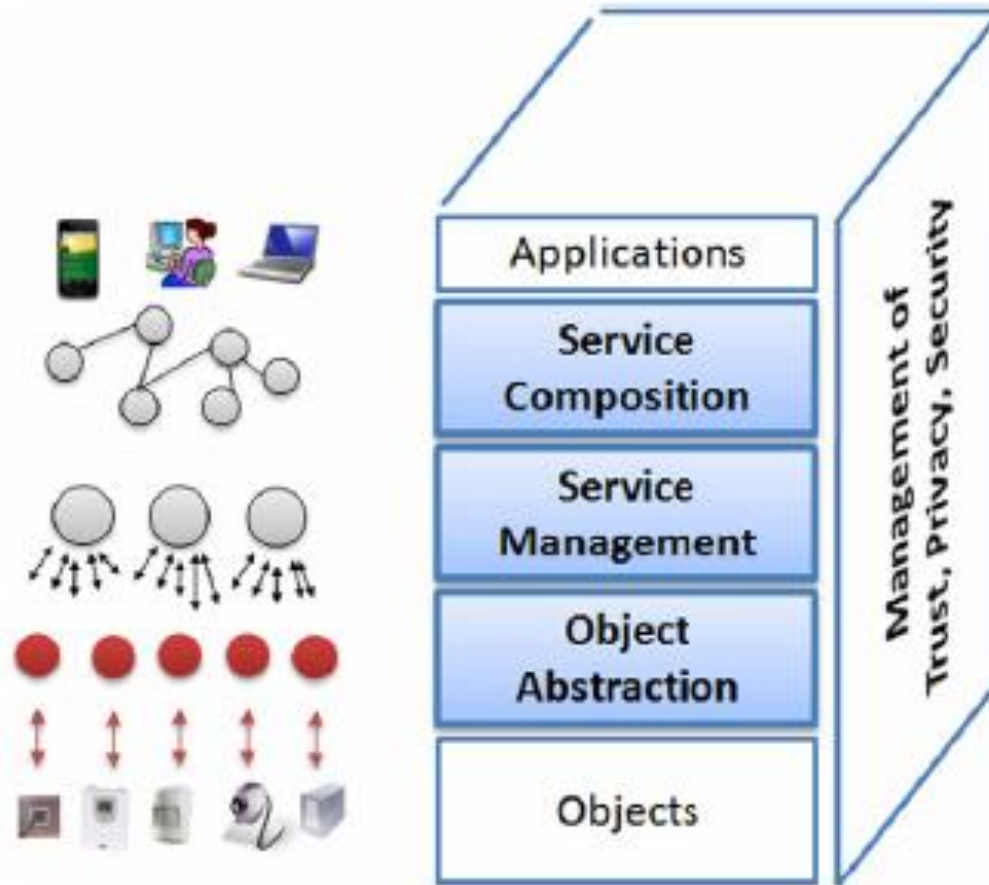
- Tem capacidade de comunicação sem fio
- Possui um identificador único
- Está associado a um nome e um endereço
- Tem capacidade de computação - pode ser das mais simples (como em tags RFID) até mais complexas
- Pode sensoriar fenômenos físicos (sensores) ou disparar ações com efeito na realidade física (atuadores)
- Todas as coisas são ***identificadas***, se ***comunicam*** e ***interagem*** com o ambiente

IoT - Características

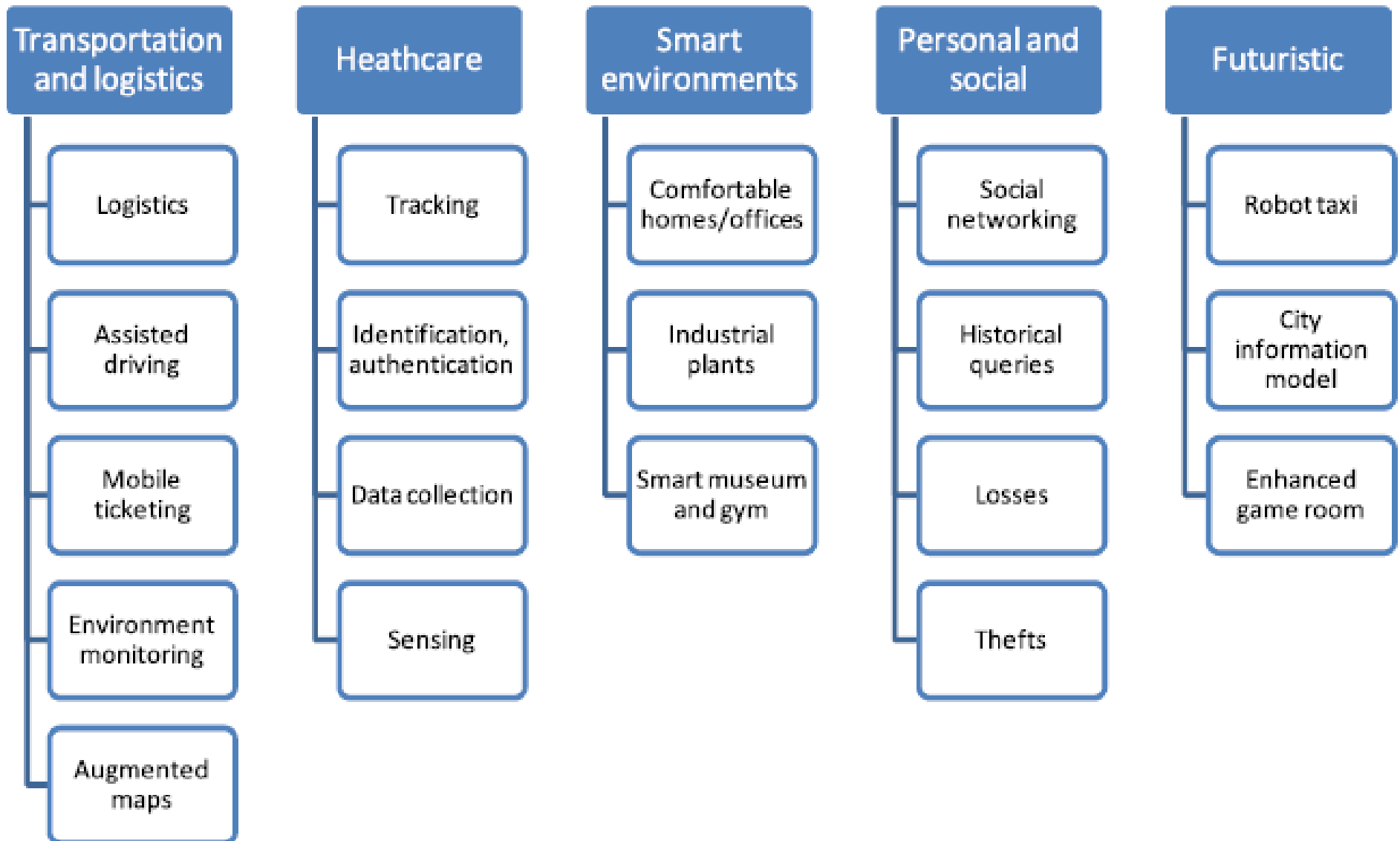
- Heterogeneidade de dispositivos
- Escalabilidade
- Troca de dados ubíqua com tecnologias sem fio
- Soluções otimizadas de energia
- Capacidade de localização e rastreamento
- Auto-organização
- Interoperabilidade semântica e gerenciamento de dados
- Mecanismos de segurança e preservação de privacidade

Características

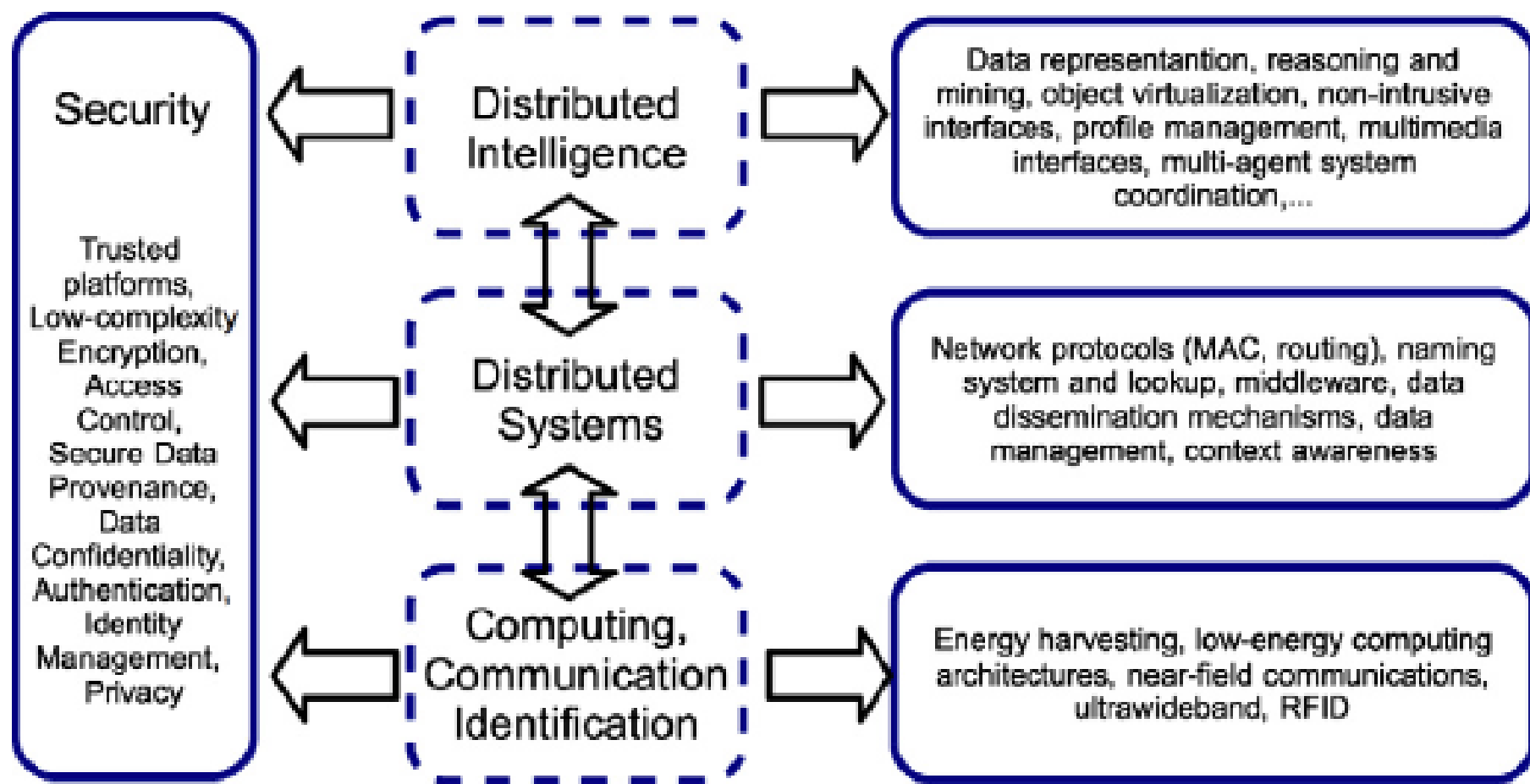
- Middleware IoT orientado a serviço (SOA)



Aplicações



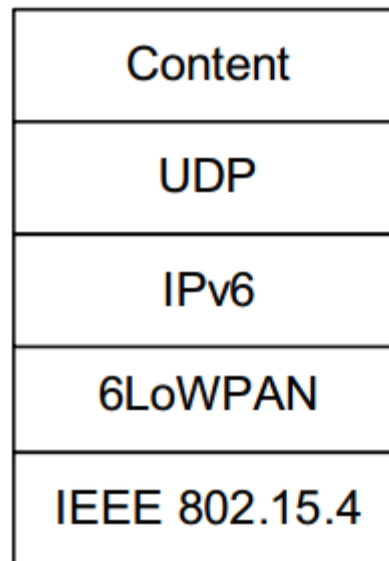
Internet das Coisas



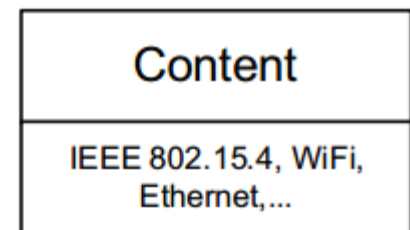
Taxonomia de áreas relevantes da IoT

Padronização

- Existe a necessidade de padronização de protocolos para IoT
- Pilha de protocolos de baixo consumo de energia, confiável e compatível com a Internet
- Camada física enlace: RFID, IEEE 802.15.x, etc
- Camada de rede: ?
- Camada de transporte: ?
- Camada de aplicação: ?



(a) IP-based Stack



(b) non-IP based Stack

Iniciativas de Padronização

- *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*
- IEEE 802.15.4:
 - IEEE 802.15.4e (*Time Synchronized Channel Hopping*)
 - ZigBee
 - *Wireless Highway Addressable Remote Transducer Protocol (WirelessHART)*
- IETF:
 - *IPv6 over Low Power Personal Area Network (6LoWPAN)*
 - *IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e (6TiSCH).*
 - *6TiSCH Operation Sublayer (6top)*
 - *IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)*
 - *Constrained Application Protocol (CoAP)*

IEEE 802.15.4

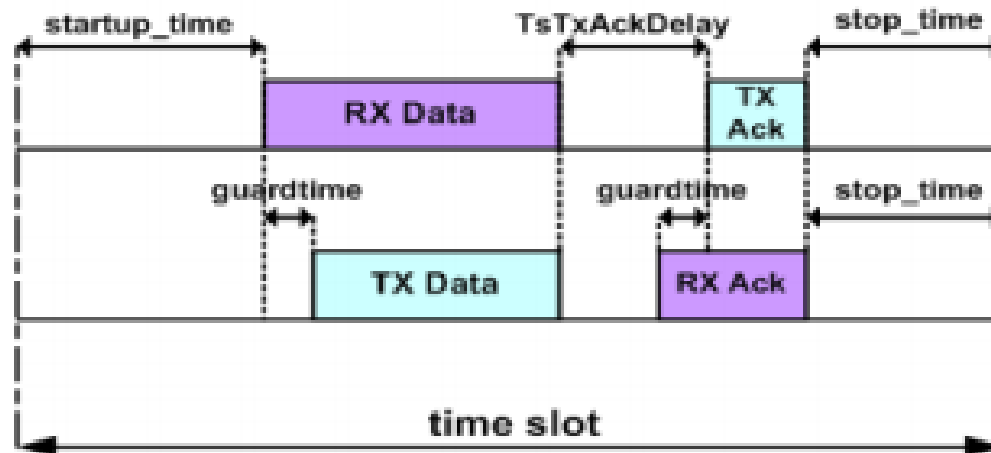
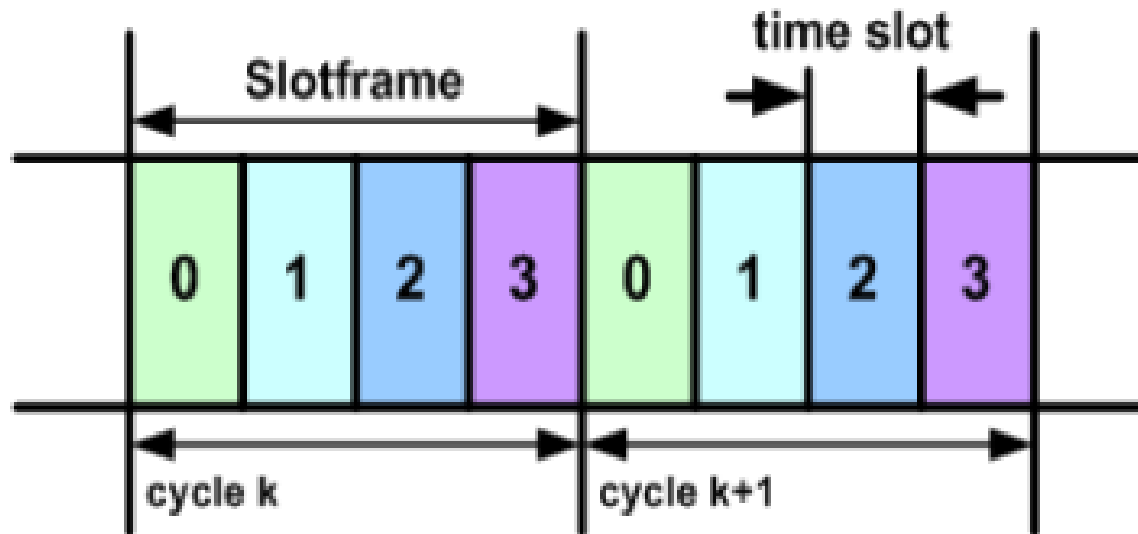
- Já estudado nas aulas anteriores
- Possui limitações:
- MAC não confiável
 - O método de acesso é CSMA-CA
 - Contenção aumenta com o número de nós ativos
 - Todos os nós esperam para acessar o canal quando recebem beacon
- Latência
- Sem garantia de largura de banda
 - Ao menos se GTS for usado
 - GTS permite apenas serviços limitados
- Sem técnica de salto de frequências
 - Suscetível a erros de interferência e desvanecimento multi-percurso

IEEE 802.15.4e

- IEEE 802.15 Task Group 4e
- Definir uma emenda para melhorar e adicionar funcionalidades ao 802.15.4 MAC
- Ratificado pelo IETF
- Aprovado pelo IEEE em 2012
- Várias ideias aproveitadas de protocolos industriais: WirelessHART e ISA 100.11.a
- Utiliza a técnica *Time Synchronized Channel Hopping* (TSCH) para evitar interferência, sombreamento e desvanecimento multi-percurso
- Protocolo MAC reprojetoado para suportar escalonamento distribuído ou centralizado, salto de frequências e formação de redes.

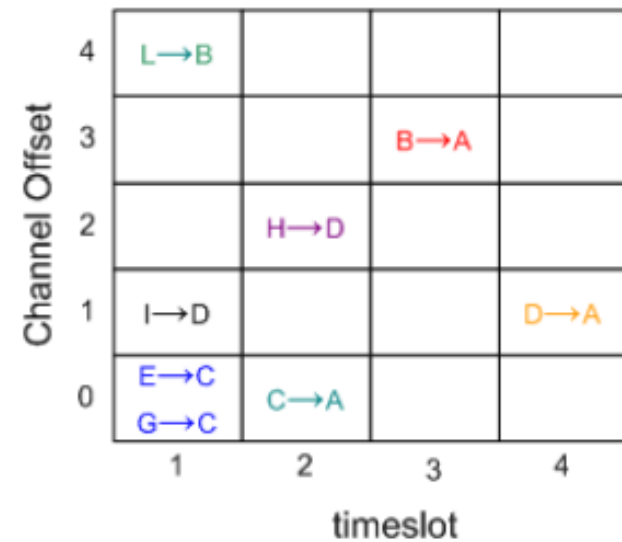
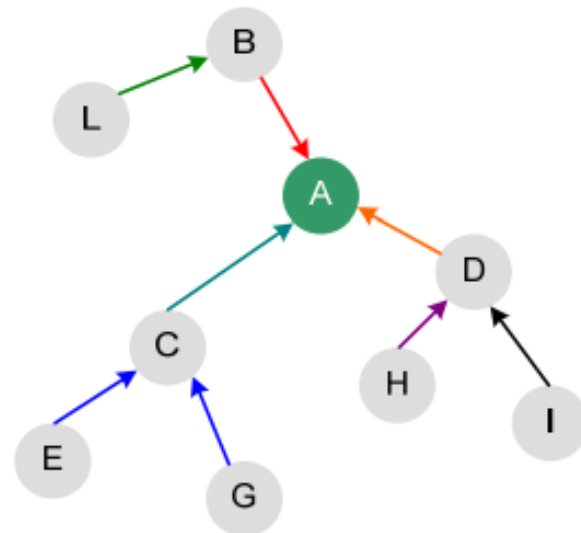
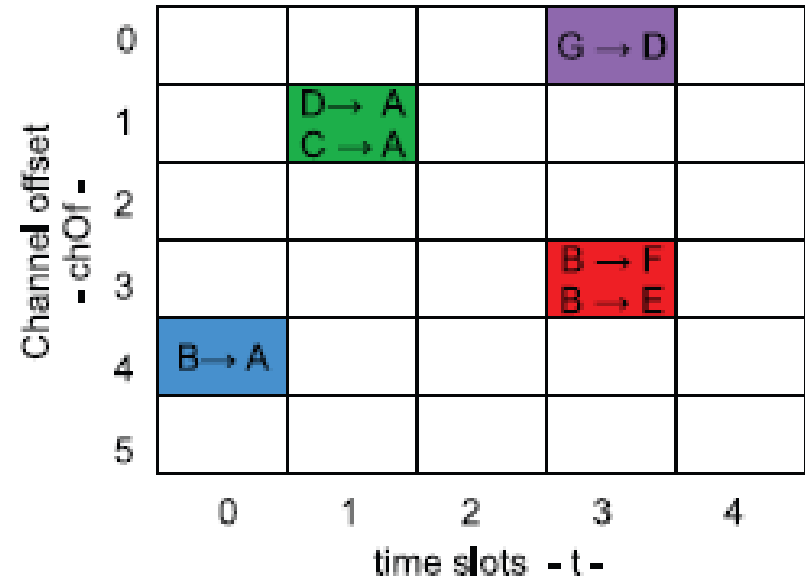
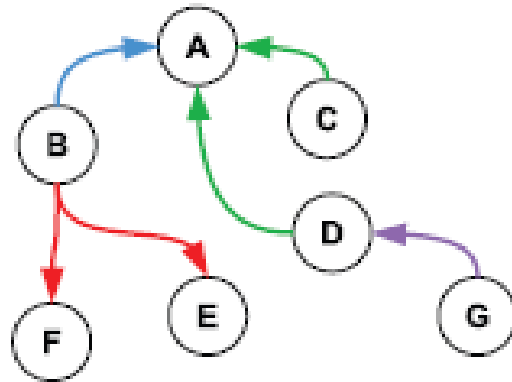
IEEE 802.15.4e

- Slotframe periódico



IEEE 802.15.4e

- Enlace TSCH :

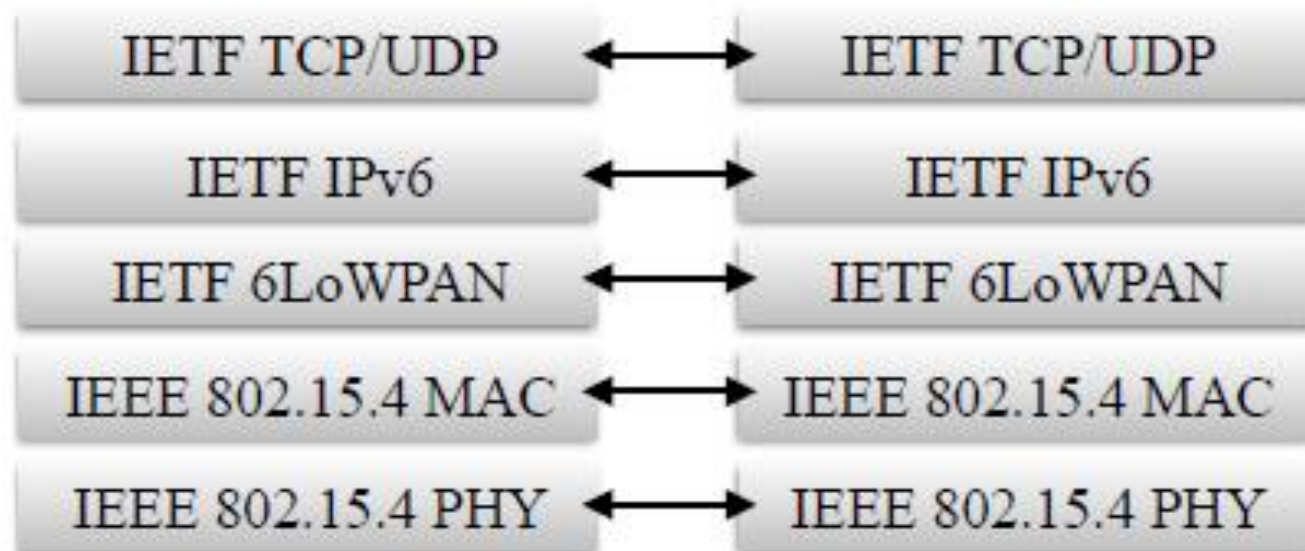


IEEE 802.15.4e

- **Escalonamento**
- Cada nó segue um “schedule” que diz o que fazer em cada slot (transmitir, receber ou dormir)
- O *schedule* indica com qual vizinho deve transmitir ou receber, e em qual canal
- Define como a camada MAC executa um *schedule*, mas não como construir um *schedule*
- Centralizado
 - Um nó gerenciador é responsável em construir e manter o schedule
- Distribuído
 - *Nós decidem localmente o schedule com seus vizinhos*

6LoWPAN

- IETF: *IPv6 over Low Power Personal Area Networks*
- Pacotes IPv6 são muito grandes para IEEE 802.15.4.
- Provê uma camada de adaptação para segmentar e reconstruir pacotes IPv6
- Provê compressão do cabeçalho IPv6

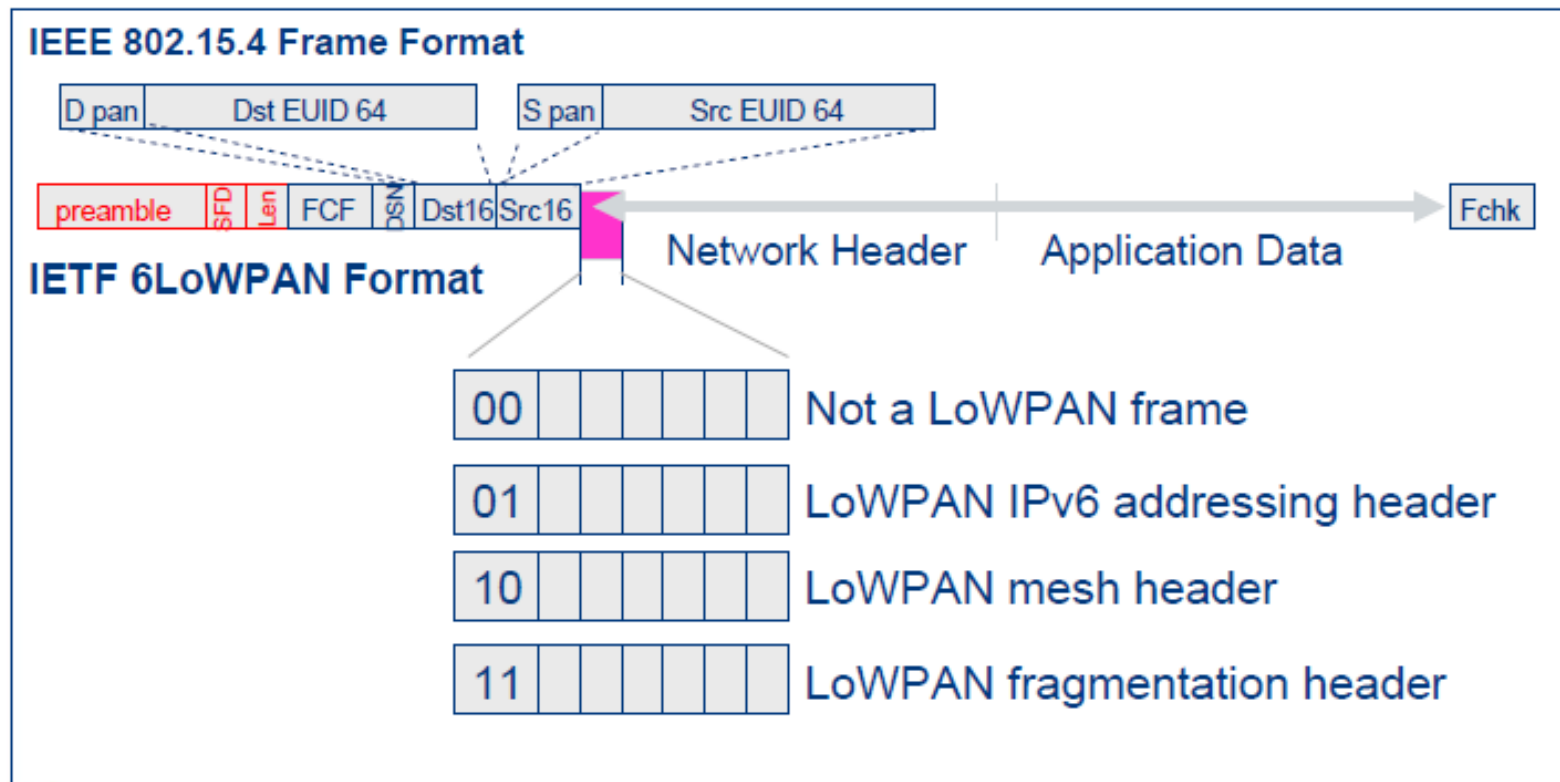


6LoWPAN

- Um endereço IPv4 é formado por 32 bits.
 $2^{32} = 4.294.967.296$
- Um endereço IPv6 é formado por 128 bits.
- $2^{128} = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456$
- ~ 56 octilhões ($5,6 \times 10^{28}$) de endereços IP por ser humano.
- ~ 79 octilhões ($7,9 \times 10^{28}$) de endereços a mais do que no IPv4.
- A representação dos endereços IPv6, divide o endereço em oito grupos de 16 bits, separando bits, separando-os por “:”, escritos com dígitos hexadecimais:
`2001:0DB8:AD1F:25E2:CADE:CAFE:F0CA:84C1`

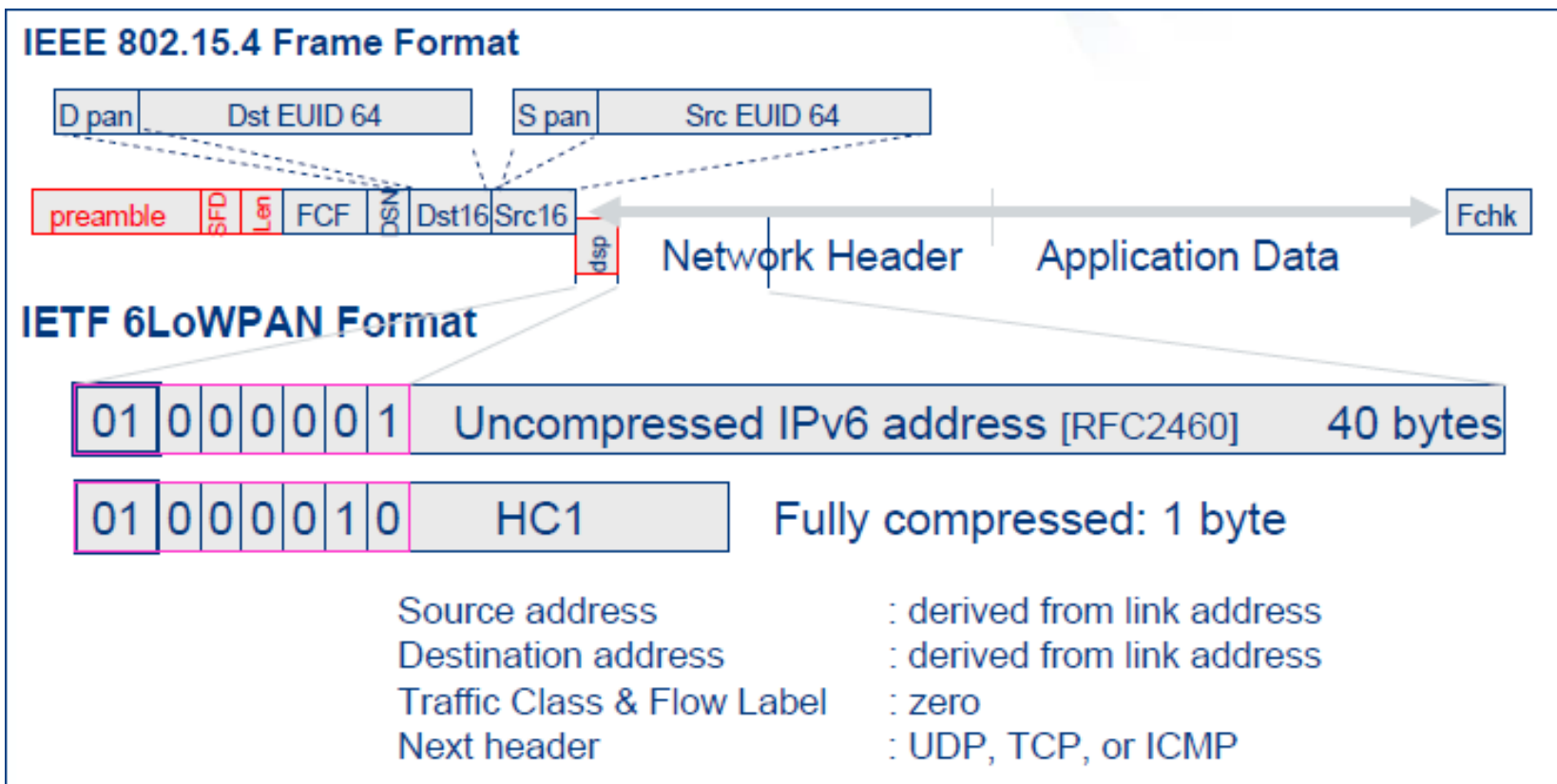
6LoWPAN

- Todos os datagramas 6LoWPAN (que devem ser transportados pelo IEEE 802.15.4 MAC) são prefixados por um cabeçalho
- 4 categorias gerais:



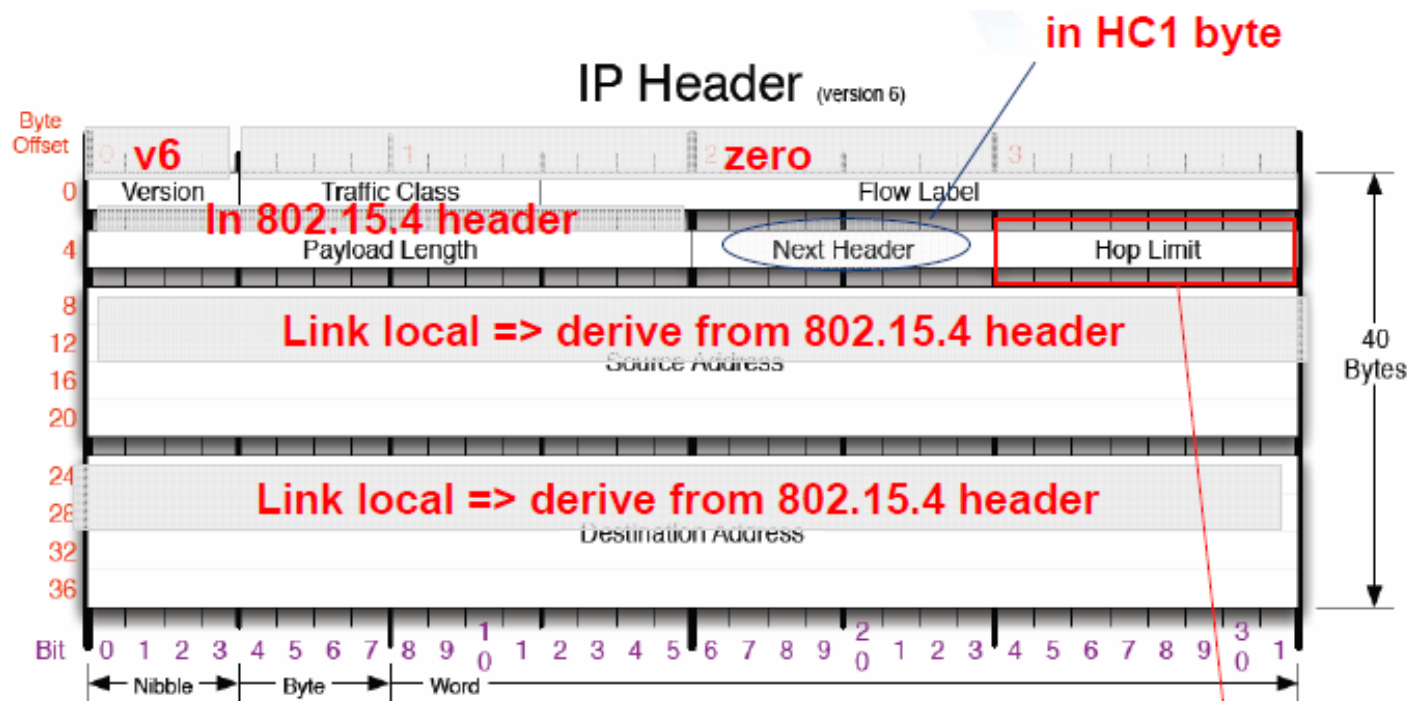
6LoWPAN

- Em uma WPAN, vários campos do cabeçalho IPV6 podem ser comuns ou fáceis de derivar sem que tenham sido enviados
- 6LoWPAN comprime cabeçalhos IPV6 e UDP



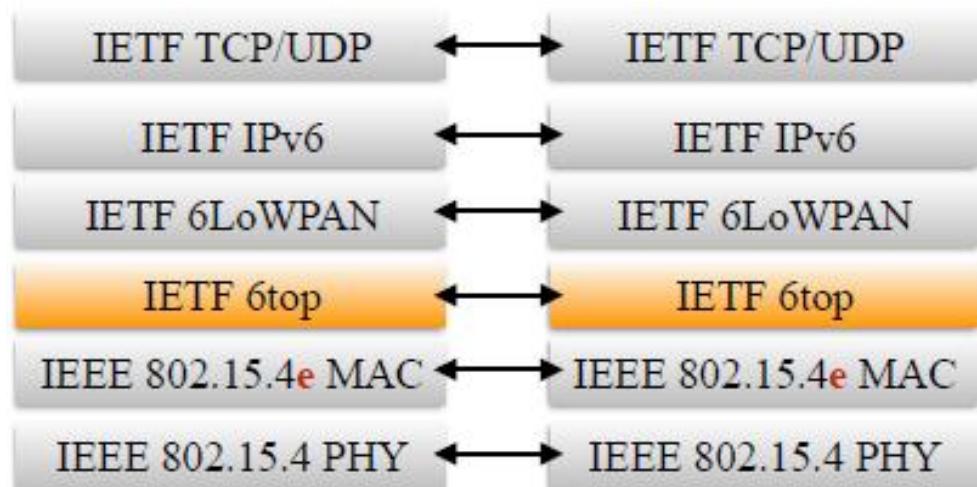
6LoWPAN

- Endereço IPv6 <prefix64 || interface id> para os nós 802.15.4 são derivados do endereço de enlace.
 - Cada WPAN tem um único prefixo IPv6
- Limite de saltos é o único campo do IPv6 que não é comprimido



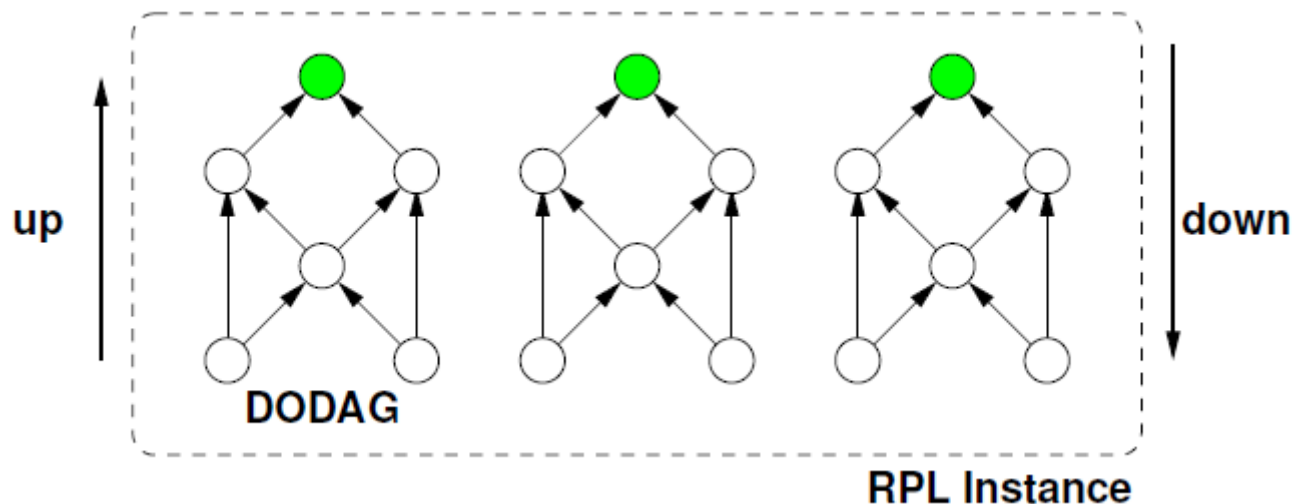
6TiSCH

- IETF: *IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e* (6TiSCH)
- Define a subcamada *6top* e um conjunto de protocolos (como estabelecer um *schedule* com abordagem centralizada ou distribuída), assim como uma arquitetura para juntá-los para uso em redes IPV6 baseadas em TSCH
- IETF: 6TiSCH Operation Sublayer (6top)
 - “*6top* permite obter um indentificador único de 16 bits da rede”



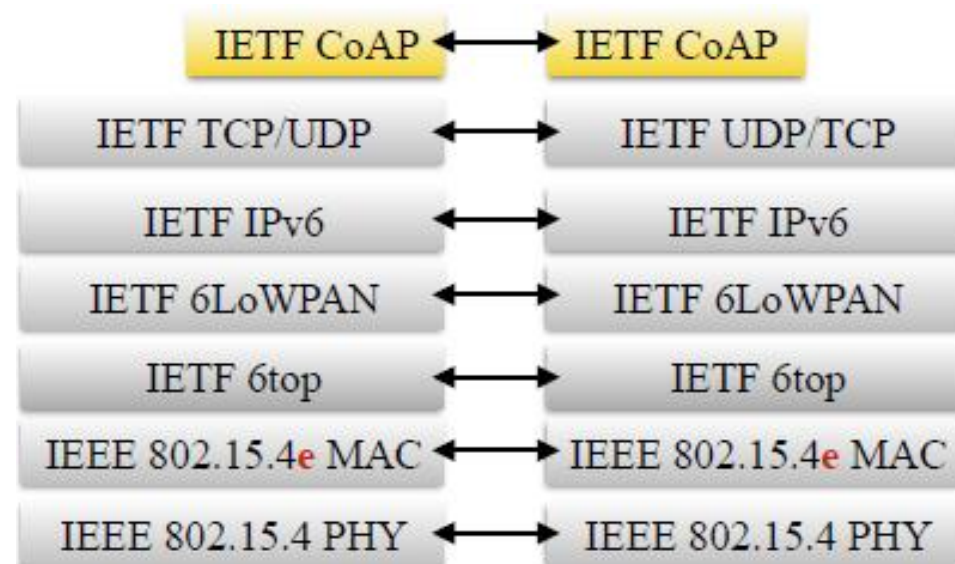
RPL

- IETF: *IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks*
- Protocolo de roteamento para redes de baixa potência e com perdas
- Abordagem de vetor de distâncias em que os nós constroem um Grafo Acíclico e Orientado Direcionado (DODAG).
- Tráfego flui para cima em direção ao nó raiz DODAG ou para baixo em direção as folhas DODAG .
- Ver aula RPL.

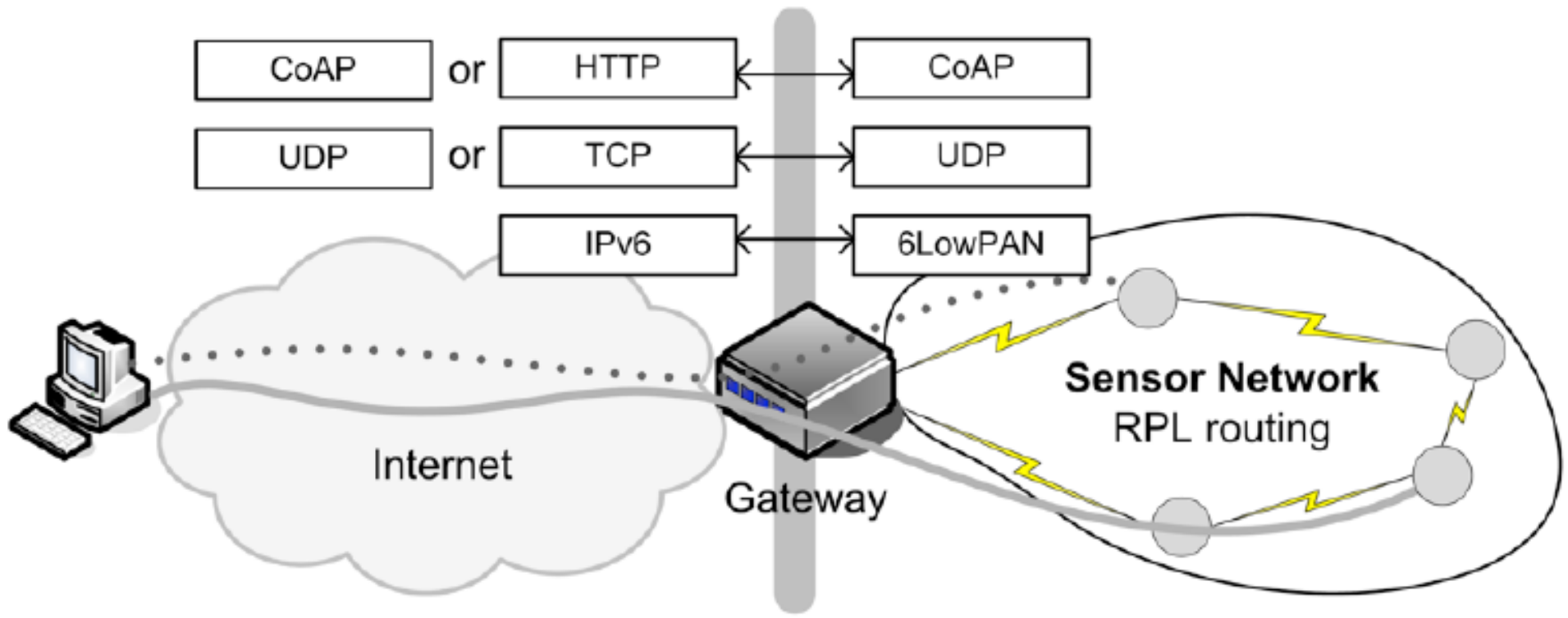


CoAP (*Constrained Application Protocol*)

- Protocolo de transferência web para redes de baixa potência e com perdas ao estilo REST (orientado a serviços)
- Há uma URI para cada “coisa”
- Ao contrário do HTTP, usa UDP
- Permite troca de mensagens assíncronas com baixa complexidade
- Mapeamento HTTP-CoAP é padronizado

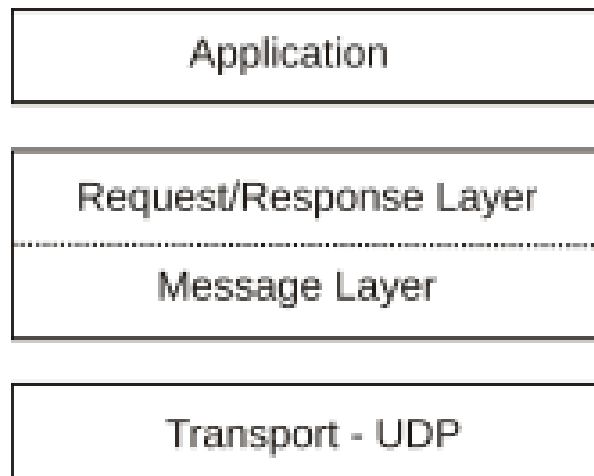


CoAP



Arquitetura CoAP

- Transações CoAP fornecem confiabilidade a mensagens UDP
- Métodos CoAP são parecidos com métodos requisição/resposta do HTTP
- Chamadas de métodos CoAP podem envolver múltiplas transações
- Como a camada de transporte é assíncrona, um endpoint pode atuar tanto como cliente ou servidor



CoAP

- Mensagens (*Message Layer*)

Mensagem	Descrição
CON	Mensagens que requerem uma resposta (receptor tem que enviar um ack ou um reset)
NON	Mensagens que não precisam de resposta
ACK	Mensagem que confirma o recebimento de uma mensagem CON (pode também conter dados)
RST	Indica que uma mensagem CON não pode ser processada

- Transações são requisitas ponto-a-ponto (não cliente/servidor)
- Transações são identificadas por um ID (TID)

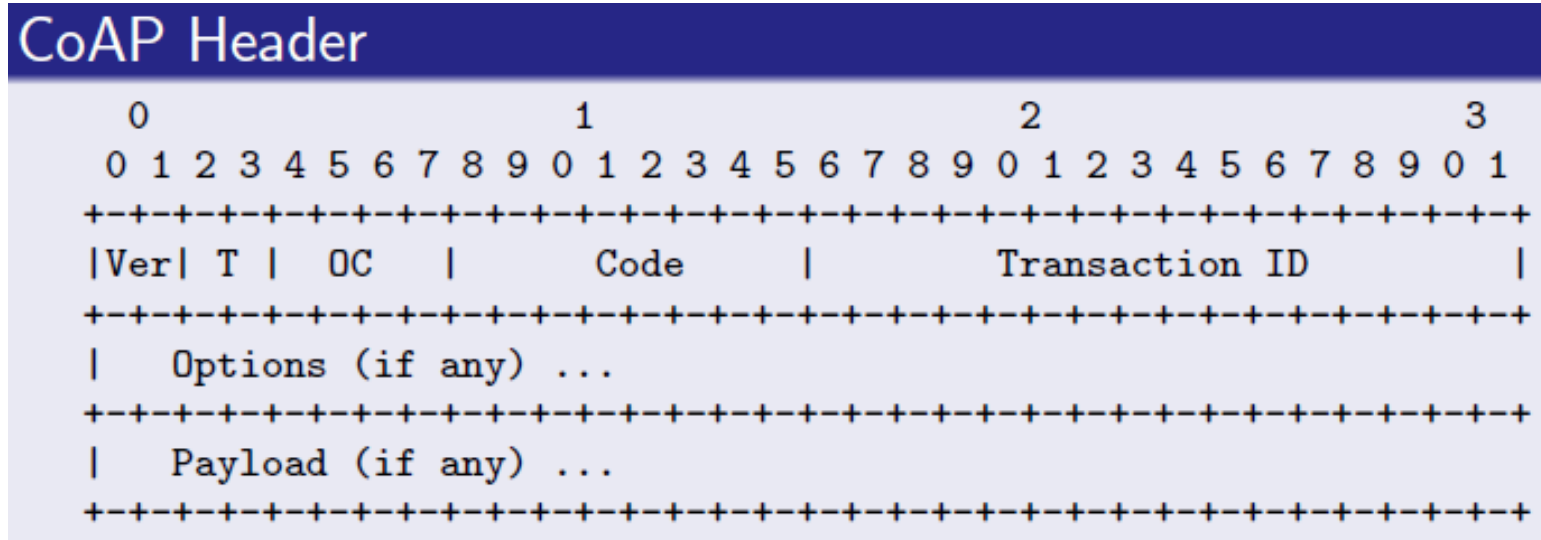
CoAP

- Requisição/resposta (*Request/Response Layer*)

Métodos	Descrição
GET	Recupera informações de um recurso identificado por uma URI
POST	Cria um novo recurso na URI requisitada
PUT	Atualiza o recurso identificado pela URI
DELETE	Deleta o recurso identificado pela URI

- Recursos são identificados por URIs
- Métodos similares ao HTTP
- Códigos de resposta são um subconjunto de códigos de resposta HTTP

CoAP – Formato da mensagem



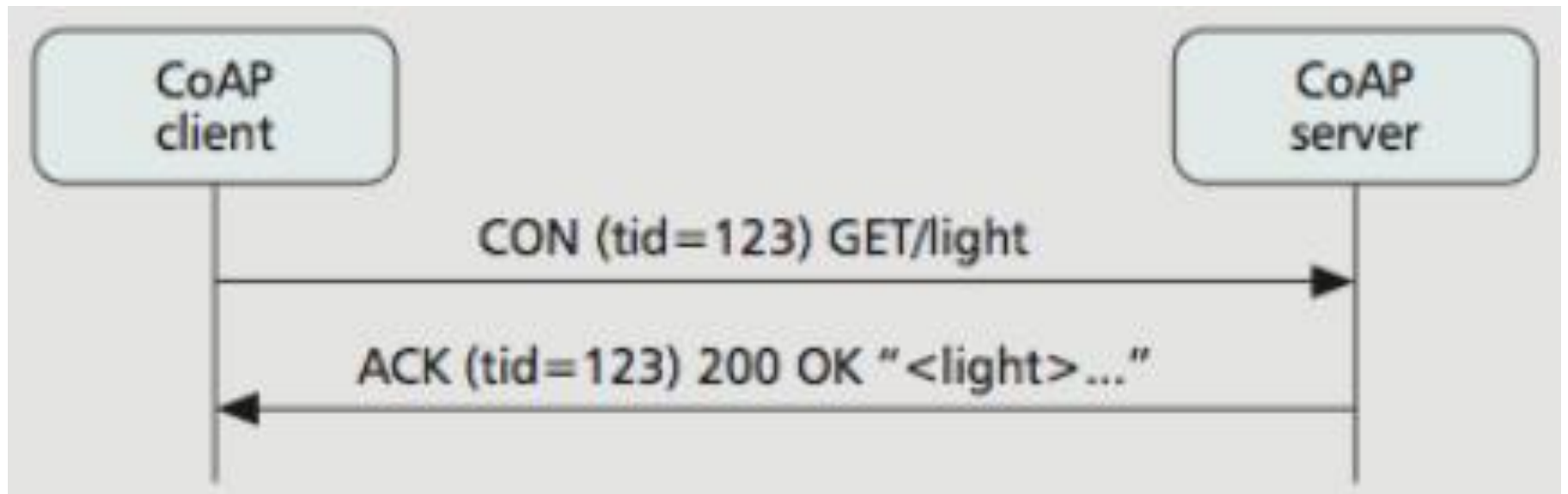
- Ver: número de versão do CoAP
- T: indica o tipo da mensagem (CON, NON, ACK, RST)
- OC: número de opções
- Code: indica se a mensagem é requisição ou resposta.

Requisição: GET, POST, PUT, DELETE

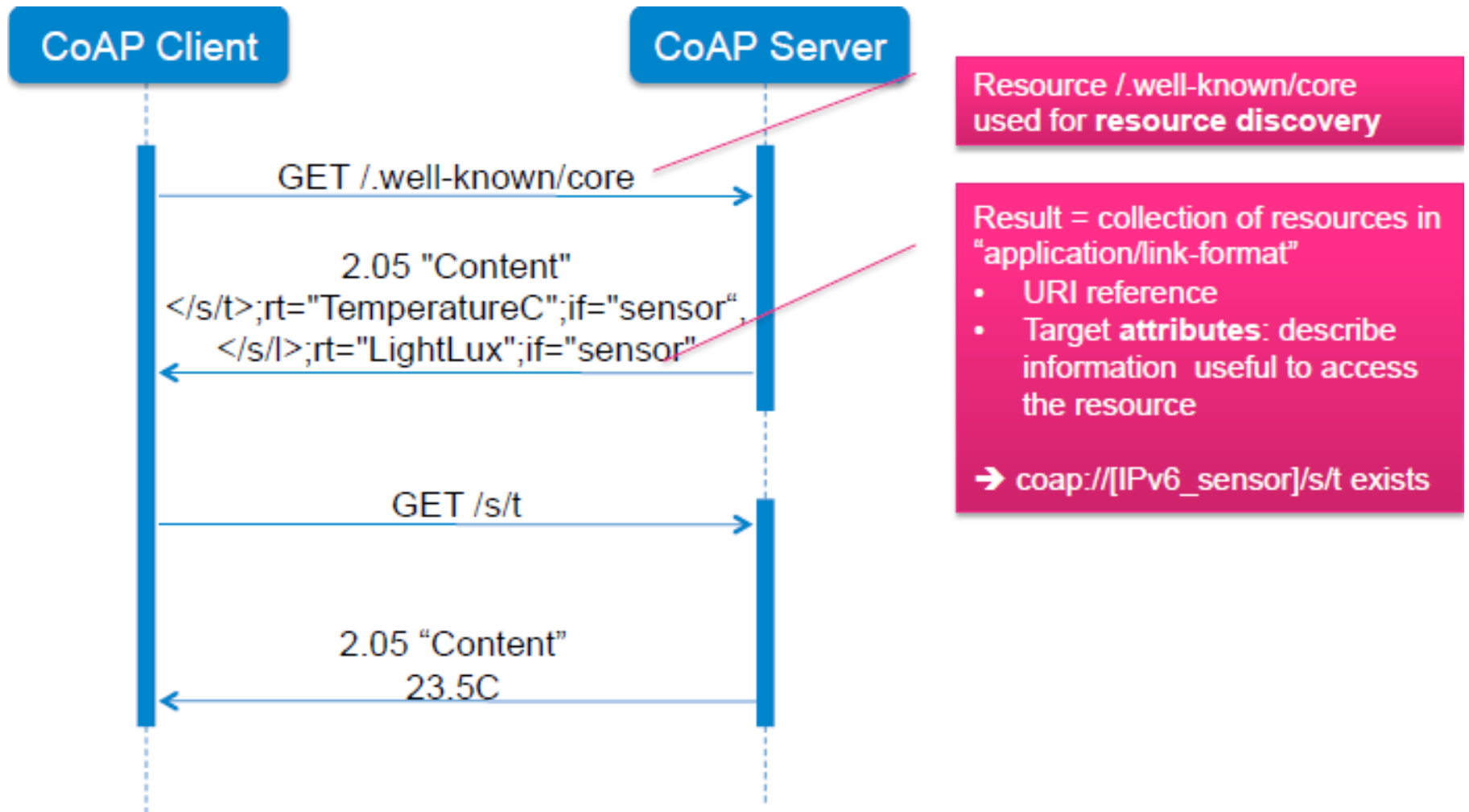
Resposta: código da resposta

- Transaction ID: identifica a transação

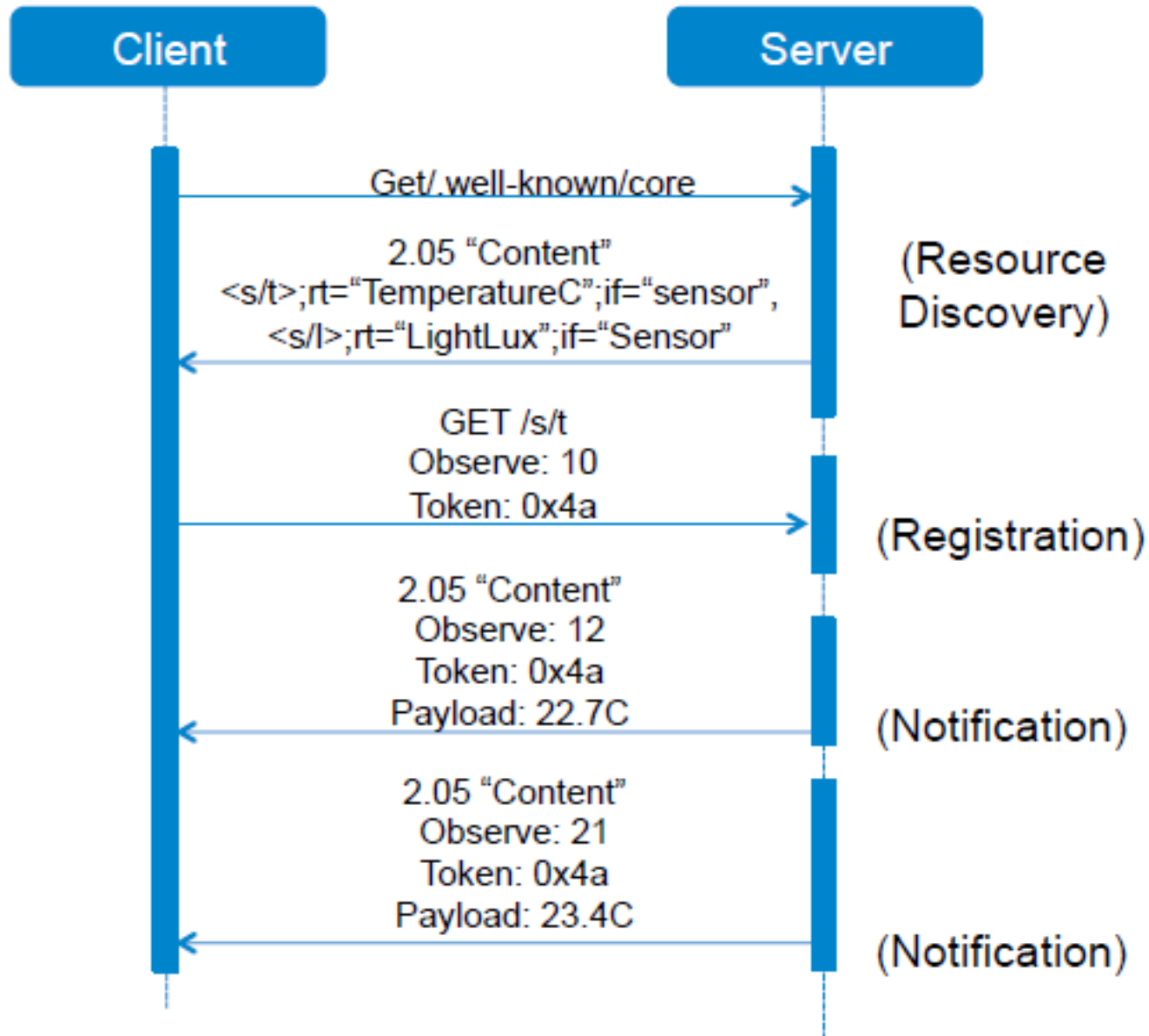
Exemplo CoAP



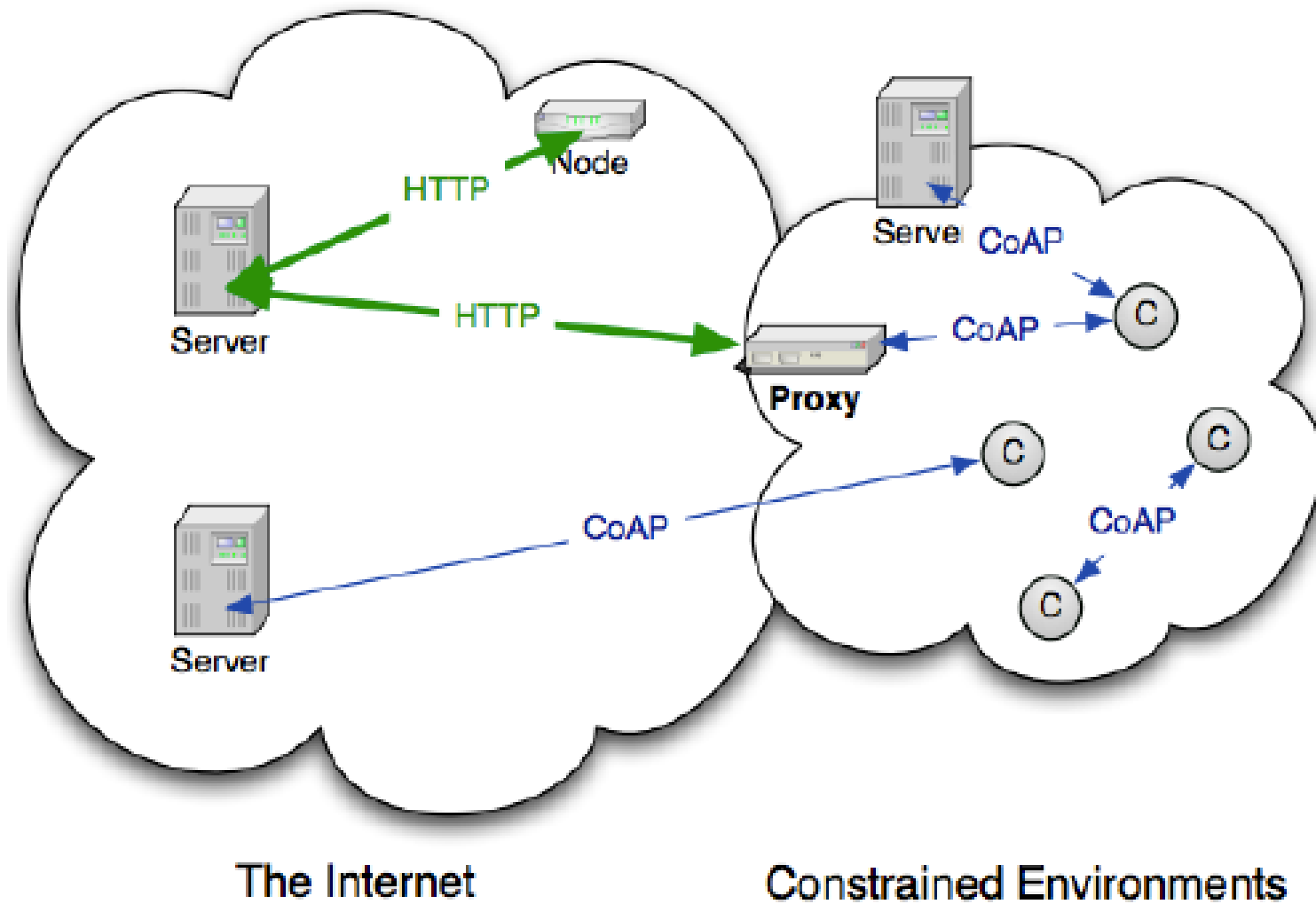
Exemplo CoAP com descoberta de recursos



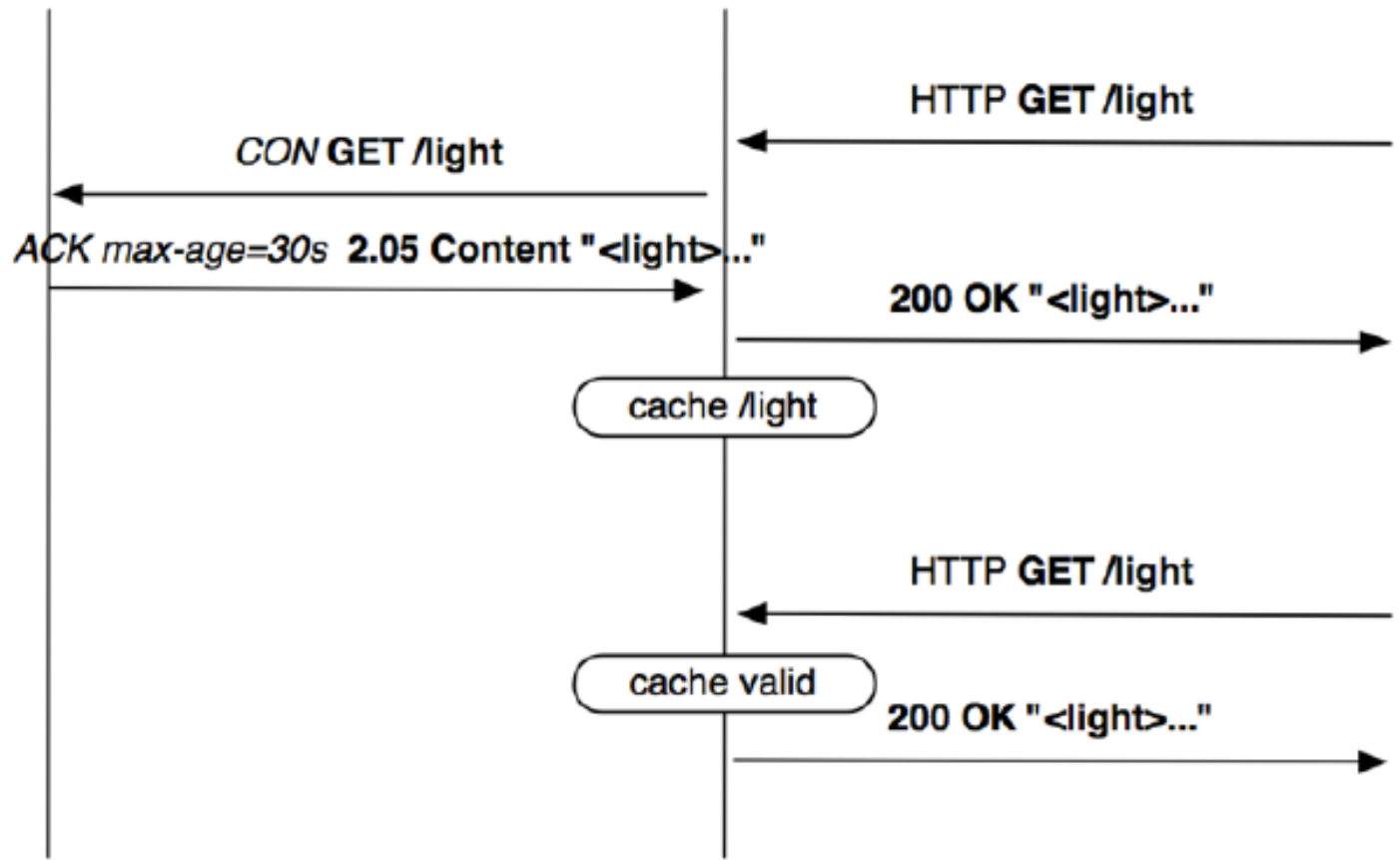
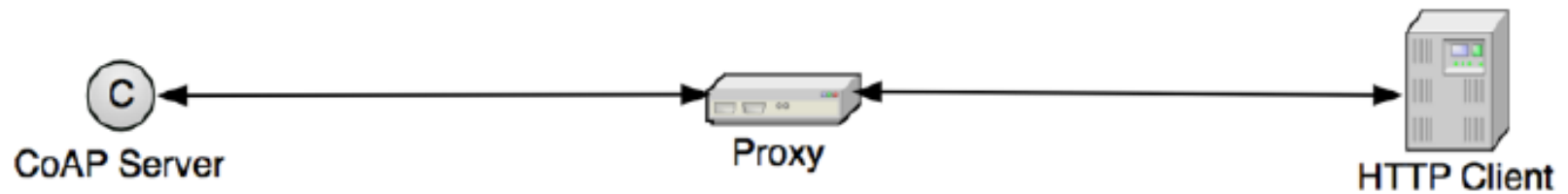
Exemplo CoAP com opção *Observe*



CoAP e HTTP



CoAP – Proxy e cache

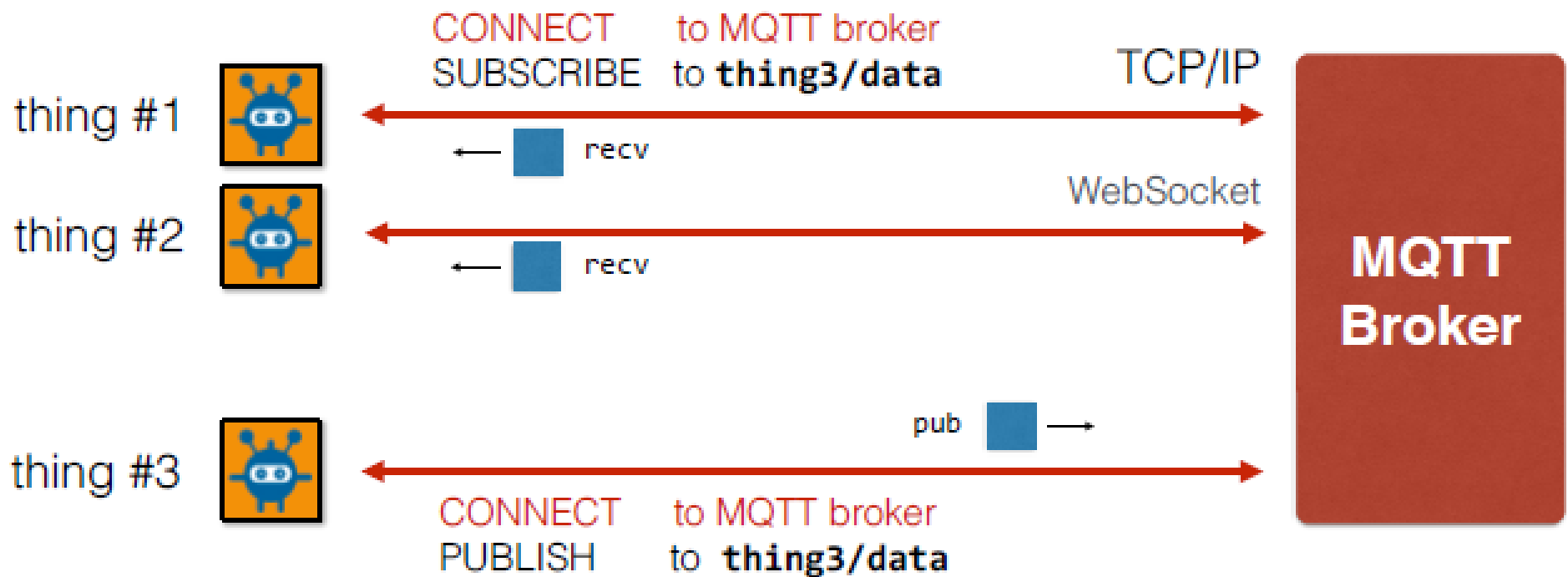


MQTT

- *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT)
- Protocolo de mensagens leves para executar sobre TCP/IP
- MQTT para Redes de Sensores (MQTT-SN) é independente do TCP/IP
- “MQ” vem da IBM “*message queuing*”
- Não é para tempo real – atraso de segundos
- Foco em cenários Máquina-Servidor (M2S)
- Paradigma publicar/subscrever
- Operações: *Connect, Subscribe, Publish, Unsubscribe, Disconnect.*
- Alternativa ao CoAP (IETF)

MQTT

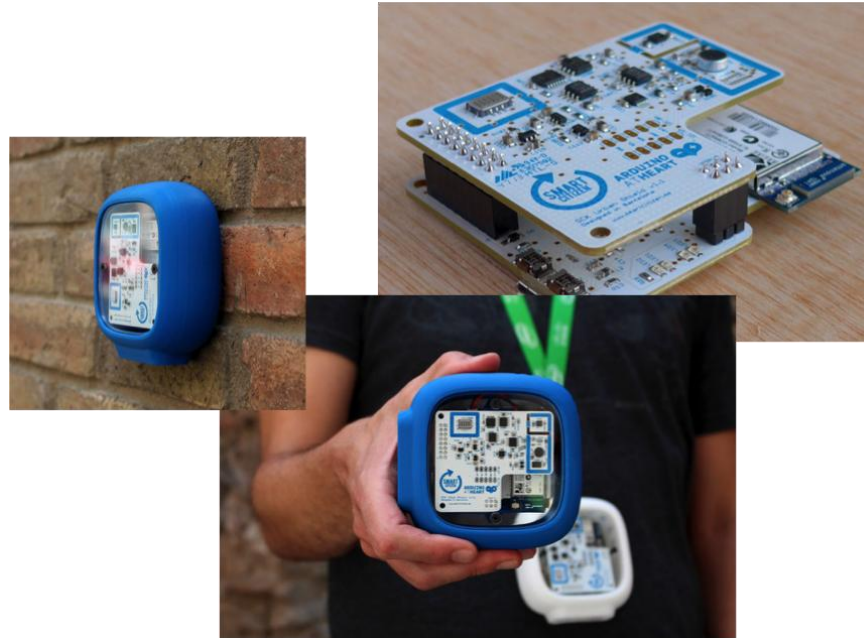
- *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*



IoT e Cidades Inteligentes

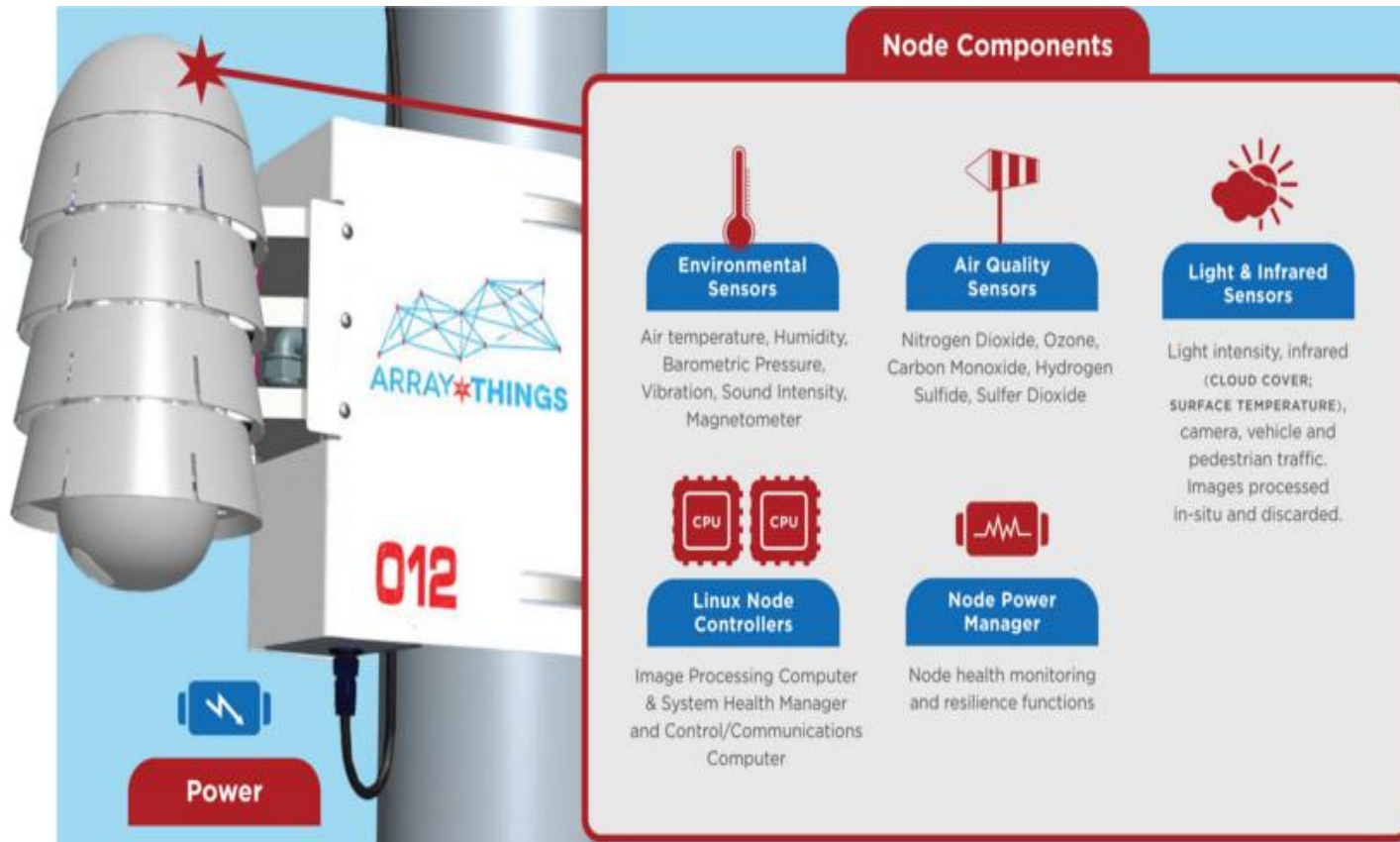
- Várias cidades no mundo:
 - Santander (Espanha)
 - Amsterdã (Holanda)
 - Pádua (Itália)
 - Chicago (EUA)
 - SongDo (Coreia do Sul)
 - Cidade ubíqua – prevista para 2020
 - CITE City (EUA) - *Center for Innovation, Testing and Evaluation*

Amsterdã - Holanda



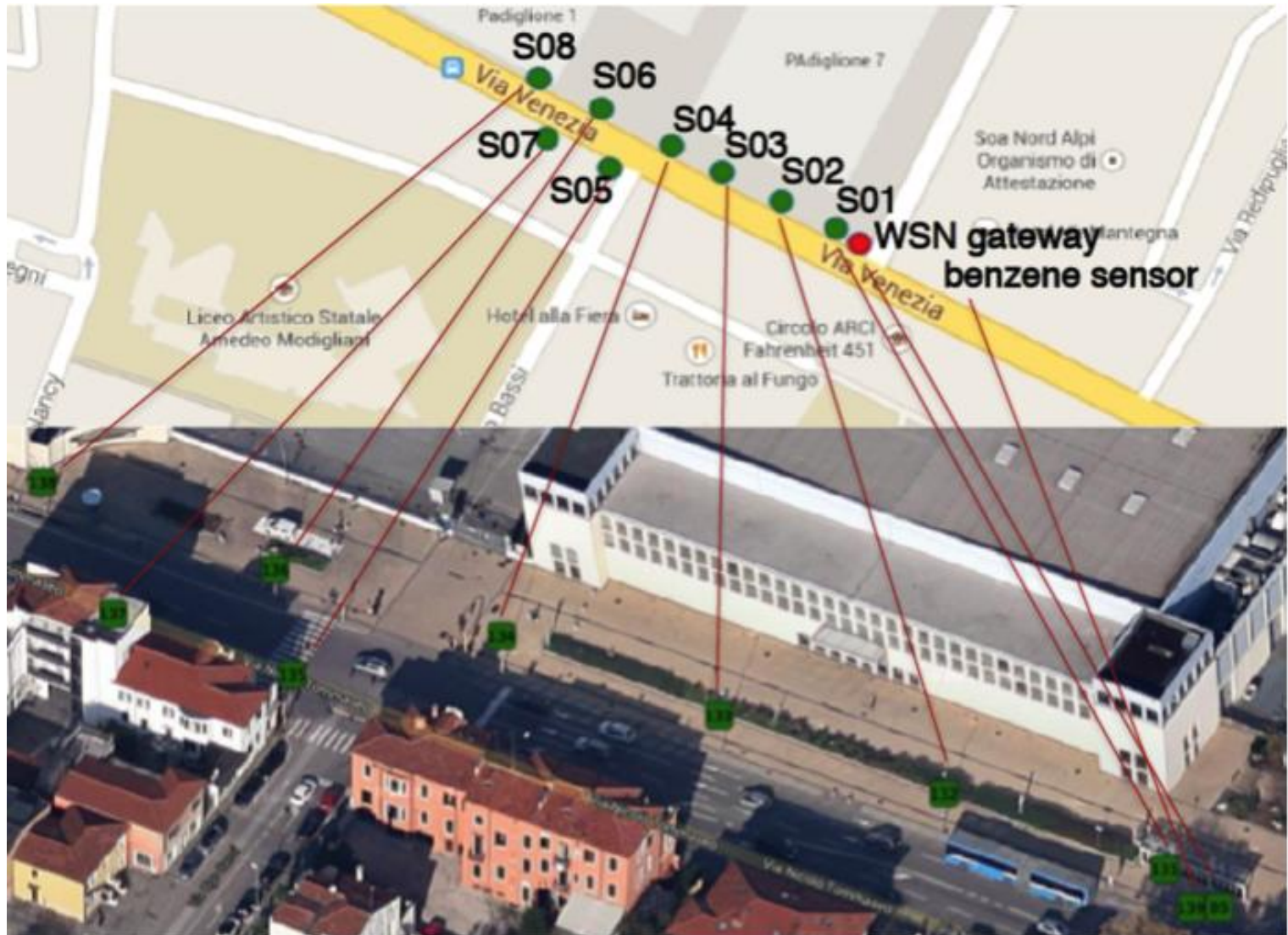
Smart citizen kit

Chicago - EUA



Array of Things

Exemplo: Padova Smart City



Exemplo: Padova Smart City

Service	Network type(s)	Traffic rate	Tolerable delay	Energy source	Feasibility
Structural health	802.15.4; WiFi and Ethernet	1 pkt every 10 min per device	30 min for data; 10 s for alarms	Mostly battery powered	1: easy to realize, but seismograph may be difficult to integrate
Waste management	WiFi; 3G and 4G	1 pkt every hour per device	30 min for data	Battery powered or energy harvesters	2: possible to realize, but requires smart garbage containers
Air quality monitoring	802.15.4; Bluetooth and WiFi	1 pkt every 30 min per device	5 min for data	Photovoltaic panels for each device	1: easy to realize, but greenhouse gas sensors may not be cost effective
Noise monitoring	802.15.4 and Ethernet	1 pkt every 10 min per device	5 min for data; 10 s for alarms	Battery powered or energy harvesters	2: the sound pattern detection scheme may be difficult to implement on constrained devices
Traffic congestion	802.15.4; Bluetooth and WiFi; Ethernet	1 pkt every 10 min per device	5 min for data	Battery powered or energy harvesters	3: requires the realization of both air quality and noise monitoring
City energy consumption	PLC and Ethernet	1 pkt every 10 min per device	5 min for data; tighter requirements for control	Mains powered	2: simple to realize, but requires authorization from energy operators
Smart parking	802.15.4 and Ethernet	On demand	1 min	Energy harvester	1: Smart parking systems are already available on the market and their integration should be simple
Smart lighting	802.15.4; WiFi and Ethernet	On demand	1 min	Mains powered	2: does not present major difficulties, but requires intervention on existing infrastructures
Automation and salubrity of public buildings	802.15.4; WiFi and Ethernet	1 pkt every 10 min for remote monitoring; 1 pck every 30" for in-loco control	5 min for remote monitoring, few seconds for in-loco control	Mains powered and battery powered	2: does not present major difficulties, but requires intervention on existing infrastructures

Exemplo: Padova Smart City

Unconstrained

HTML/XML

HTTP/TCP

IPv4/IPv6

Data

Application/
transport

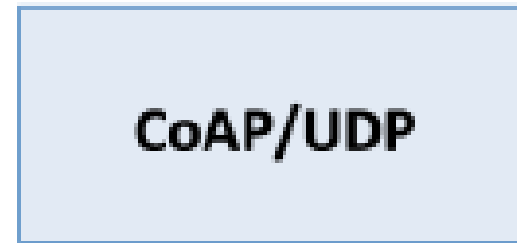
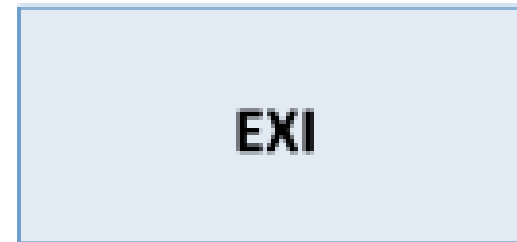
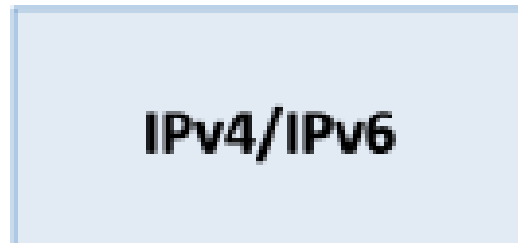
Network

Constrained

EXI

CoAP/UDP

IPv6/6LoWPAN



Arquitetura do Sistema

