Tecnologías de Comunicación para IoT (cont.)

Leonardo Steinfeld

NEON
Network of Competence on Internet of Things

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
URUGUAY

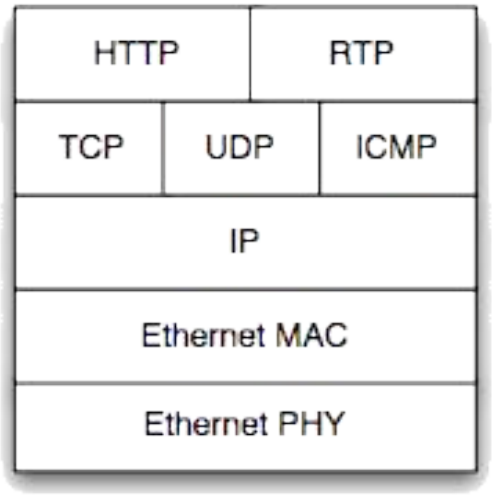
Agenda

- Introducción
- Tecnologías LPWAN
  - SigFox
  - LoRa
  - Weightless/Telensa
  - RPMA/Ingenu
- Tecnologías “Celulares”
  - NB-IoT
  - LTE-M
- Tecnologías WPAN
  - 802.15.4/Zigbee

Introducción

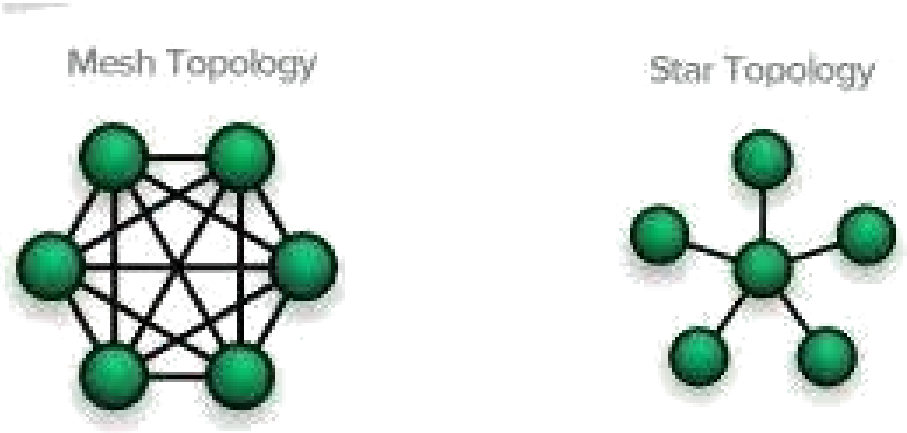
- Previos

TCP/IP Protocol Stack



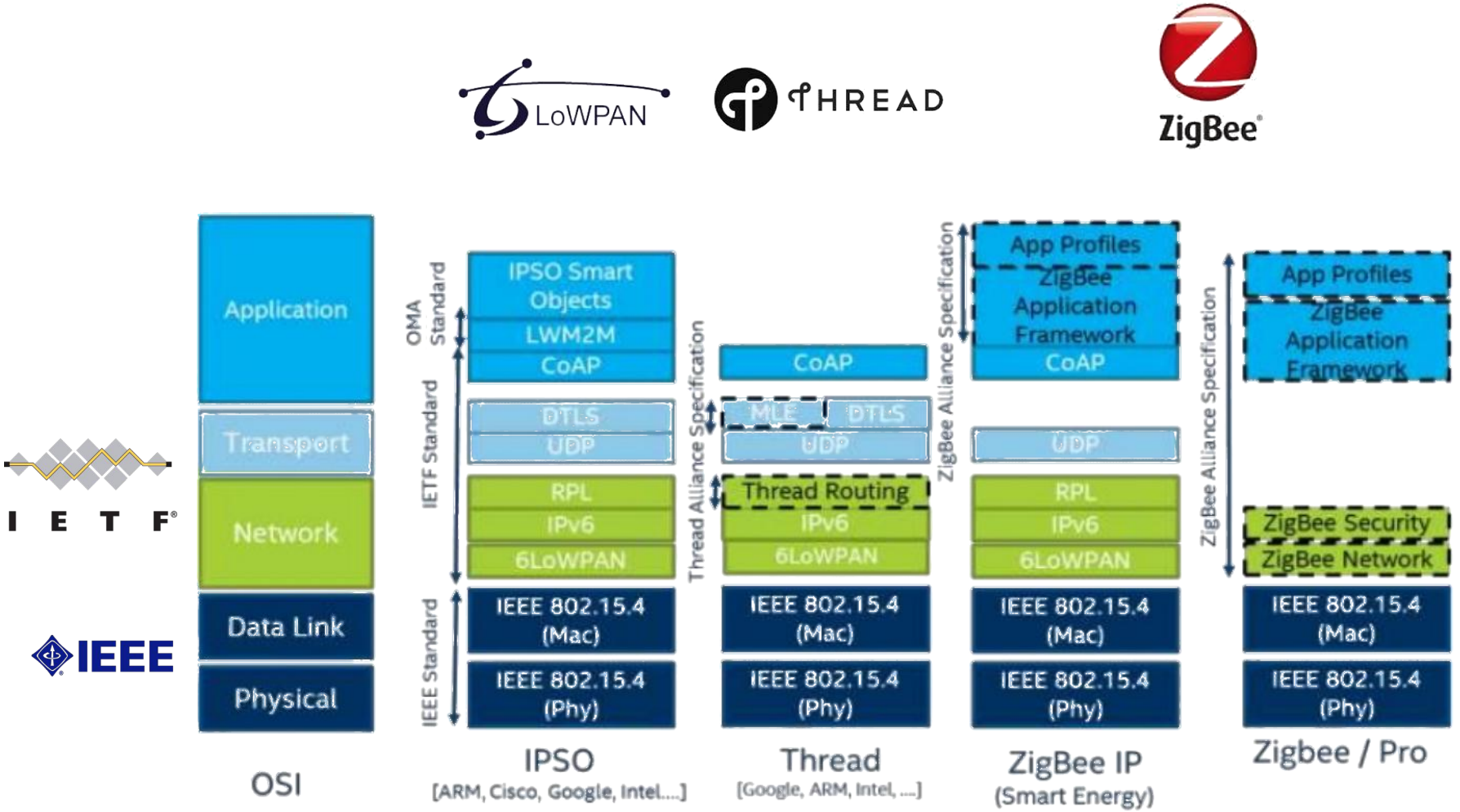
Introducción

- Estrella (star) vs. Malla (mesh)

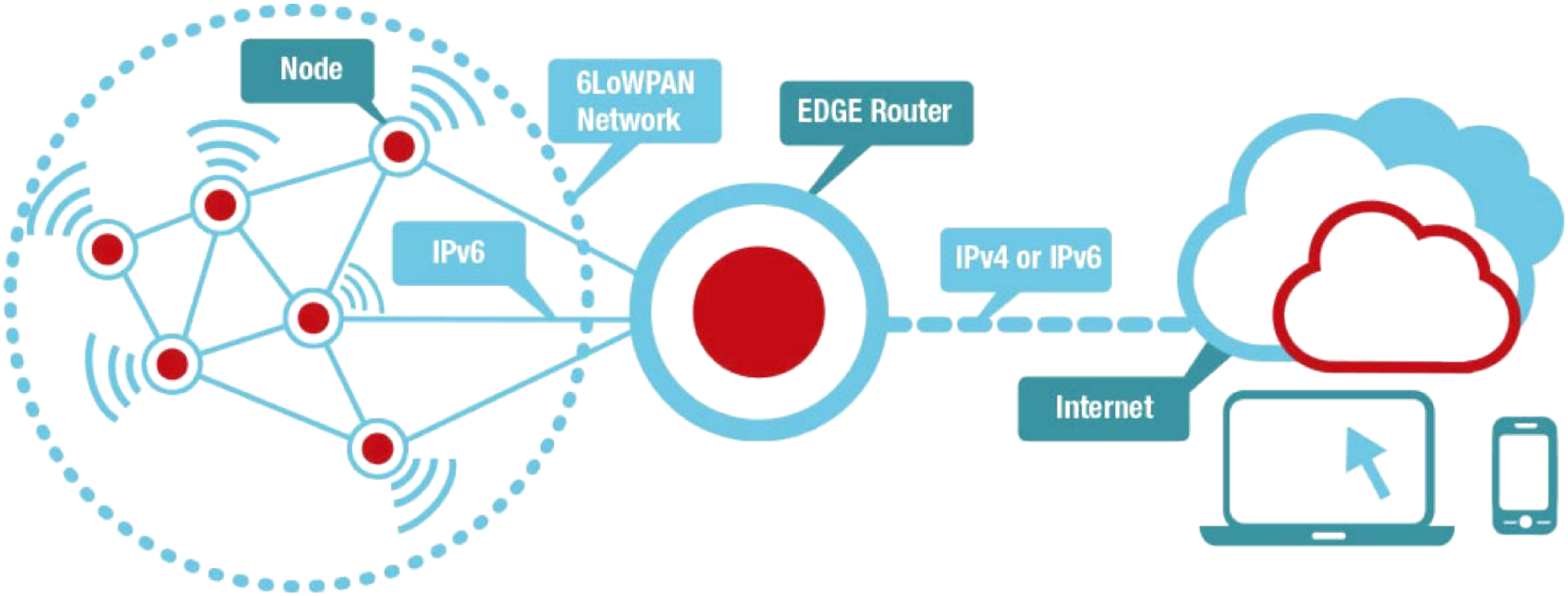


- Ventajas & desventajas

Introducción



Introducción

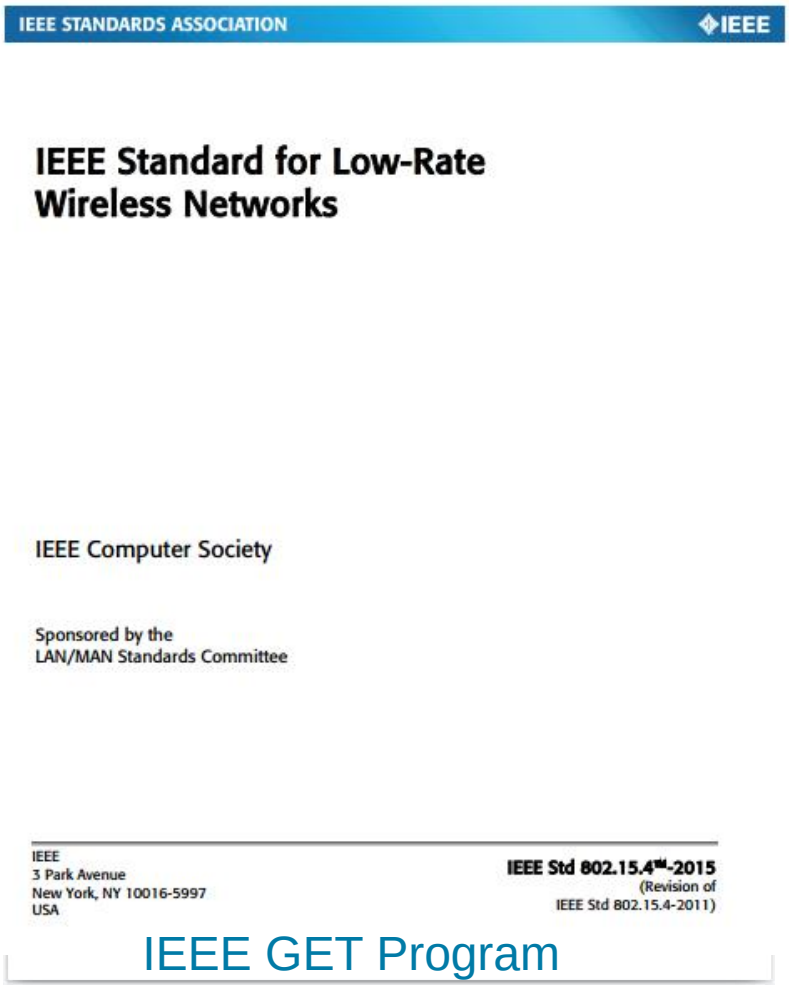


Agenda

- Introducción
- IEEE 802.15.4
  - PHY: capa física
  - MAC: acceso al medio
- 6LoWPAN
- RPL: capa de ruteo
- Conclusiones

IEEE Std 802.15.4™-2015

- LR-WPAN (Low Rate WPAN) define:
  - PHY: capa física
  - MAC: subcapa de acceso al medio
- versiones:
  - 2003, 2006, 2011, 2015
- Enmiendas:
  - 802.15.4e-2012
  - 802.15.4g-2012
- vigentes:
  - 802.15.4q-2016 (ULP PHY)



IEEE 802.15.4: funciones

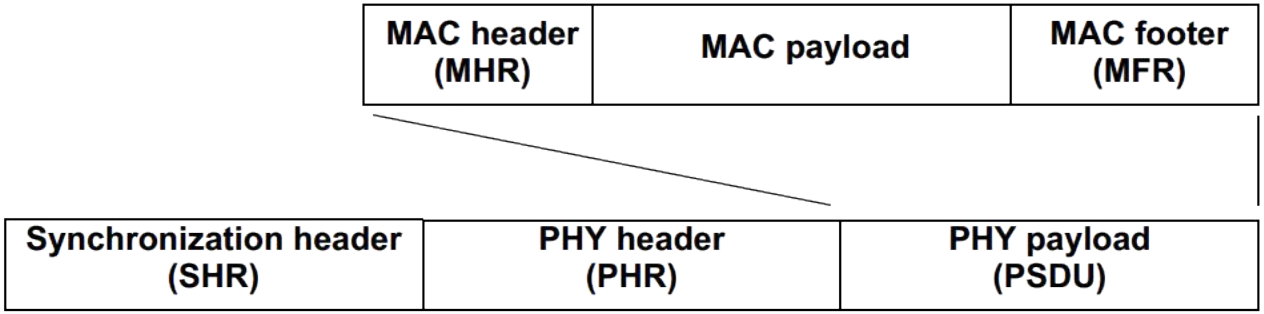
- PHY
  - Tx & Rx datos
  - ED: energy detection
  - LQI: link quality indication
  - channel selection
  - CCA: clear channel assesment
- MAC
  - channel access
  - frame validation
  - acknowledged frame delivery
  - beacon management
  - GTS management
  - etc.

IEEE 80

- Canales y banda
- Originalmente
  - frec. de los can num.
  - limitado a 27 c
  - no había PHY o
- Ahora: channel pa
  - a partir de IEEE
  - distinguir capa
- Channel pages:
  - 0: definido en 2
  - 1: definido com

Page	Num.	Description
0 (1)	0	868 MHz band (BPSK)
	1–10	915 MHz band (BPSK)
	11–26	2.4 GHz band (O-QPSK)
1 (2)	0	868 MHz band (ASK)
	1–10	915 MHz band (ASK)
	11–26	Reserved
2	0	868 MHz band (O-QPSK)
	1–10	915 MHz band (O-QPSK)
	11–26	Reserved
3	0-13	2450 MHz (CSS)
4	0	sub-GHz band for UWB
	1-4	low band for UWB PHY
	5-15	high band for UWB PHY
5	0-3	780 MHz band (O-QPSK)
	4-7	780 MHz band (MPSK)
6	0-9	950 MHz band (BPSK)
	10-21	950 MHz band (GFSK)
7-31	Reser.	Reserved

IEEE 802.15.4 PHY & MAC: tramas



"IEEE standard for Low-Rate wireless networks," IEEE Std 802.15.4-2015, pp. 53, Apr. 2016.

- PHY service data unit (PSDU) <=> MAC frame

MAC: caract. & desafíos

- Características del medio inalámbrico
  - Medio compartido:
    NO Rx y Tx simultáneas
  - Interferencias:
    Tx no sabe si el Rx recibió bien
  - Pérdida de paquetes:
    dificultan la señalización
- Requerimientos
  - Usuales:
    high throughput, low overhead, low error rates, ...
  - Se agrega:
    energy-efficient → apagado de radio

MAC: clasificación clásica

- Protocolos basados en
  - Reserva
  - Contienda / disputa (contention)

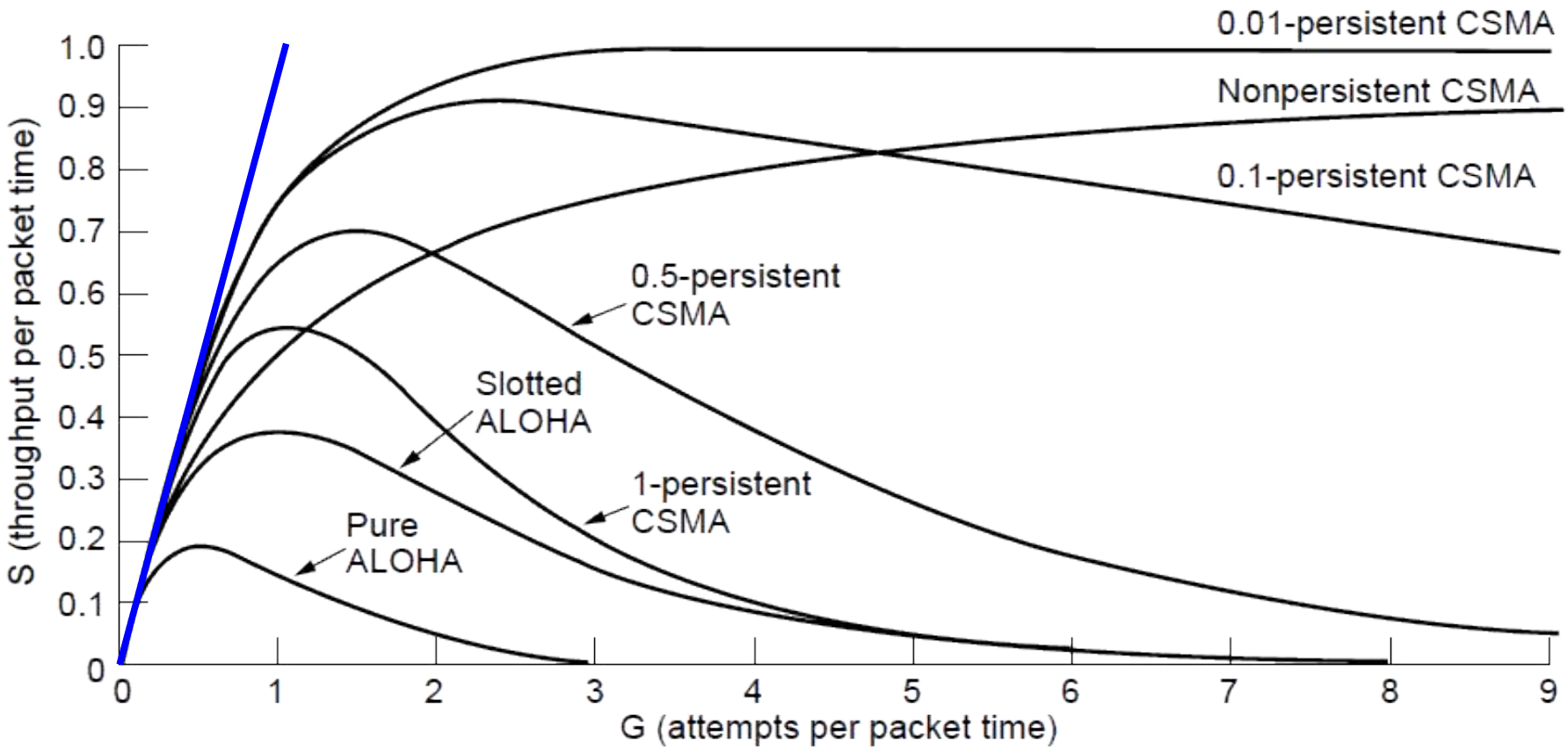
Protocolos basados en reserva

- Idea básica
  - Cada nodo es asignado a un slot
  - Existe un *schedule* para acceder y comunicarse
- Ejemplos:
  - TDMA (Time-division multiple access)
- Ventajas
  - Evita colisiones
  - Latencia predecible
  - Throughput alto para tráfico alto (limitado indiv.)
  - Justo
- Desventajas
  - Necesidad de sincronización

Protocolos basados en contienda

- Idea básica
  - Nodos compiten por el canal, ganador usa el canal para transmitir
- Ejemplos:
  - ALOHA, CSMA (slotted vs unslotted, 1 o p - persistente)
- Ventajas
  - Simple (no requiere sincronización)
  - Desentralizado
- Desventajas
  - Propenso a colisiones
  - Throughput decae si tráfico aumenta
  - Eficiencia (capacidad de canal)

Protocolos basados en contienda



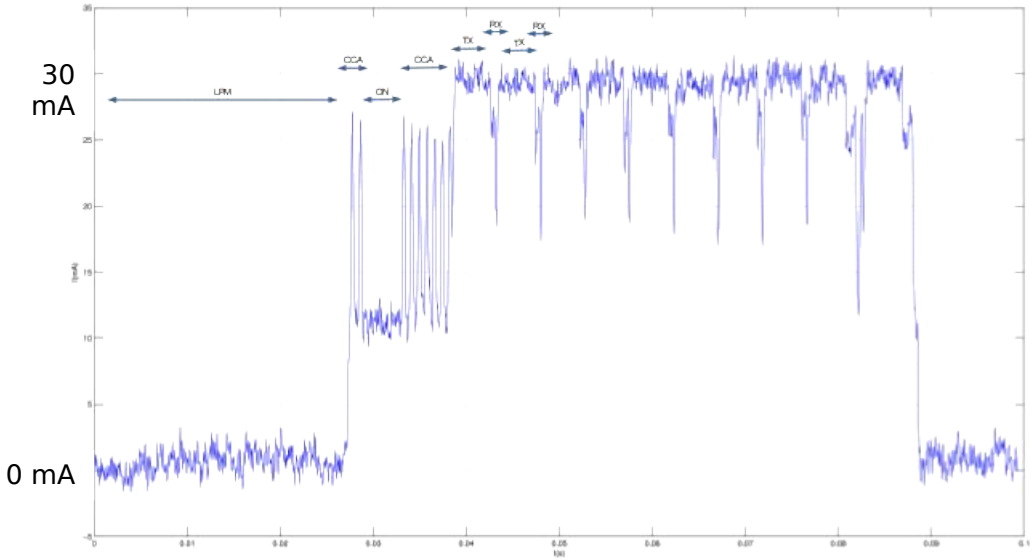
Computer Networks, Fifth Edition by Andrew Tanenbaum and David Wetherall, © Pearson Education-Prentice Hall, 2011

MAC: consideraciones para IoT

- Limitaciones
  - Energía
  - Memoria y capacidad de cómputo
- Requerimientos
  - Confiabilidad
  - Bajo tiempo de acceso (latencia)
  - Throughput
- En general:
  - foco en energía cuidando el resto

MAC: consumo de potencia

- Característica: nodos homogéneos
- Consumo de energía
  - Tx son “caras”
  - RX también
  - Escuchar menos, pero importante (CCA)



Ejemplo: 802.15.4, 2.4 GHz

State	$I_{avg}(mA)$
ON	11.23
TX	29.64
RX	24.17
CCA	21.64

MAC: consumo de energía

- Afectado por:
  - Colisiones
  - Overhearing (escuchar sin querer)
  - Idle listening (inútil, improductiva)
  - Protocol overhead
- Siempre es mejor:
  - solución sencilla

IEEE 802.15.4 MAC: opciones

- Estructuras de “super” frames
  - Beacon superframe (Zigbee)
  - Slotframes (6tisch/WirelessHART/ISA100.11a)
  - DSME multi-superframe (Wi-SUN)
  - Sin beacon/superframe
- Modos de acceso
  - CSL
  - TSCH

MAC: Estuctura super frames

- Beacon superframe

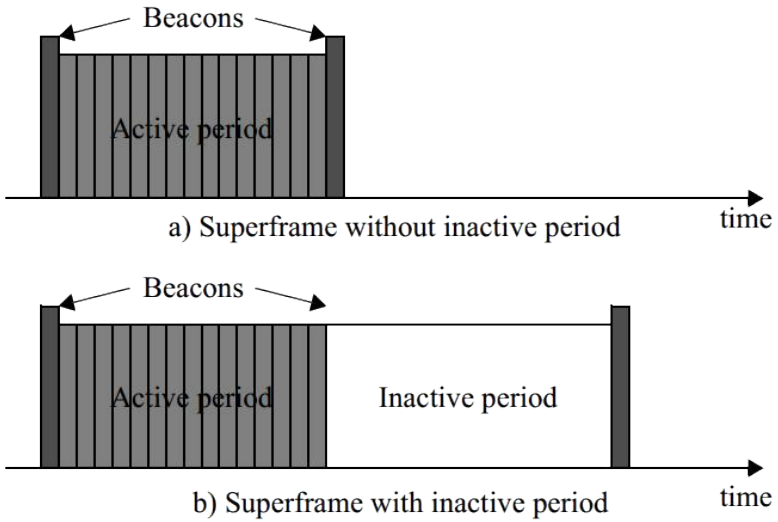


Figure 5-5—Superframe structure

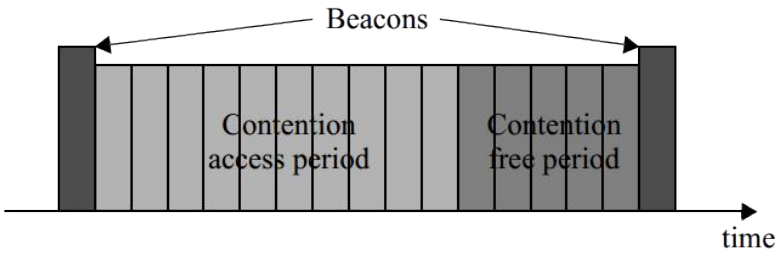


Figure 5-6—Structure of the active periods with GTSs

MAC: Estuctura super frames

- Slotframes

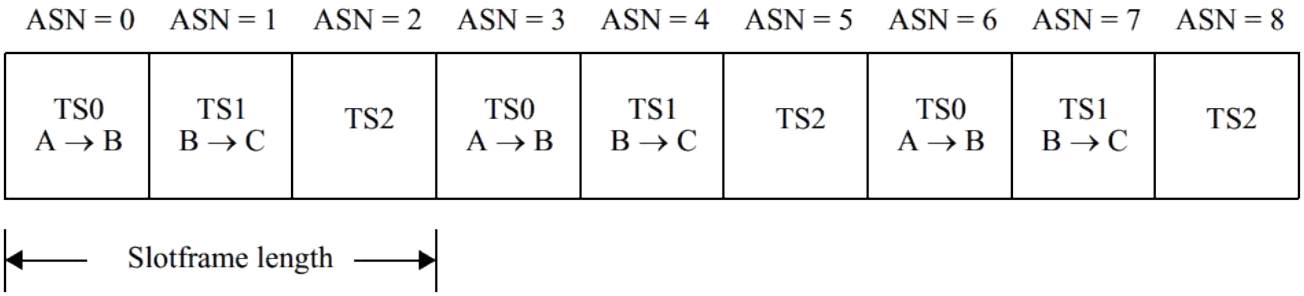


Figure 6-9—Example of a three time-slot slotframe

MAC: Estuctura super frames

- DSME multi-superframe

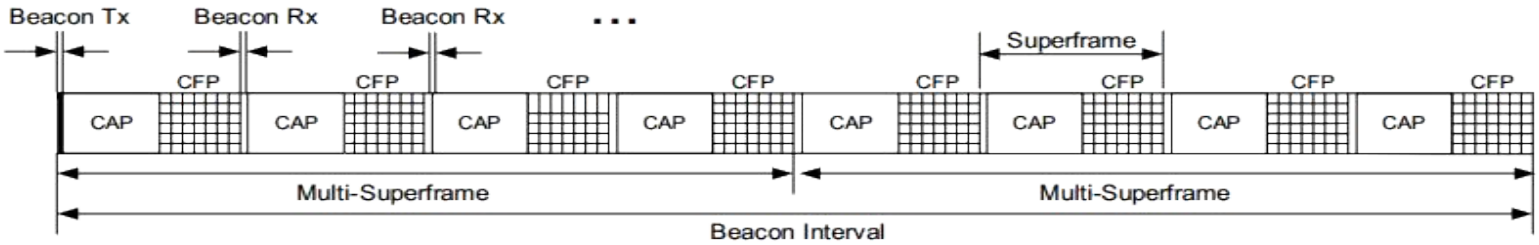
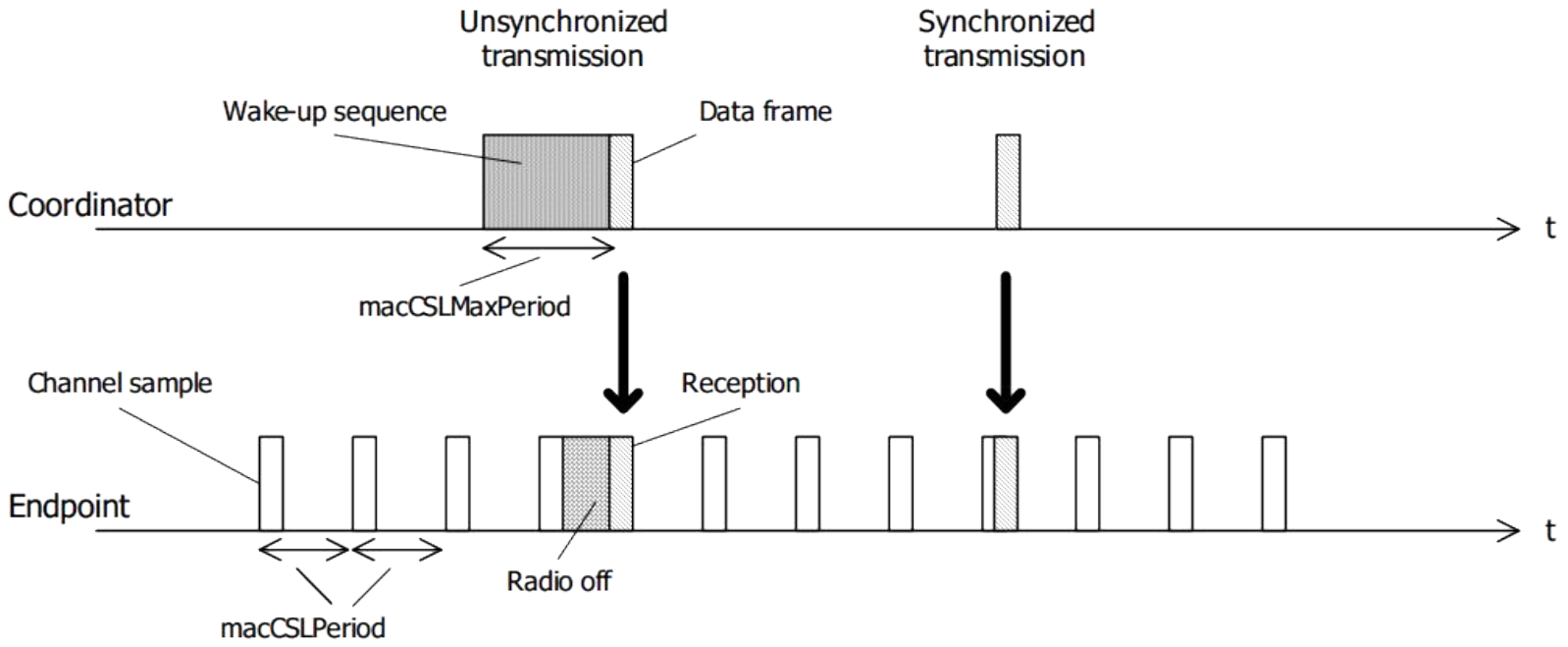


Figure 5-7—General DSME Multi-superframe Structure

- Sin beacon/superframe

IEEE 802.15.4e- 2012

- Nuevos modos de acceso:
  - Coordinated Sampled Listing (CSL)



IEEE 802.15.4e- 2012

- Nuevos modos de acceso:
  - TSCH
- ¿Qué es?
  - Técnica de acceso al medio que usa:

    TS (Time-Slotted): sincronización

    CH (Channel Hopping): saltos de canal
- Objetivo
  - Bajo consumo (apagado de radio)
  - Mayor confiabilidad (diversidad de canales)

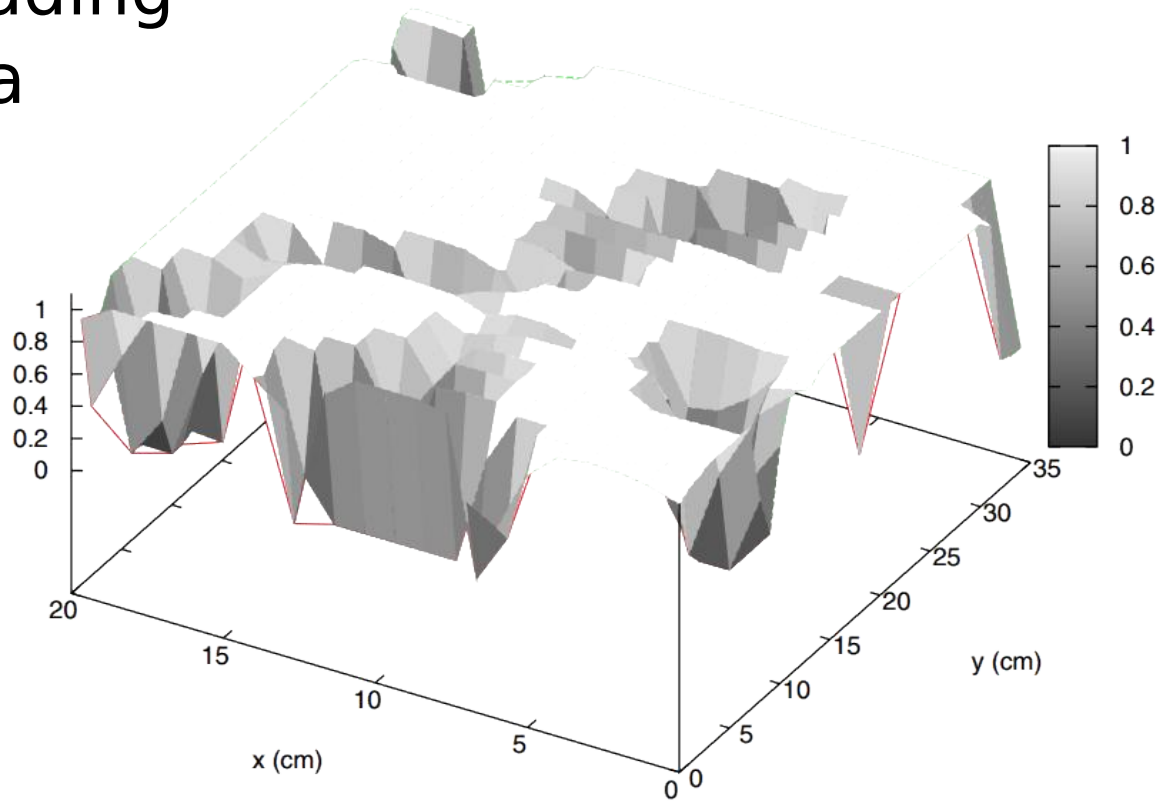
TSCH: motivación

- Problema
  - Multi-path fading
  - Interferencia

Experimento

- IEEE 802.15.4 (2.4 GHz)
- canal 20
- P_{Tx} = -16dBm

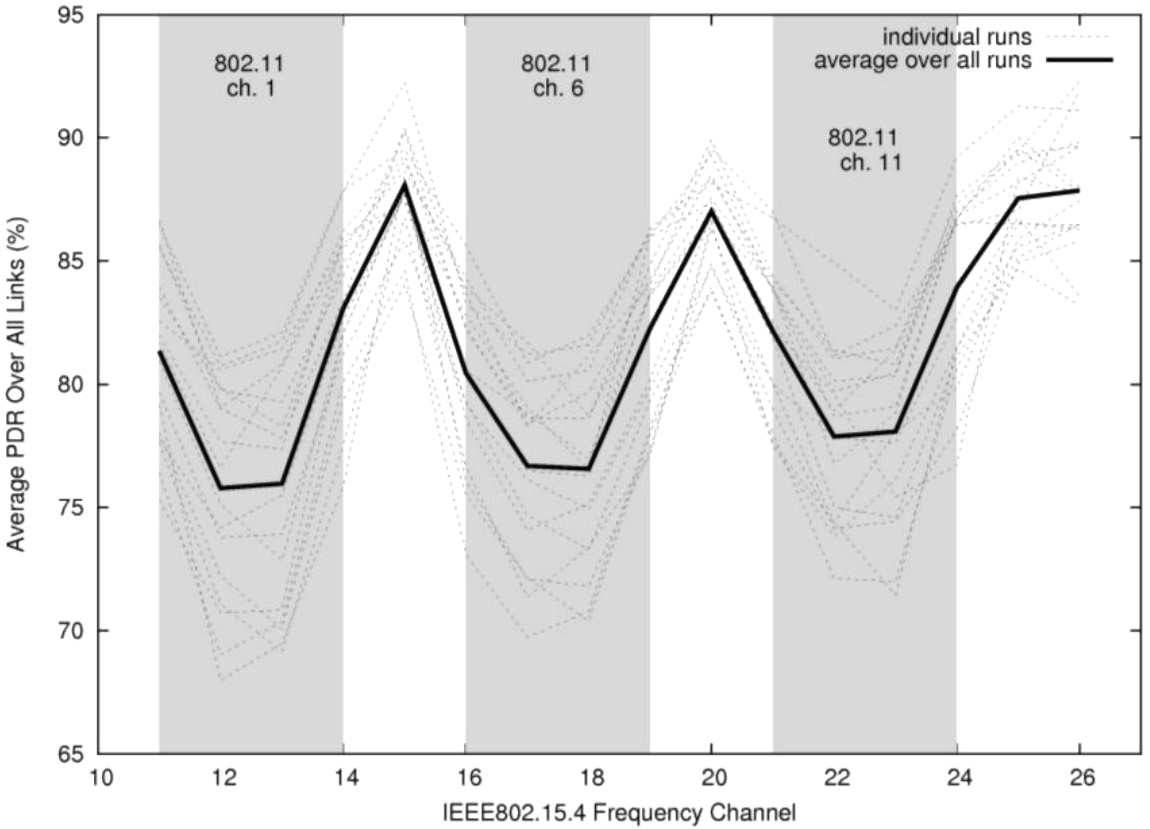
- Tx y RX separados 1m



T. Watteyne, S. Lanzisera, A. Mehta, and K. S. J. Pister, "Mitigating multipath fading through channel hopping in wireless sensor networks," in 2010 IEEE International Conference on Communications, May 2010, pp. 1-5.

TSCH: motivación

- Solución:
  salto de canal



- Soluciones previas:
  - WirelesHART / ISA100.11

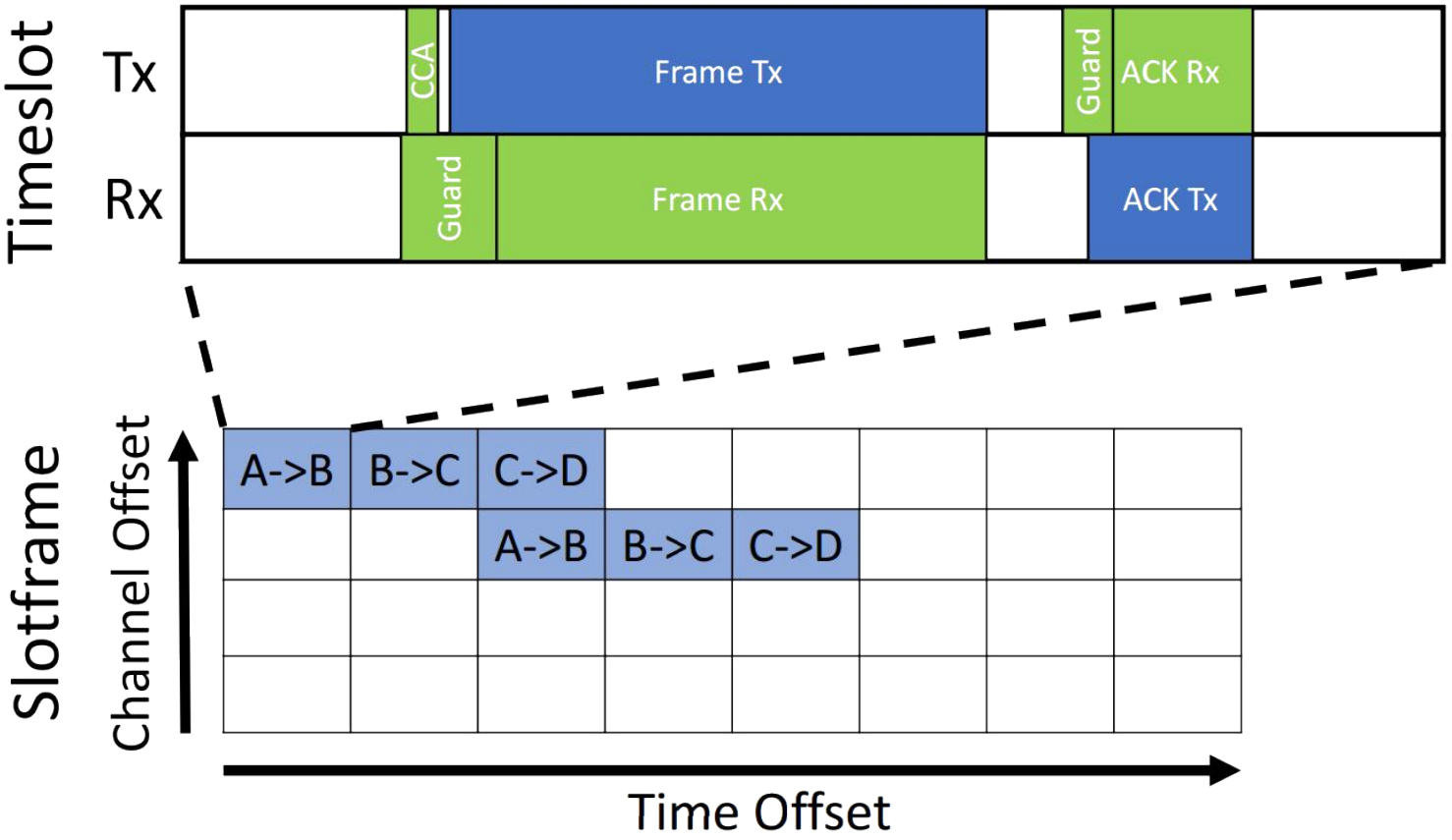
TSCH: observaciones

- Define
  - Mecanismo MAC
  - NO altera capa física (sirven “viejas radios”)
- No define
  - Política para crear y mantener agenda de comunicación (schedule)
    - Cómo se asignan time slots y canales
- Logical Link Control (LLC)
  - Entidad funcional que define “schedule”
  - Tipos:
    - Protocolo distribuido
    - Servidor centralizado

TSCH: conceptos

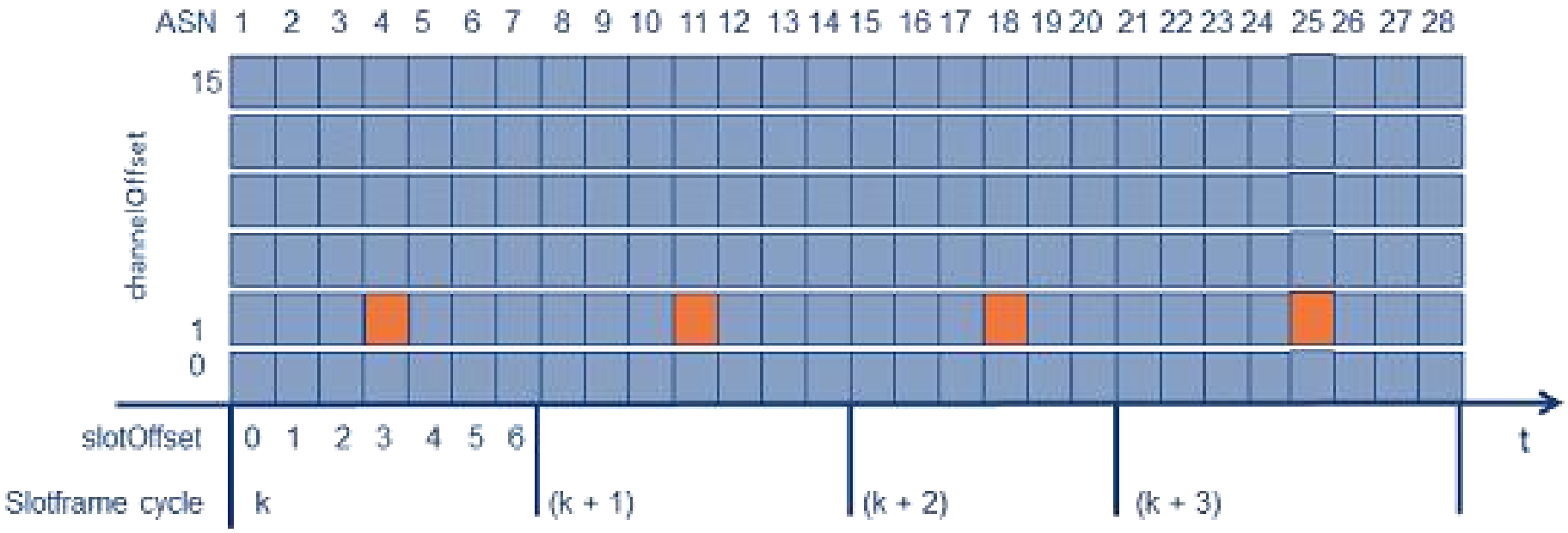
- Time Slots: tiempo se divide en time slots
  - Duración suficiente para enviar un marco MAC y recibir ACK
  - Típica: 10 ms slot
- Noción común del tiempo
  - ASN (Absolute Slot Number)
- Slotframes: grupos de uno o más time slots
  - Se repite a través del tiempo

TSCH: conceptos



S. Duquennoy, A. Elsts, B. Al Nahas, and G. Oikonomou, "TSCH and 6TiSCH for contiki: Challenges, design and evaluation," in International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (IEEE DCOSS), 2017.

TSCH: conceptos



F(x)=x+11

$$f_{ch} = F([4+1]\ mod\ 16)$$
$$f_{ch} = F(5) = 11 + 5 = 16$$
$$f_{ch} = 16$$

C. M. García Algora, V. Alfonso Reguera, and K. Steenhaut, "Evaluación experimental del protocolo IEEE 802.15.4 TSCH en una red 6TiSCH," Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, vol. 39, pp. 70-78, 2018.

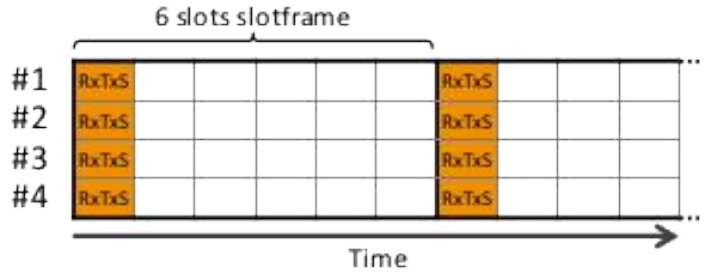
TSCH: schedule

- Minimal configuration
  - IETF RFC 8180
    Minimal IPv6 over the TSCH Mode of IEEE 802.15.4e (6TiSCH) Configuration
- Orchestra
  - S. Duquennoy, et al. "Orchestra: Robust mesh networks through autonomously scheduled TSCH," in ACM SenSys 2015), vol. 93.
  - IETF draft

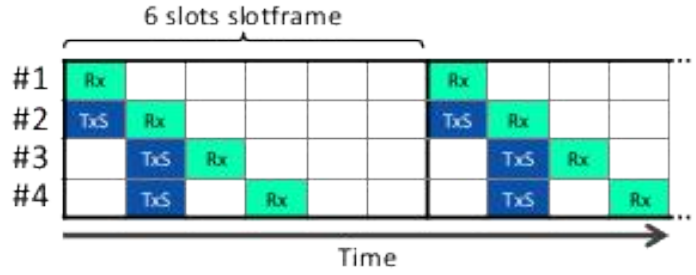
    6TiSCH Autonomous Scheduling Function (ASF)

TSCH: Orchestra

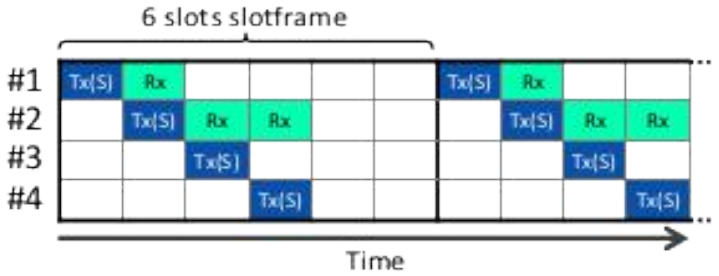
(a) Topology



(b) Common Shared Slot

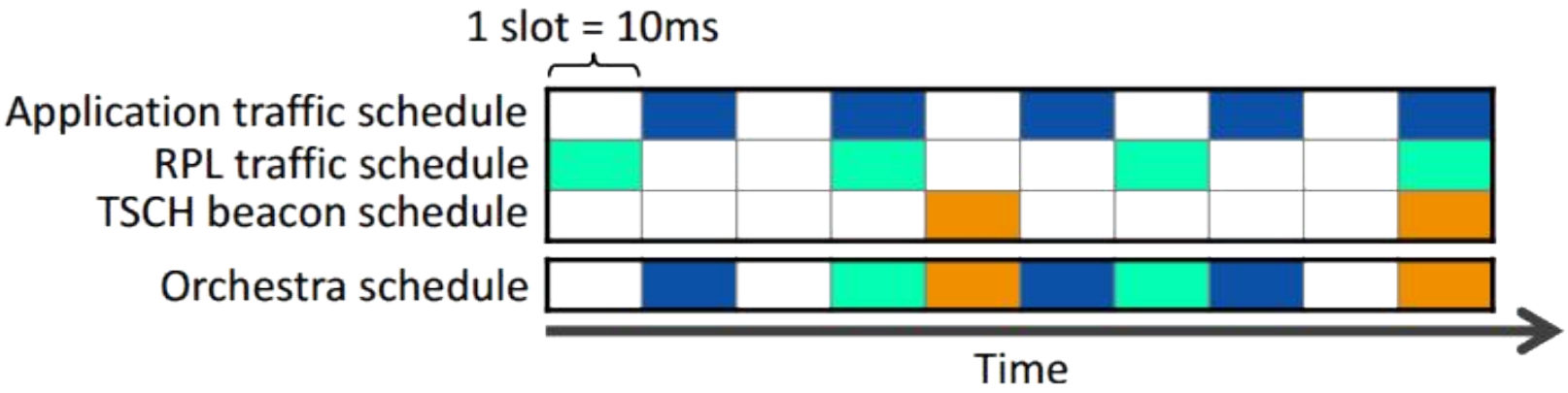


(c) Receiver-based Shared Slot



(d) Sender-based (Shared) Slot

TSCH: Orchestra

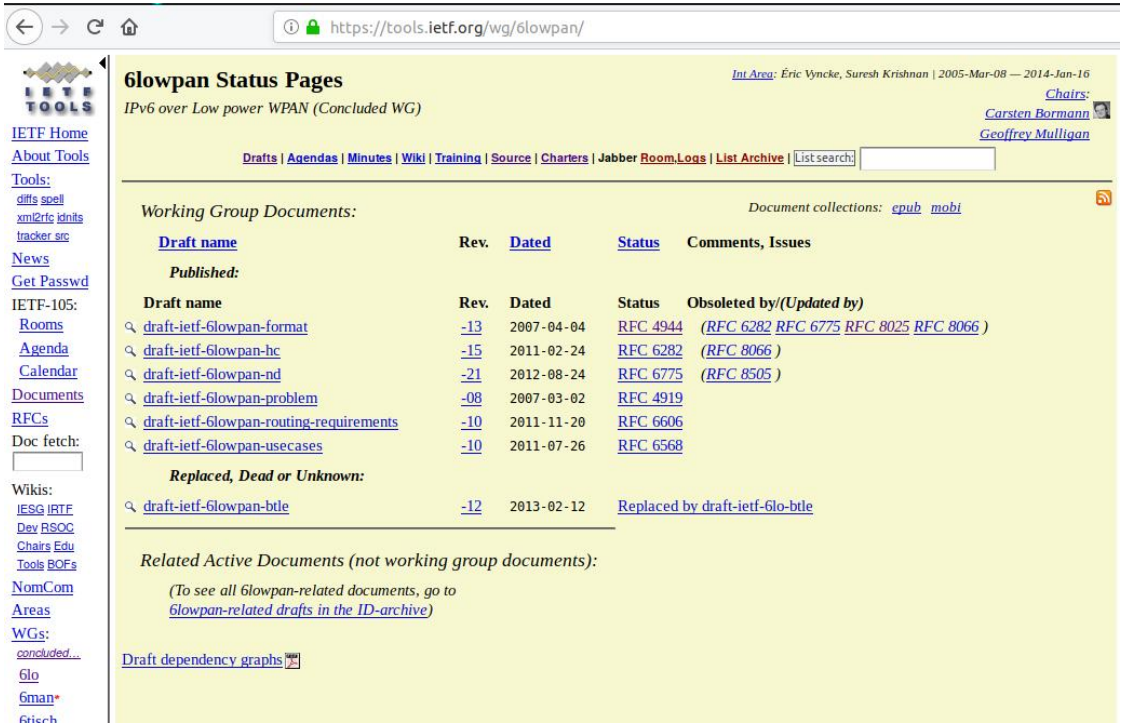


Agenda

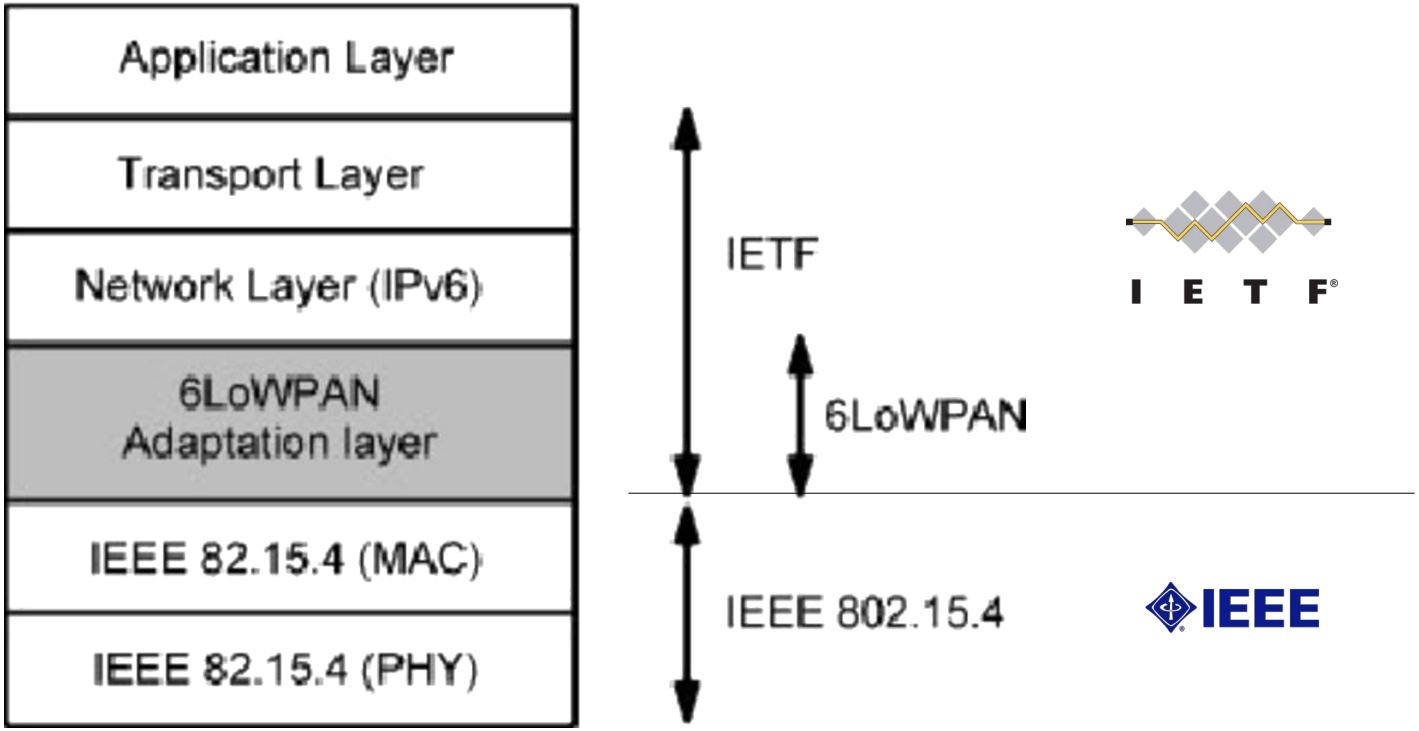
- Introducción
- IEEE 802.15.4
  - PHY: capa física
  - MAC: acceso al medio
- 6LoWPAN
- RPL: capa de ruteo
- Conclusiones

IPv6 over Low power WPAN

- 6lowpan: IETF Working Group (finalizado)
- IPv6 Packets over IEEE 802.15.4
  - RFC 4944: bases
  - RFC 6282: NHC
  - RFC 6775: ND



6lowpan

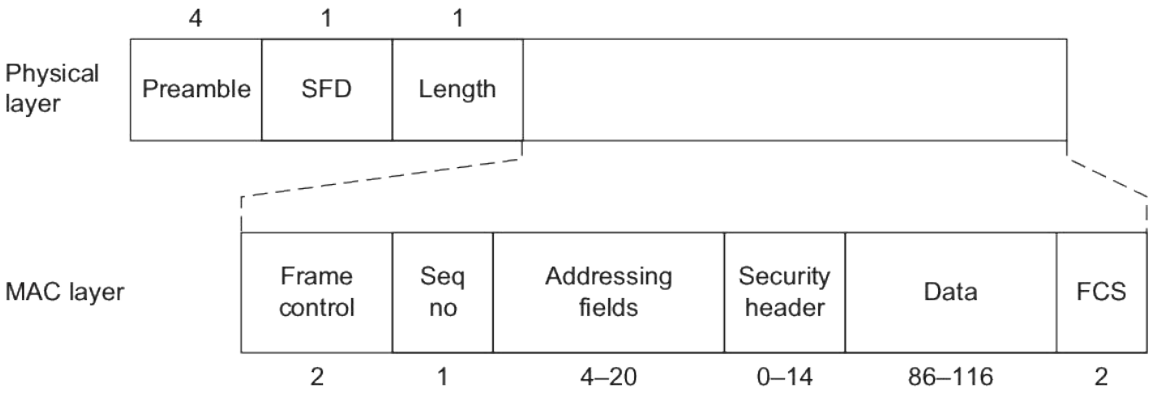

Application Layer
Transport Layer
Network Layer (IPv6)
6LoWPAN
Adaptation layer
IEEE 82.15.4 (MAC)
IEEE 82.15.4 (PHY)
IETF
6LoWPAN
IEEE 802.15.4
I E T F
IEEE

IPv6 over Network of Resource-constrained Nodes

- 6lo: IETF Working Group (activo)
  - generaliza 6lowpan
- IPv6-over-foo adaptation layer specifications
  - RFC 8163: MS/TP Networks (RS-485)
  - RFC 7668: Bluetooth Low Energy
  - RFC 8105: DECT – ULE
  - RFC 7428: ITU-T G.9959 Networks

IEEE 802.15.4: características

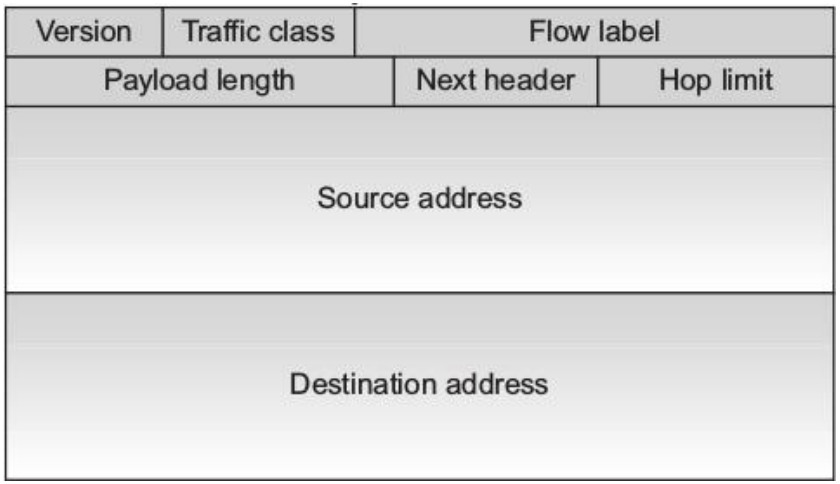
- Frame pequeño: 127 bytes
  - PER razonablemente bajos para BER no despreciables
- Direcciones
  - 16-bit short / IEEE 64-bit extended MAC.
- Low data rates
  - Ej.: de 40 Kbps (915 MHz) a 250 Kbps (2.4 GHz)



IPv6: características

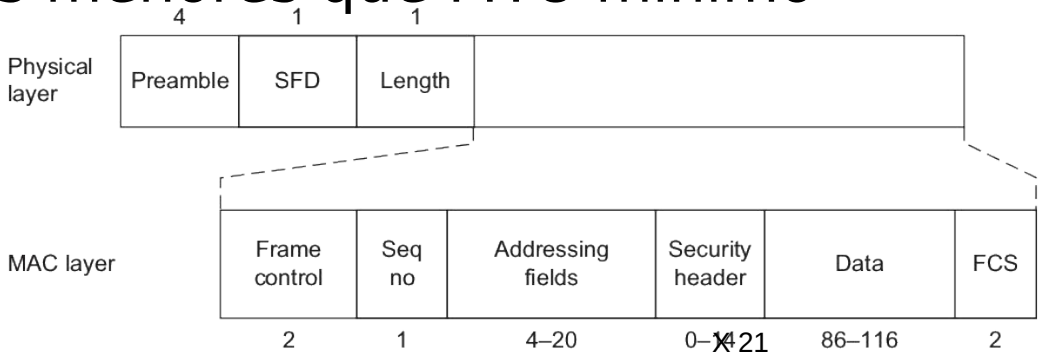
- Paquete relativamente grande: 1280 bytes.
- Direcciones: 128 bits.
- IPv6 incluye multicast
  - Neighbor Discovery
  - link-local multicast
    para address resolution

    duplicate address detection
    router discovery.



IPv6 over LoWPAN: desafíos

- Paquetes IPv6 en LoWPANs.
  - Bajo throughput
  - Buffers limitados
  - Frames ~10 veces menores que MTU mínimo
- Necesidad
  - Fragmentación
  - Compresión
- Ejemplo:
  - Payload efectivo 81 bytes
  - IPv6 header: 40 bytes
  - UDP/TCP header: 8 / 20 bytes



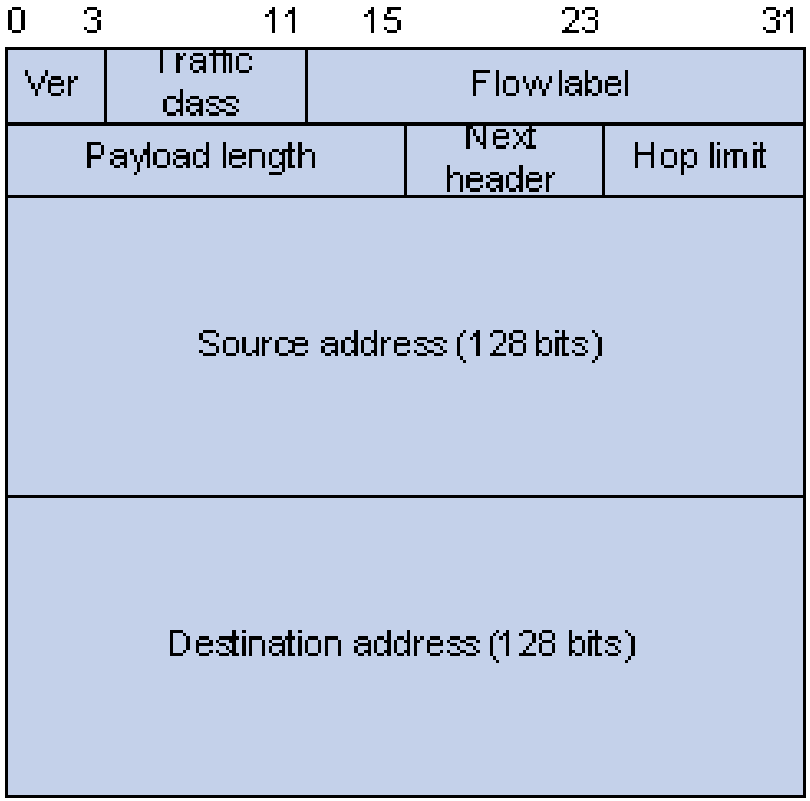
127−(2+1+20+2) = 102 bytes
AES-CCM-128: 21 bytes extra

6LoWPAN: funciones

- Provee tres servicios:
  - Fragmentado y reensamblado de paquetes
  - Compresión de encabezados
  - Enrutamiento en capa 2 “mesh-under”
- IEEE 802.15.4 encapsula paquete IPv6
  - “encapsulation header stack” antes de cada paquete IPv6
  - cada encabezado se agrega si se necesita
  - dispach byte (primer byte): identifica el next header de la pila.

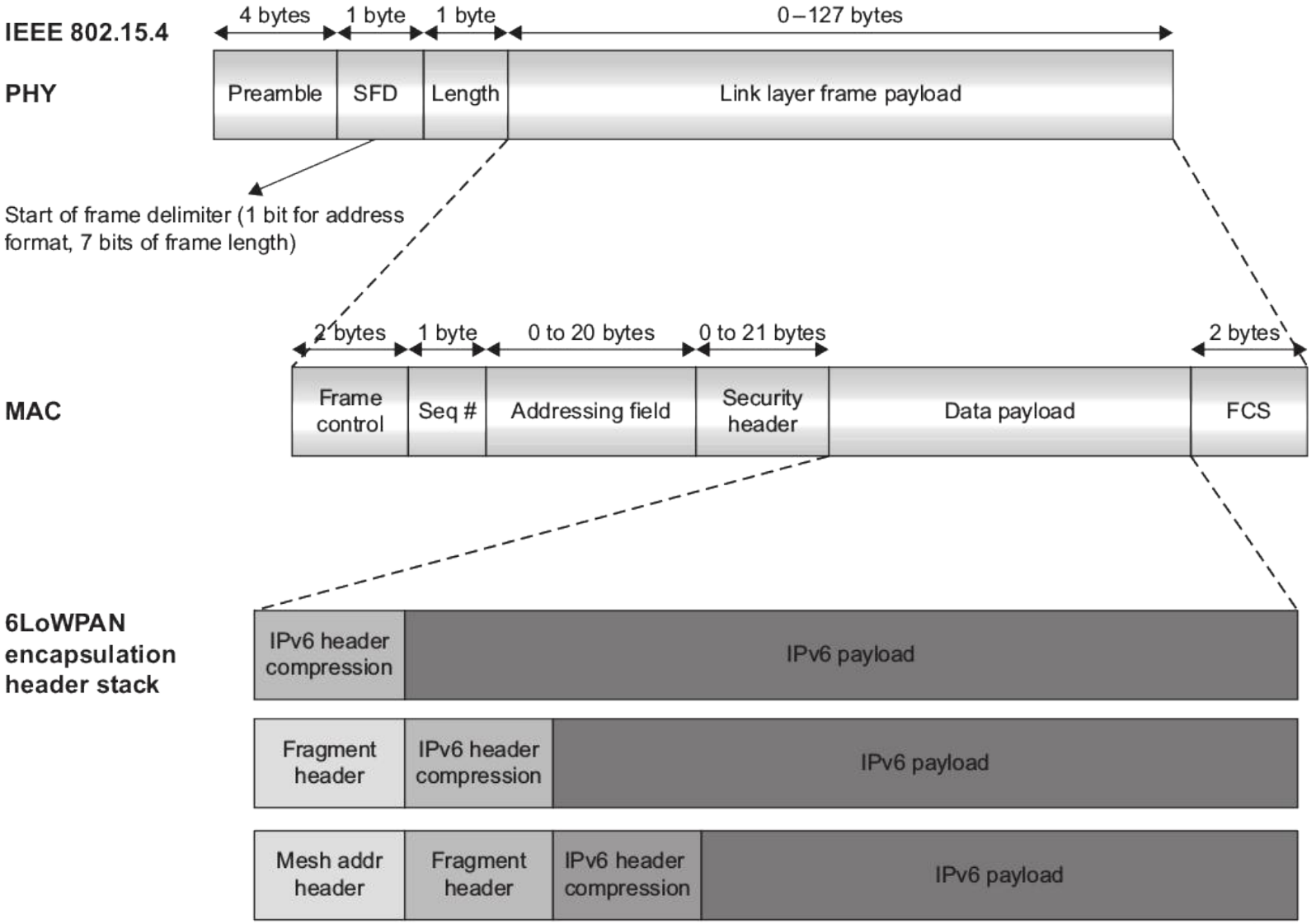
6LoWPAN: técnicas

- Ideas



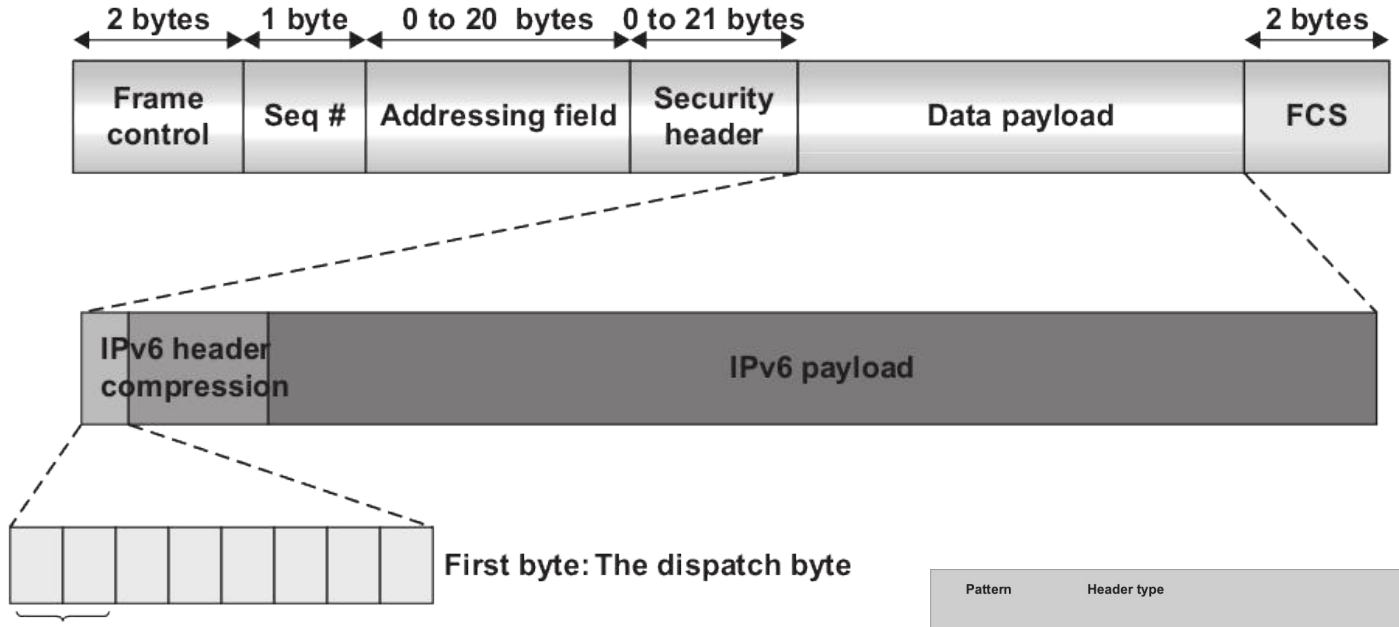
Basic IPv6 header

6loWPAN: encapsulado de IPv6



6loWPAN: encapsulado de IPv6

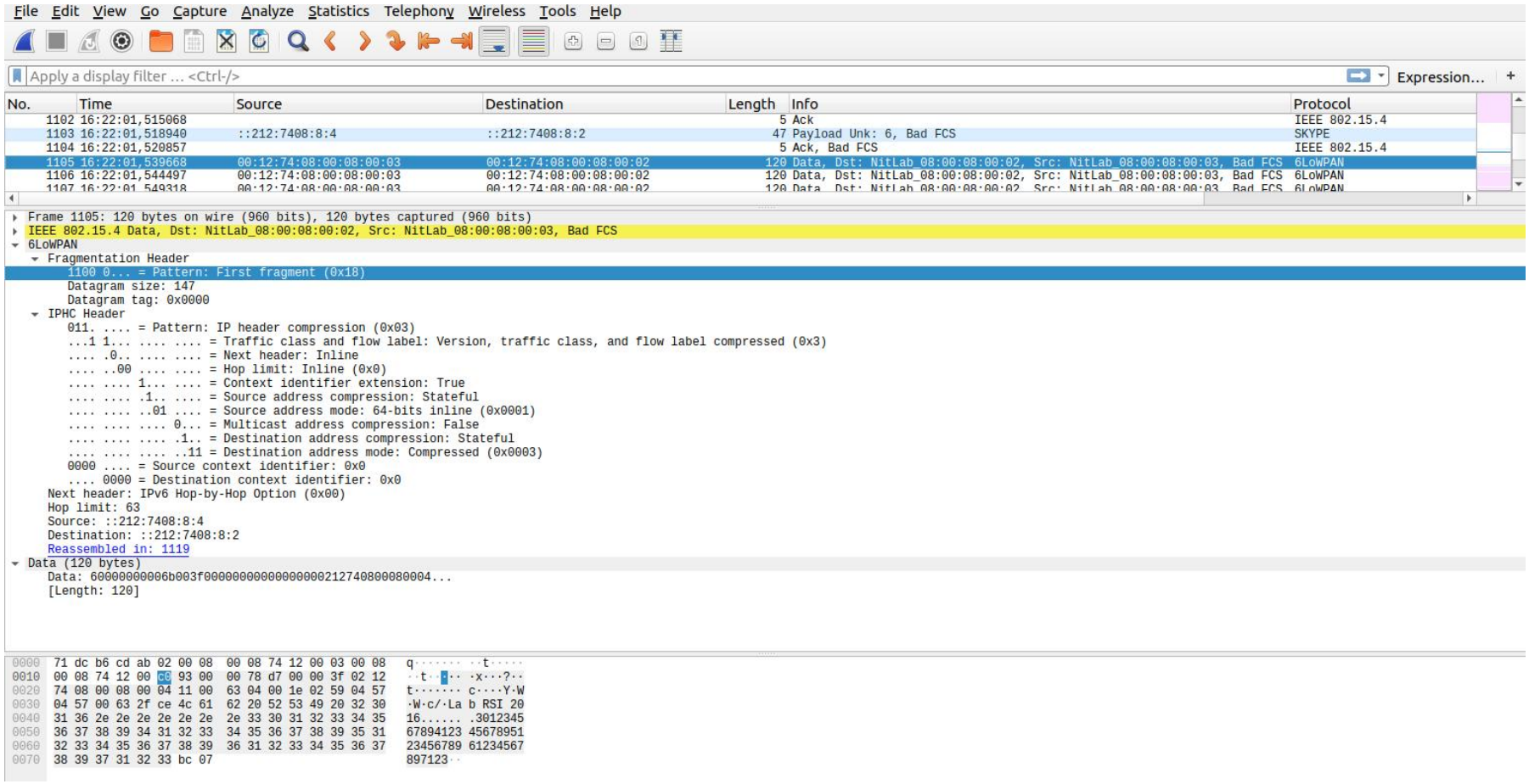
The 6LoWPAN dispatch byte (first byte)



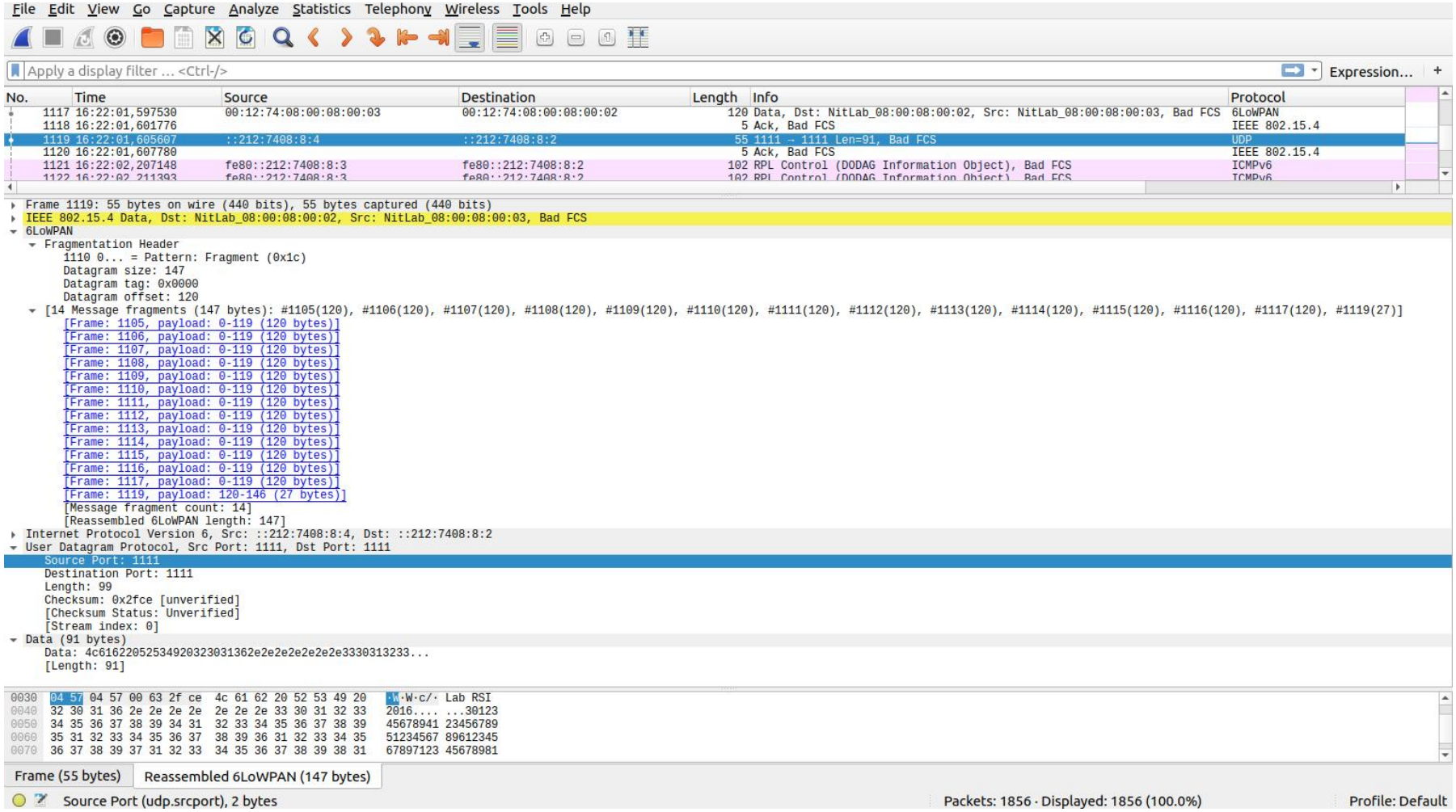
00	Not a 6LoWPAN frame
01	IPv6 addressing header
10	Mesh header
11	Fragmentation header (6 lower bits are 100xxx)

Pattern	Header type
00 xxxxxx	NALP - not a LoWPAN frame
01 000001	IPv6 - uncompressed IPv6 addresses
01 000010	LOWPAN_HC1-LOWPAN_HC1 compressed IPv6
01 000011	reserved - reserved for future use
...	reserved - reserved for future use
01 001111	reserved - reserved for future use
01 010000	LOWPAN_BCO - LOWPAN_BCO broadcast
01 010001	reserved - reserved for future use
...	reserved - reserved for future use
01 111110	reserved - reserved for future use
01 111111	ESC - additional dispatch byte follows
10 xxxxxx	MESH - Mesh header
11 000xxx	FRAG1 - fragmentation header (first)
11 001000	reserved - reserved for future use
...	reserved - reserved for future use
11 011111	reserved - reserved for future use
11 100xxx	FRAGN - fragmentation header (subsequent)
11 101000	reserved - reserved for future use
...	reserved - reserved for future use
11 111111	reserved - reserved for future use

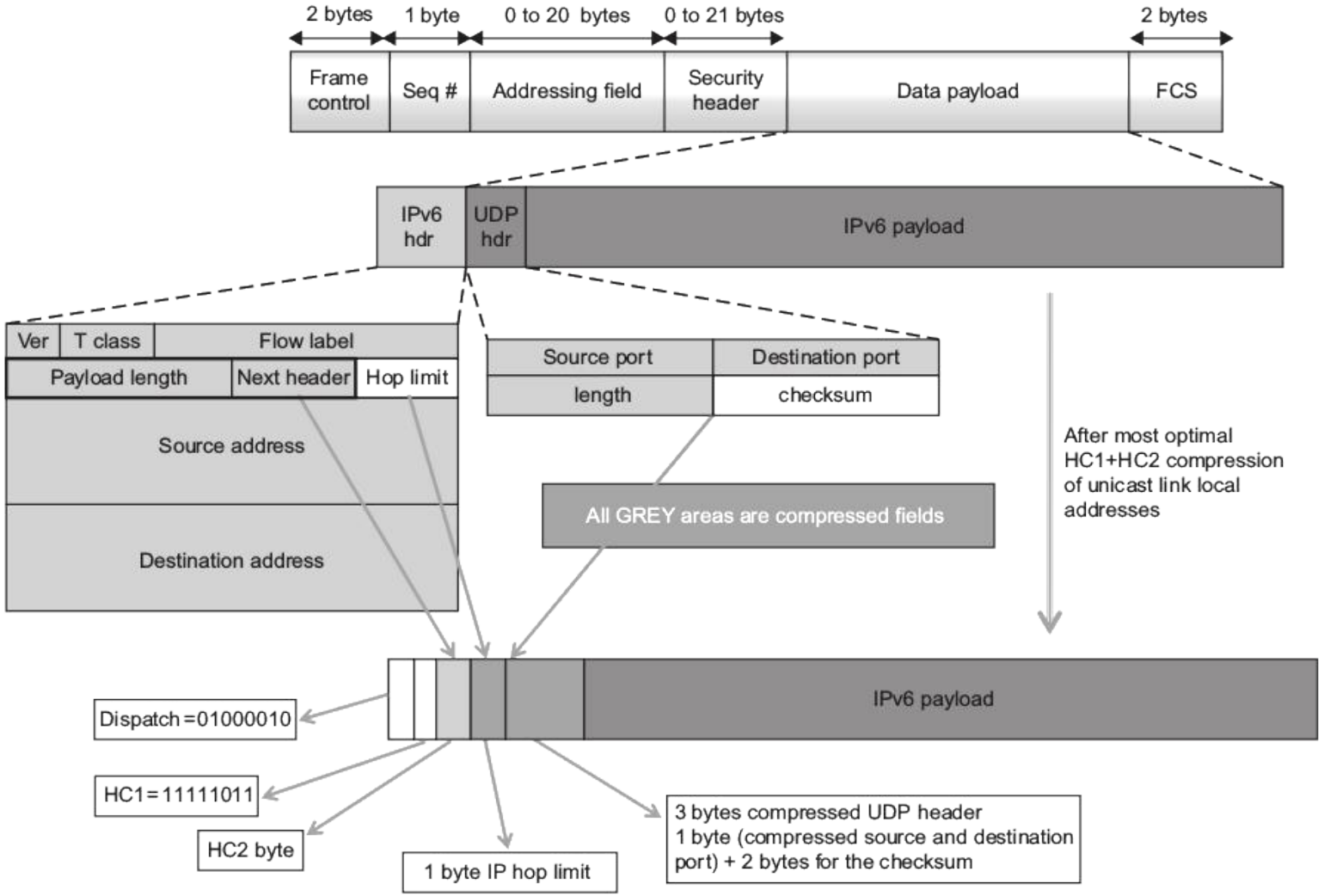
6loWPAN: wireshark



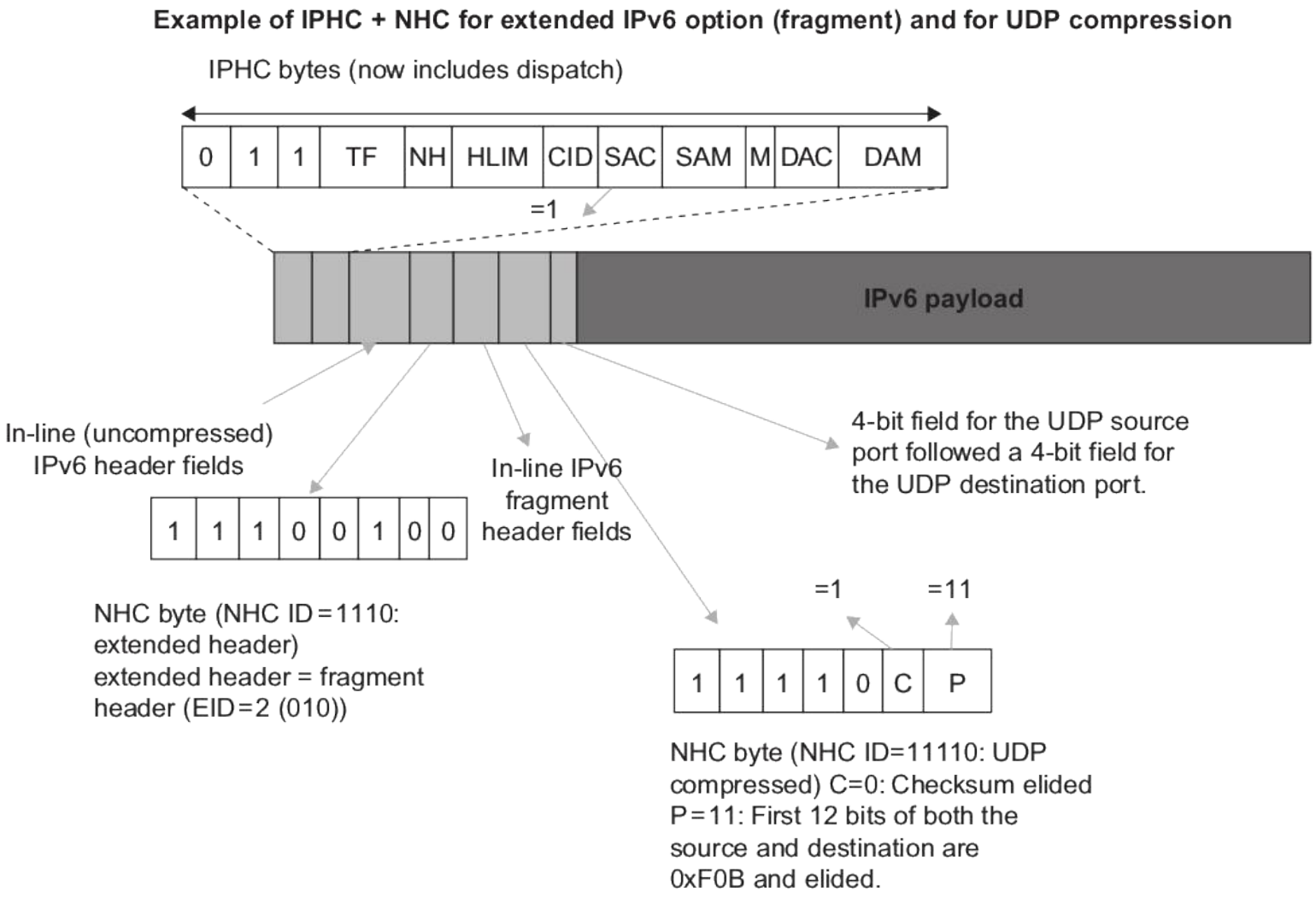
6loWPAN: wireshark



6loWPAN: compesión

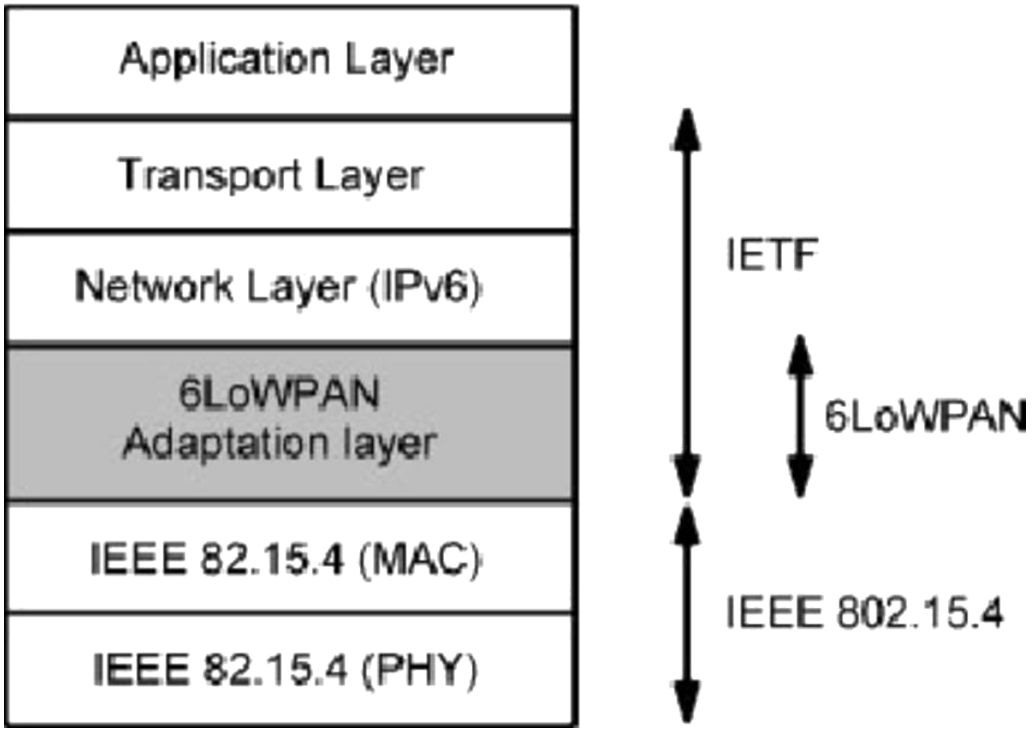


6loWPAN: compesión



6LoWPAN

- 6LowPAN permite mandar paquetes IPv6:
  - Fragmentado y reensamblado de paquetes
  - Compresión de encabezados

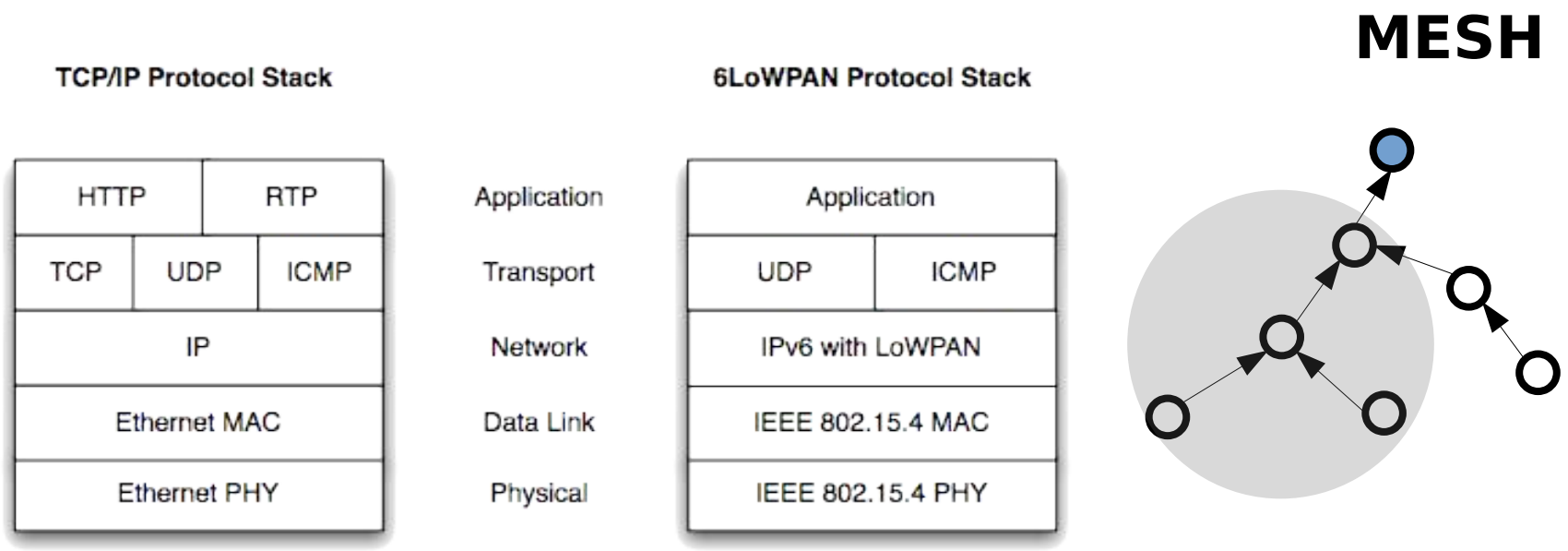


Agenda

- Introducción
- IEEE 802.15.4
  - PHY: capa física
  - MAC: acceso al medio
- 6LoWPAN
- RPL: capa de ruteo
- Conclusiones

Capa de red

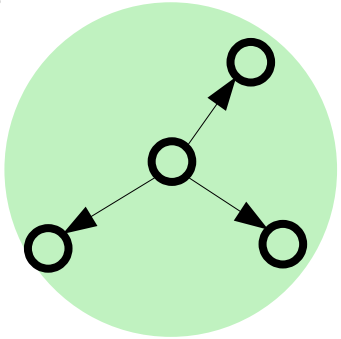
- Funciones:
  - responsable de reenvío de paquetes de otros



Capa de red

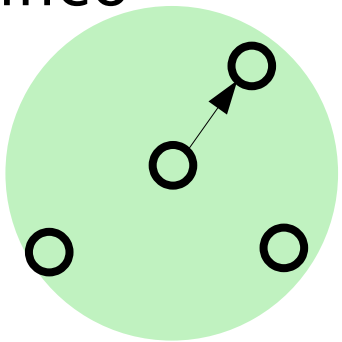
- Premisas: tipo frames (enlace de datos)
  - broadcast:

    recibidos por todos nodos vecinos



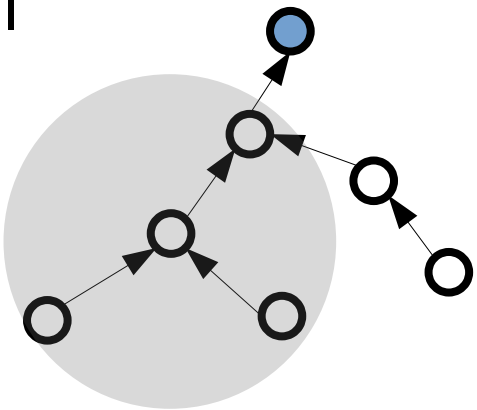
  - unicast

    mensaje dirigido a un nodo específico



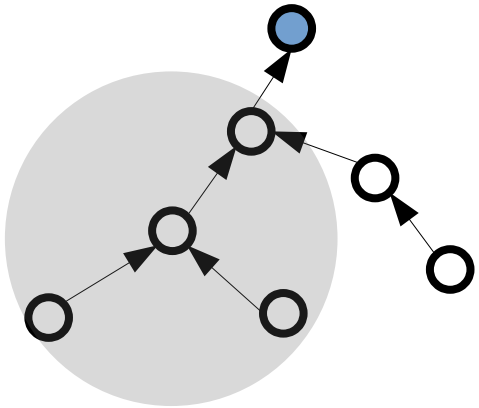
Capa de red: tipos de ruteo

- Reactivo:
  - busca rutas cuando se necesitan
  - Ejemplos:
    - AODV: Ad hoc On Demand Distance Vector
    - DSR: Dynamic Source Routing
    - FCP: Flexible Control Protocol
- Proactivo:
  - rutas disponibles al momento de mandar datos



Capa de red: RPL

- RPL: Routing Protocol for Low power and lossy networks
  - Protocolo de ruteo para LLN sobre IPv6
  - Medio físico: 802.15.4 u otros
  - Proactivo:
    - basado en vector distancia
  - Topología tipo "árbol":
    - construye grafo (distribuidamente)
  - Trafico en direcciones "up" y "down"
  - Selección de padres basado en función objetivo

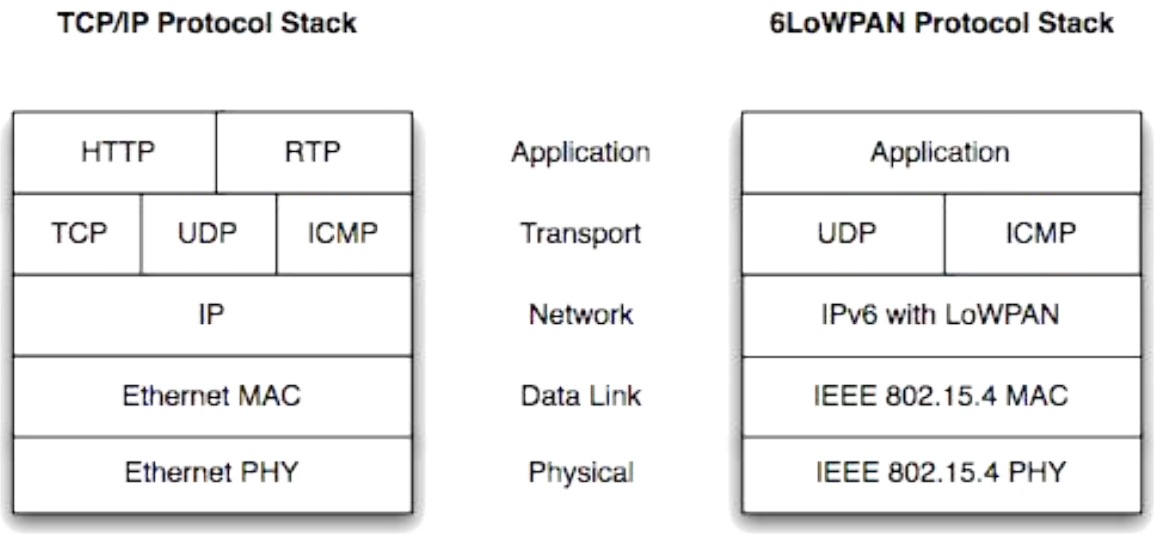


Capa de red: RPL

- IP separa (arquitectura)
  - procesado y reenvío de paquetes
    - encaminar paquetes en base a la tabla de ruteo
  - objetivo de optimización de ruteo
    - completar y mantener tabla de ruteo
- RPL: protocolo por vector distancia genérico
  - Función objetivo (OF)
    - combinación de métricas y restricciones para computar el "mejor camino".
    - permite adaptarlo a variedad de tipos de red

Capa de transporte

- Servicios disponibles
  - UDP datagrama a {dirección, puerto}
  - TCP conexión a {dirección, puerto}
- Diferencias entre UDP y TCP



Capa de aplicación

- clase más adelante


Gracias!