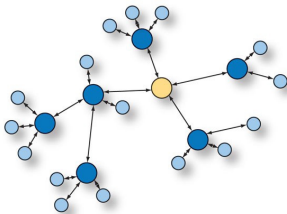


Sistema de Monitoreo de Salud de Nodos WSN Alimentados a Energía Solar

Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos

Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

Esp. Ing. Juan Montilla





Organización de la presentación

1 Introducción

- Grupo de trabajo IEEE 802
- IEEE 802.15.4 LR-WPAN

2 LR-WPAN

- Tipos de Dispositivos
- Topología de la red
- Arquitectura del estándar
- Modelo de Transferencia de datos
- CSMA/CA
- Estructura de las Tramas
- Modulación

3 Mote LSE

- Mote
- TI CC2520

4 Referencias

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

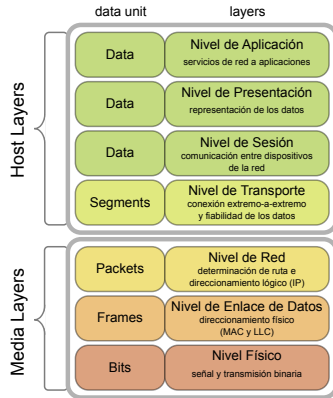
TI CC2520

Referencias



Grupos de trabajo IEEE

- IEEE 802: Desarrollar estándares para redes de área local y metropolitana (LAN y MAN)
 - IEEE 802.3: Ethernet
 - IEEE 802.11: Wi-fi
 - ...
- IEEE 802.15: Redes inalámbricas de área personal (WPAN)
 - IEEE 802.15.1: Bluetooth
 - IEEE 802.15.3: WPANs de alta tasa de transferencia de datos (HR-WPAN)
 - IEEE 802.15.4: WPANs de baja tasa de transferencia de datos (LR-WPAN)



Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

- Versiones: 802.15.4:2003, 802.15.4:2006 y **802.15.4:2011**
- Define:
 - Nivel físico (PHY)
 - Control de acceso al medio (MAC)
- Características:
 - Comunicaciones simples de bajo costo.
 - Bajas tasas de transferencia (throughput).
 - Para aplicaciones con limitaciones de potencia.
 - Confiabilidad en la transferencia de datos.
 - Opera en una banda de frecuencia sin licencia.



IEEE 802.15.4

Mercado

- Uso doméstico e industrial.
- Dispositivos con fuente de alimentación autónoma.
 - Batería.
 - Panel solar.
- Extremadamente bajo consumo de potencia (Ciclo de Trabajo).
- Principales áreas:
 - Domótica y seguridad.
 - Productos electrónicos de consumo.
 - Cuidado de la salud.
 - Control y monitoreo de vehículos.
 - Agricultura.

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



IEEE 802.15.4

Características Generales

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

- Área de operación: 10m
- Tasa de transferencia: 250kbs
- Adecuación a aplicaciones de tiempo real: *Guaranteed Time Slots* (GTSs)
- Mecanismo para evitar colisiones:
Carrier Sense Multiple-Access / Collision Avoidance (CSMA/CA)
- Control de consumo de energía:
 - *Link Quality Indicator* (LQI)
 - *Energy Detection* (ED)



Componentes

Tipos de dispositivos

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

- Full-function device (FFD):
Capaz de ser PAN coordinator o coordinator.
- Reduced-function device (RFD):
Sólo puede comunicarse con un FFD.
Requerimientos mínimos de recursos.



Topología de la Red

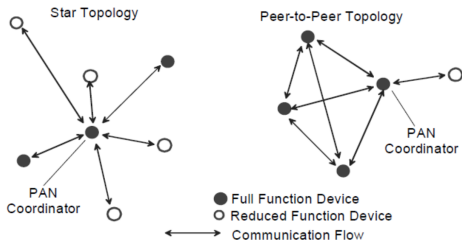
Estrella o punto a punto

■ Estrella (Star)

- PAN coordinator.
- Comunicaciones centralizadas.
- Ej: Automatización del hogar, Periféricos de PC, Juegos,...

■ Punto a punto (Peer-to-Peer)

- PAN coordinator.
- Permite redes más complejas.
- Multi-Hop routing.
- Ej: Control industrial, WSNs, Tracking de inventario,...

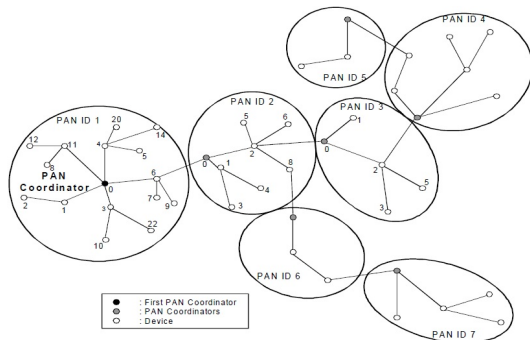




Topología Punto a punto

Árbol de Cluster

- Mayoría de FFDs.
- 1 *overall PAN coordinator*.
- RFDs al final de una rama.
- Aumenta el área de cobertura.
- Aumenta la latencia de la red.



Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



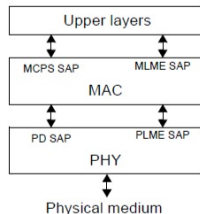
Arquitectura del estándar

■ MAC Sublayer

- Beacon management
- Channel access
- GTSs management
- Frame validation, ACKs
- Asociación y desasociación de dispositivos

■ Physical Layer (PHY):

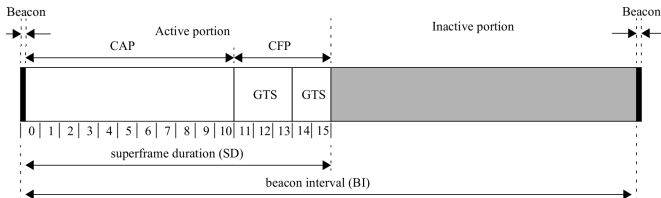
- Activación/Desactivación de RF
- ED, LQI, Clear Channel Assessment (CCA)
- Channel selection
- Tx y Rx de paquetes a través del medio físico





MAC: Beacons, Supertramas y GTSs

- 16 time slots.
- Contention Access Period (CAP) con **CSMA/CA**.
- Contention Free Period (CFP) para los GTSs, sin **CSMA/CA**.
- Los GTSs son opcionales y reducen el CAP.
- Tiempo inactivo → modo bajo consumo.





Transferencia de Datos

Con beacon

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

**Transferencia de
datos**

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

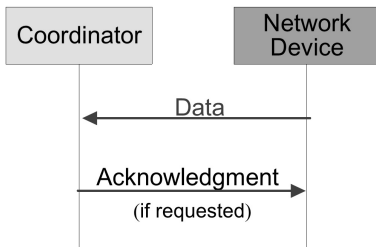
Referencias

Coordinator → Device

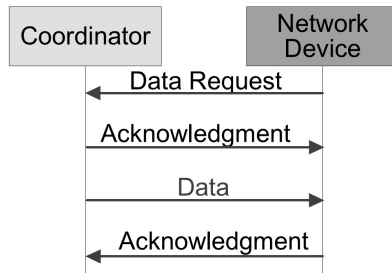


Transferencia de Datos

Sin beacon



Device → Coordinator



Coordinator → Device

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Carrier Sense multiple Access with Collision Avoidance

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

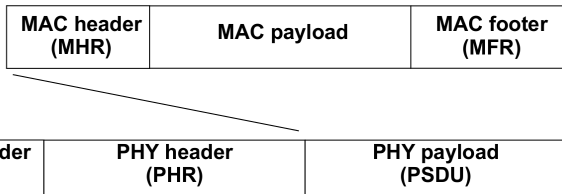
Slotted CSMA/CA vs Unslotted CSMA/CA



Estructura de las Tramas

Se definen 4 tipos de trama MAC:

- Beacon
- Data
- Acknowledgement
- MAC Command



Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Tramas

Tipo de Frame: **Beacon**

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

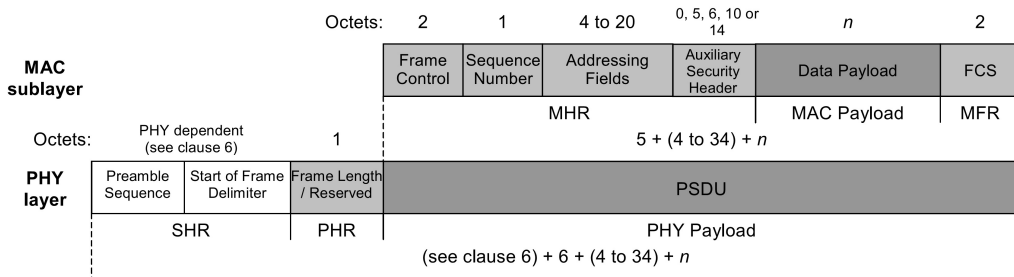
TI CC2520

Referencias



Tramas

Tipo de Frame: **Data**



Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

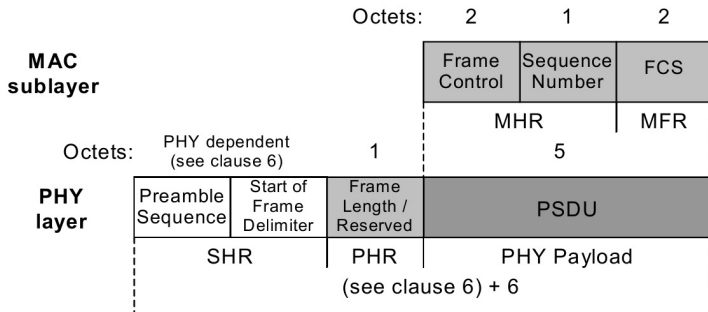
Mote

TI CC2520

Referencias



Tipo de Frame: **Acknowledgement** (Ack)





Tramas

Tipo de Frame: **MAC Command**

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Tramas

Frame Control Field

Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Acknowledge request	Intra PAN	Reserved	Destination addressing mode	Reserved	Source addressing mode

Format of the Frame Control Field (FCF)

Frame type value $b_2 b_1 b_0$	Description
000	Beacon
001	Data
010	Acknowledgment
011	MAC command
100–111	Reserved

Addressing mode value $b_1 b_0$	Description
00	PAN identifier and address fields are not present.
01	Reserved.
10	Address field contains a 16-bit short address.
11	Address field contains a 64-bit extended address.

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Modulación

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

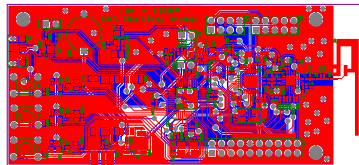
PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
780	779–787	1000	O-QPSK	250	62.5	16-ary orthogonal
780	779–787	1000	MPSK	250	62.5	16-ary orthogonal
868/915	868–868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902–928	600	BPSK	40	40	Binary
868/915 (optional)	868–868.6	400	ASK	250	12.5	20-bit PSSS
	902–928	1600	ASK	250	50	5-bit PSSS
868/915 (optional)	868–868.6	400	O-QPSK	100	25	16-ary orthogonal
	902–928	1000	O-QPSK	250	62.5	16-ary orthogonal
950	950–956	—	GFSK	100	100	Binary
950	950–956	300	BPSK	20	20	Binary
2450 DSSS	2400–2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary orthogonal
UWB sub-gigahertz (optional)	250–750	As defined in 14.4.1				
2450 CSS (optional)	2400–2483.5	As defined in 13.2		250	167 (as defined in 13.4.2)	
		As defined in 13.2		1000	167 (as defined in 13.4.2)	
UWB low band (optional)	3244–4742	As defined in 14.4.1				
UWB high band (optional)	5944–10 234	As defined in 14.4.1				



Nodo Mote LSE-FIUBA

■ Nodo Mote desarrollado en el LSE-FIUBA

- LPC1343 ARM Cortex-M3 @72MHz
- Transceptor TI-2520
- Extensor de rango TI-2591
- 3 Pulsadores
- 3 leds
- Antena y balun en microstrip



Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

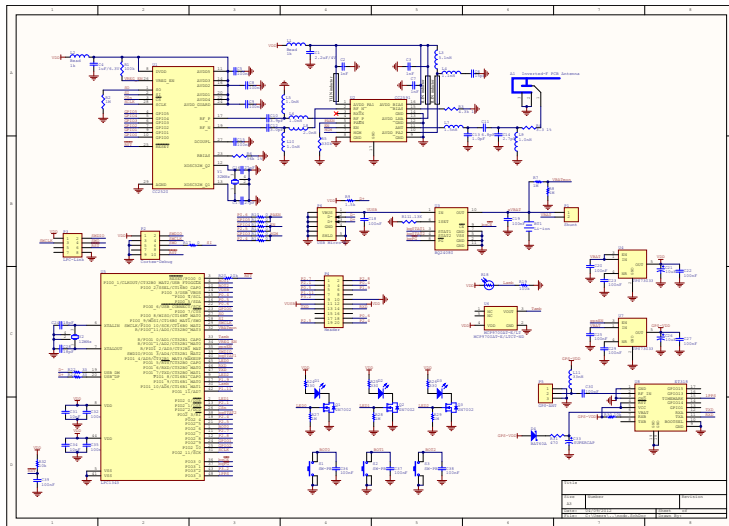
Mote

TI CC2520

Referencias



Referencias





Transceptor DSSS TI CC2520

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

- 2394-2507 MHz
- Muy bajo consumo de corriente
 - RX: 18.5 - 22.3 mA.
 - TX: 25.8 - 33.6 mA.
- Interfaz de usuario
 - SPI
 - 6 GPIOs
 - Respuestas automáticas a diferentes eventos
 - Modo de Packet Sniffer embebido



Soporte por Hardware a 802.15.4 MAC

- Generador automático de preámbulo
- Inserción y detección de palabra de sincronización
- CRC-16 en el MAC payload
- Frame Filtering
- Ack automático
- Clear Channel Assessment (CCA)
- Energy Detection (ED)
- Link Quality Indication (LQI)

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Circuito de Aplicación Típico

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Diagrama Funcional

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Procesamiento de tramas: Tx

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Procesamiento de tramas: Rx filtering

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Procesamiento de tramas: Rx matching

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias



Referencias

Introducción

IEEE 802

IEEE 802.15.4

LR-WPAN

Dispositivos

Topología

Arquitectura

Transferencia de
datos

CSMA/CA

Tramas

Modulación

Mote LSE

Mote

TI CC2520

Referencias

- Estándar IEEE 802.15.4:2011
- IEEE 802.15 - Task Group 4 - Home Page
- IEEE Get Program
- LPC1343 - Datasheet
- LPC1343 - User Manual
- Texas Instrument CC2520 - Technical Documents
- Texas Instrument Design Note - 2.4 GHz Inverted F Antenna

Protocolos de Comunicación en Sistemas Embebidos

802.15.4 LR-WPAN

Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos - FIUBA

Esp. Ing. Juan V. Montilla C.

