

XNode로 배우는

# 저전력 무선 네트워크 프로그래밍

3 센서 네트워크 프로토콜

# Zigbee 프로토콜

## □ Zigbee 프로토콜

### ▣ 무선 응용 설계 시 프로토콜 선택 중요

- 보안, 유연성 및 여러 지역에 배포 할 수 있는 기능을 고려

### ▣ Zigbee는 개방형 글로벌 표준으로 개발된 무선 기술

- 300개 이상의 주요 반도체 제조업체, 기술 회사 등으로 구성된 Zigbee Alliance에서 생성되고 비준
- 안정적인 무선 네트워크 아키텍처를 특징으로 사용하기 쉬운 무선 데이터 솔루션을 제공하도록 설계

### ▣ 물리적 동작은 IEEE 802.15.4 표준 사용

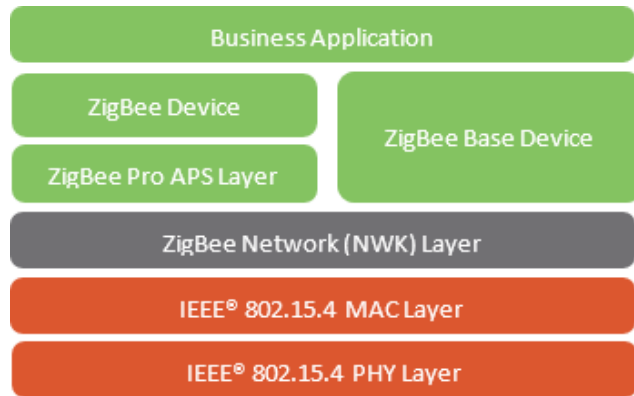
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서 승인
- 배터리로 작동하는 저가형 장치를 위한 패킷 기반 무선 프로토콜
  - 다양한 네트워크 토폴로지에서 통신 할 수 있으며 배터리 수명이 몇 년 동안 지속
  - 2.4GHz, 900MHz, 868MHz의 주파수 대역을 포함한 비 허가 주파수 대역에서 운영

# Zigbee 프로토콜 주요 기능

- Zigbee 프로토콜 주요 기능
  - ▣ 여러 네트워크 토폴로지 지원
    - point-to-point, point-to-multipoint, mesh networks
  - ▣ 낮은 듀티 사이클을 통해 긴 배터리 수명 제공
  - ▣ 짧은 대기 시간
  - ▣ 네트워크 당 최대 65,000개의 노드 지원
  - ▣ 안전한 데이터 연결을 위한 128비트 AES 암호화
  - ▣ 충돌 방지, 재시도 및 승인

# Zigbee 스택

- PHY(Physical) 계층 및 MAC(Medium Access Control) 계층
  - IEEE 802.15.4 표준 사용
  - 주소 지정 및 메시지 전송 / 수신
- 네트워크(NWK) 계층
  - 네트워크 구조, 라우팅 및 보안 관리
- 응용 프로그램 계층
  - 응용 프로그램 지원 하위 계층(APS)
  - Zigbee 장치 개체(ZDO)
  - 사용자 정의 응용 프로그램



# ISM 주파수 대역

- ISM(Industrial Scientific Medical) 주파수 대역
  - ▣ 허가가 불필요한 소 출력 무선 기기들이 사용
    - 산업 및 과학, 의료용 무선 기기 분야
    - Wi-Fi, 센서 네트워크(Bluetooth, Zibee), 무선 식별 시스템(RFID) 등
  - ▣ 전 세계를 1 지역, 2 지역, 3 지역으로 구분해 대역 할당
    - 1 지역: 13.56MHz, 433MHz
    - 2 지역: 902MHz
    - 3 지역: 2.4GHz

# 주파수와 전송속도

## □ 주파수와 전송 속도

### □ 868~868.6MHz : 유럽

- 20kbps

### □ 902~928MHz : 북아메리카

- 40kbps

### □ 2400~2483.5MHz : 세계적으로 널리 범용으로 사용

- 250kbps

구분 (MHz)	주파수 대역 (MHz)	전송 속도 (Kbps)	변조 방식
868/ 915	868~868.6	20	BPSK
	902~928	40	BPSK
2450	2400~2483.5	250	O-QPSK

# 주파수와 채널

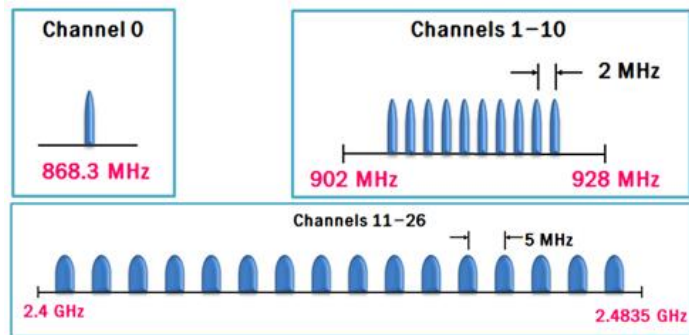
## □ 주파수와 채널

### □ 하나의 주파수 대역에서 작게 분할된 주파수 범위를 채널로 구분

- 센서 네트워크 채널은 0~26까지 번호가 부여된 27개 채널

### □ 채널이 다르면 물리적으로 다른 네트워크

- 0번 채널: 868~868.6MHz
- 1~10번 채널(10개): 902~928MHz, 2MHz 간격
- 11~26번 채널(16개): 2.4 ~ 2.4835GHz 5MHz 간격



# XNode 주파수와 채널

- XNode 주파수와 채널
  - ▣ 2.4GHz 대역을 사용하므로 11~26번 채널 중 하나 선택
  - ▣ 네트워크에 소속된 모든 노드는 동일 채널을 사용해야 함
    - XNode의 Coordinator는 네트워크를 생성할 때 주변 채널 탐색
      - 채널 탐색 마스크 비트를 통해 탐색할 채널 범위 선정
      - 주변 네트워크에서 사용하지 않는 채널 선택
    - Router나 End Device는 네트워크에 참여할 때 Coordinator에 의해 할당



# 데이터 변조

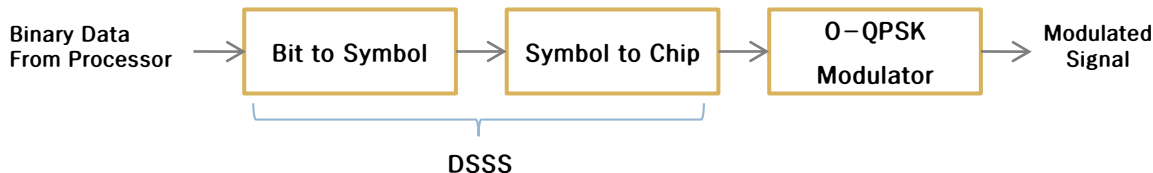
## □ IEEE 802.15.4에서 RF로 전송하기 위한 데이터 변조 과정

### □ 확산

- MAC 계층에서 받은 비트 스트림 데이터를 4비트당 1개의 심볼로 구성
- DSSS 방식으로 32개의 칩 시퀀스로 확산(Spreading)

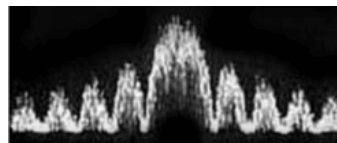
### □ 변조

- 확산한 칩은 O-QPSK로 변조된 후 RF로 출력



# 데이터 변조

- 직접 시퀀스 확산 스펙트럼(DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum)
  - ▣ 전력 소비를 줄이기 위해 의사 난수를 직접 데이터에 삽입
    - 데이터보다 큰 의사 난수(확산 코드)를 정의한 후 데이터에 의사 난수를 곱해(높은 주파수) 전송. 수신 쪽에서는 역 확산 수행
  - ▣ 4비트 데이터에 32비트 의사 난수를 곱해 32비트 데이터로 확산
    - 4비트 데이터를 32비트로 확산하려면 16개의 서로 다른 심볼 필요
    - IEEE802.15.4에 의해 16개의 의사 난수 심볼 규정
  - ▣ 확산 결과는  $((\sin x) / x)^2$ 으로 중심은 반송파인 의사 난수 주파수



DSSS

# 안테나 파워 관리

## □ 안테나 출력 관리

- 송신, 수신 안테나의 출력이 클수록 더 멀리 신호를 전달하고 아주 미세한 신호까지 정상적으로 수신 가능
- 송신 측에서 송신 안테나를 통해 변/복조된 데이터를 공기 중으로 전달
  - 송신 안테나 출력은 사용자에게 의해 제어
- 수신 측에서 수신 안테나를 통해 감지한 신호를 복조 과정을 거쳐 인식
  - 수신 안테나 출력은 자동으로 제어
  - 수신 안테나로부터 감지되는 신호가 약하면 출력을 높이고 강하면 낮춤

# 전파 품질

## □ 전파 품질

- ▣ 전파 품질은 송신 안테나의 출력값과 전파를 전달하는 공기(매질) 상태 및 주변 환경에 따라 달라짐
- ▣ 데이터를 전송하는 센서 노드 수가 늘어날수록 공기 중에서 충돌할 확률이 증가해 수신 효율 감소
- ▣ 송신 측 전파 품질은 송신 안테나 출력값에 의존
  - 전송 과정에서 발생한 전파 품질 변화는 수신 측에 의해 RSSI(Received Signal Strength Indication)와 LQI(Link Quality Indicator)로 표현

# 신호 강도와 RSSI

## □ RSSI는 무선 신호에 존재하는 전력량 측정

### ▣ 수신 신호가 약하면 수신 안테나 출력 증가, 강하면 감소

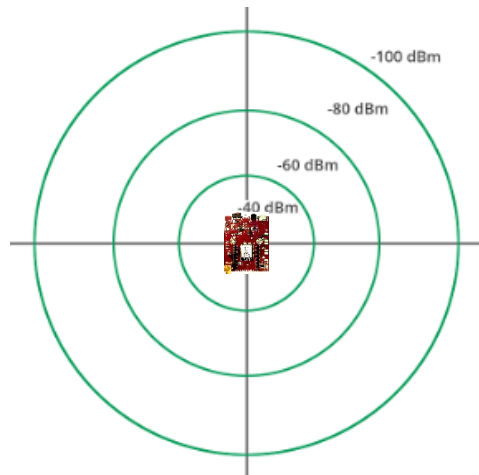
#### ■ dBm 단위로 측정: 작으면 수신 신호가 세고, 커지면 약한 것을 의미

##### ■ dBm은 mW 단위의 전력을 dB 스케일(상대적 Log)로 표현

- $1W = 1000mW = 10 * \log 1 (=0dB) = 30dBm$
- $0.1W = 100mW = 10 * \log 0.1 = 20dBm$
- $0.01W = 10mW = 10 * \log 0.01 = 10dBm$
- $0.001W = 1mW = 10 * \log 0.001 (= -30dB) = 0dBm$

### ▣ 수신 측과 RSSI 값

#### ■ 커질수록 원활한 수신을 위해 수신 안테나 파워를 높임

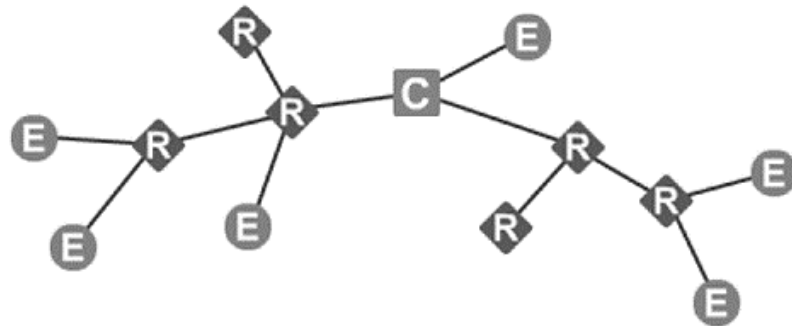


# 전송 데이터 충돌 문제

- CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)
  - ▣ 동일한 채널을 공유하고 있는 장치 간의 충돌은 불가피
    - 무선은 거리에 대한 신호 감쇄가 심해 일정 신호 이상을 충돌이라고 판단하기 어려움
    - 다른 장치가 언제 전송을 시작할지 알 수 없음.
    - 전송한 데이터에 대한 응답이 없으면(충돌 발생) 일정 시간 대기 후 통에 회피하는 프로토콜
  - ▣ DCF(distributed coordination function) 사용
    - 노드 간 동등한 경쟁 지원
    - 2의 지수 대기(binary exponential backoff)를 사용해 대기 시간 결정
      - 충돌이 발생할 때마다 선택 가능한 대기 시간은 두 배가 됨

# Zigbee 네트워크

- 하나의 Coordinator와 다수의 Router 및 End device로 PAN 구성
  - PAN(Personal Area Network)은 블루투스, Zigbee와 같은 개인 네트워크
  - Coordinator
    - 네트워크 생성 및 관리
  - Router
    - 라우팅 알고리즘 수행
  - End device
    - 네트워크에 참여하는 최종 노드로 저전력 모드로 동작



# Zigbee 네트워크

## □ Coordinator

- PAN ID와 네트워크 주소 및 채널(2.4G 기준 11~26)을 선택하여 PAN 시작
- Router와 End device를 위해 PAN ID와, 네트워크 주소 배포 가능

## □ Router

- 다른 Router 또는 End device를 PAN에 연결
- 데이터 이동 경로를 우회할 수 있도록 중계(Routing)

## □ End device

- 라우팅 기능이 없는 최종 노드
- 슬립 모드에서 깨어날 때마다 Router에 수신 데이터가 있는지 질의



# Zigbee 네트워크

## □ PAN ID

- PAN 식별 번호로 동일한 PAN의 모든 장치에서 공통으로 사용
- 지정하지 않으면 근처 PAN을 검색해 참여할 PAN ID를 선택할 수 있음
  - 동일 채널에서 운영 중인 다른 PAN과 충돌하지 않도록 임의의 PAN ID 선택 반복
  - 수동으로 지정할 땐 의도하지 않게 다른 PAN과 중복되지 않도록 주의
- 64비트 및 16비트 PAN 모두 지원
- 동일한 PAN에 있는 장치는 같은 PAN ID를 공유해야 함

# Zigbee 네트워크

- 16비트 PAN ID (IEEE802.15.4 수준에서 구현)
  - ▣ coordinator에 의해 자동 할당
  - ▣ 다른 노드는 PAN ID를 파악한 후 연결
- 64비트 확장 PAN ID (또는 IEEE/MAC 주소)
  - ▣ coordinator는 자동 할당 및 사용자가 설정한 값 사용 가능
    - 다른 노드는 사용자 설정값이 있으면 이를 이용. 아니면 첫 번째 감지된 PAN에 가입
  - ▣ 자동 할당의 경우 PAN 연결이 끊어지면 다시 PAN을 탐색해 가입
    - 주변에 16비트, 64비트 PAN에 모두 존재하면 64비트 PAN에 우선 가입

# Zigbee 네트워크

## □ 16비트 네트워크 주소

### ▣ PAN의 노드를 식별하고 해당 PAN 내에서만 유일

- 다른 PAN 간에는 중복될 수 있음

### ▣ 노드가 처음 PAN에 가입할 때 부모에 의해 임의의 16비트 값 동적 할당

- Coordinator의 네트워크 주소는 항상 0x0000
- 확률적 주소 지장 방식으로 PAN 내부 다른 위치에 동일 주소가 있으면 이를 감지하고 해결
- 나중에 부모를 잃고 새 부모를 얻더라도 가입하는 노드에 의해 유지될 수 있음

### ▣ 응용은 PAN ID 또는 네트워크 주소로 원격 노드 식별

- 하위 네트워크 계층은 항상 네트워크 주소 사용
- PAN ID과 네트워크 주소 간의 변환을 위해 원격 노드 주소 쌍을 포함한 맵 테이블 유지