XNode로 배우는

센서 네트워크

7 Zigbee 기본 통신

Zigbee 기본 통신

- Zigbee 통신을 하기 위해서는 2개 이상의 XNode 필요
  - 각 XNode는 통신 전에 코디네이터 또는 네트워크 등록과 같은 설정 필요
    - PC와 XNode를 USB 케이블로 연결한 후 AT Command를 통해 설정
      - Coordinator operation
      - Router operation
      - Channel scanning
    - 설정이 완료되면 데이터 송수신 가능
  - pop 라이브러리의 xnode 모듈을 통해 AT Command 설정 및 데이터 송수신

xnode Module

- from pop import xnode
  - pop 라이브러리의 xnode 모듈 로드
  - atcmd(cmd[, value]) : AT Command로 XNode 설정 및 설정상태 확인
    - cmd : 설정을 나타낸느 문자열
    - value(optional) : 입력 시 cmd값에 입력, 입력하지 않을 시 cmd 설정값 반환
  - discover() : 동일 네트워크 내의 통신가능 장치 검색 및 반환
    - sender_nwk : 16-bit network address
    - sender_eui64 : 8-byte bytes object with EUI-64 address
    - parent_nwk : coordinator, router에서 0xfffe로 설정된 값

xnode Module

- node_id : 디바이스의 NI 값 (최대 20자 문자열)
- node_type : 0=coordinator, 1=router
- device_type : 하드웨어 타입, 동일해야 통신 가능
- rssi : 신호 강도(dBm)

xnode Module

- Transmit(addr, message) : 메시지 전송
  - 성공적으로 전송되면 None 반환
    - ACK로 인해 전송이 실패한 경우, 수신자의 여유 버퍼 공간이 부족한 경우 전송된 패킷은 자동 삭제
  - addr : 목적지 장치 주소, 장치주소를 직접 입력하면 unicast 가능
    - xnode.ADDR_BROADCAST를 사용하면 Broadcast로 전송
    - xnode.ADDR_COORDINATOR를 사용하면 coordinator로 전송
  - message : 전송할 메시지, str type

xnode Module

- receive() : 수신된 메시지 반환, 수신된 메시지가 없을 때는 None 반환
  - sender_eui64 : 64-bit address (bytes object) of the sending node
  - source_ep : source endpoint as an integer
  - dest_ep : destination endpoint as an integer
  - cluster : cluster id as an integer
  - profile : profile id as an integer
  - broadcast : True or False depending whether the frame was broadcast or unicast
  - payload : bytes object of the payload

Coordinator operation

- Form a network
  - Coordinator
    - 네트워크에 대한 채널, PAN ID, 보안 정책, 스택 프로필 선택
    - 네트워크를 시작할 수 있는 유일한 장치 유형
      - 각 Zigbee 네트워크에는 Coordinator가 반드시 있어야 함
    - 네트워크를 시작한 후 새 장치가 네트워크에 연결 가능
    - 데이터 패킷을 라우팅하고 네트워크의 다른 장치와 통신 가능
    - 양호한 채널과 사용되지 않은 PAN ID에서 시작
      - Coordinator는 일련의 스캔을 수행하여 서로 다른 채널에서 RF 활동 (에너지 스캔)을 발견
      - 주변 작동 PAN (PAN 스캔)을 발견

Coordinator operation

- Channel selection
  - 네트워크를 시작할 때 Coordinator는 네트워크가 작동할 "양호한"채널 선택
    - 여러 채널에서 에너지 스캔을 수행하여 에너지 수준을 감지
    - 시작할 잠재적 채널 목록에서 과도한 에너지 레벨이 있는 채널을 제거
    - 무작위로 채널을 선택하여 네트워크를 구성
    - "SD" (Scan Duration)
      - 에너지 스캔 중에 장치가 각 채널에 머무르는 시간 조정

Coordinator operation

- PAN ID selection
  - 에너지 스캔을 완료한 후 Coordinator는 잠재적인 채널 목록 스캔
    - 인접 PAN 목록 얻음
    - Coordinator는 각 잠재적 채널에서 비콘 요청 (브로드 캐스트) 전송
    - 네트워크에 가입 한 모든 Coordinator 및 Router는 Coordinator에게 비콘 요청 응답
      - 비콘에는 PAN 식별자 (16 비트 및 64 비트)를 포함하여 장치가 켜져 있는 PAN에 대한 정보 포함
    - 이 스캔 (잠재 채널에서 비콘 수집)을 일반적으로 활성 스캔 또는 PAN 스캔이라고 함
    - 채널 및 PAN 스캔을 완료한 후 시작할 임의 채널과 사용되지 않은 16 비트 PAN ID 선택

Coordinator operation

- Persistent data
  - Coordinator가 네트워크를 시작하면 전원주기 동안 다음 정보 유지
    - PAN ID
    - Operating channel
    - Security policy and frame counter value
    - Child table (end device children that are joined to the coordinator)
    - Binding table
    - Group table

Coordinator operation

- Coordinator는 네트워크를 떠날 때까지 이 정보를 무기한 유지
- Coordinator가 네트워크를 떠나 새 네트워크를 시작하는 경우
  - 이전 PAN ID, 운영 채널, 링크 키 테이블 및 하위 테이블 데이터 손실

Coordinator operation

- Coordinator startup
  - Coordinator가 네트워크를 형성하는 데 사용하는 네트워크 형성 명령

Command	Description
CE	Coordinator 역할을하고 네트워크를 형성하도록 지정하려면 1로 설정
ID	64 비트 PAN ID를 결정하는 데 사용. 0으로 설정하면 임의의 64 비트 PAN ID가 선택.
SC	Coordinator가 네트워크를 구성할 때 사용하는 스캔 채널 비트 마스크 결정. Coordinator는 활성화된 모든 SC 채널에서 에너지 스캔을 한 후 PAN ID 스캔 수행.
SD	검색 기간 또는 Router가 각 채널에서 비콘을 수신하는 시간을 설정

Coordinator operation

- 구성 변경은 마지막 변경 후 5 초 동안 네트워크 형성 시작 지연
- Coordinator가 네트워크를 시작하는 경우
  - 네트워크 구성 설정 및 하위 테이블 데이터는 전원주기 동안 유지
  - 'WR' 파라미터 사용시 전원 재 인가해도 설정정보 유지
- Coordinator가 네트워크를 성공적으로 시작한 경우
  - 다른 장치가 한동안 네트워크에 연결되도록 허용하고 "AI"를 0으로 설정

Command	Description	
AI (Association Indication)	0x00	Successfully formed or joined a Zigbee network.
	0x21	Scan found no PANs
	0x22	Scan found no valid PANs based on SC and ID settings.
	0x23	Valid PAN found, but joining is currently disabled
	0x24	No joinable beacons were found
	0xFF	Initialization time; no association status has been determined yet

Router operation

- Router 특징
  - Zigbee 네트워크에 참여하기 전에 유효한 Zigbee 네트워크 발견, 가입 필요
  - Router가 네트워크에 연결되면 새 장치가 네트워크에 연결되도록 할 수 있음
  - 데이터 패킷을 라우팅하고 네트워크의 다른 장치와 통신할 수 있음

Router operation

- Discover Zigbee networks
  - Router는 PAN (또는 활성) 스캔하여 근처의 Zigbee 네트워크를 검색
    - PAN 스캔 중 Router는 스캔 채널 목록의 첫 번째 채널에서 비콘 요청 (브로드 캐스트) 전송
    - Zigbee 해당 채널에서 작동하는 모든 인근 Coordinator 및 Router는 비콘 요청 응답
    - 비콘에는 PAN ID, 참여 허용 여부, 주변 장치가 있는 PAN에 대한 정보 포함
    - Router는 채널에서 수신된 각 비콘을 평가하여 유효한 PAN인지 확인
    - Router가 유효한 PAN을 찾지 못하면 스캔 채널 목록의 다음 채널에서 PAN 스캔을 수행
    - 유효한 네트워크를 찾거나 모든 채널이 스캔 될 때까지 스캔을 계속
    - Rounter가 모든 채널을 스캔하고 유효한 PAN을 찾지 못하면 모든 채널을 다시 스캔
    - 유효한 PAN이 연결 Router 범위 내에 있으면 일반적으로 몇 초 내에 PAN 검색

Router operation

- Join a network
  - Router가 유효한 네트워크를 발견한 경우
    - Zigbee 네트워크에서 가입을 요청하는 유효한 비콘을 보낸 장치에 연결 요청 송신
    - 결합을 허용하는 장치는 결합을 허용하거나 거부하는 연관 응답 프레임 송신
    - Router가 네트워크에 가입하면 가입을 허용 한 장치로부터 16 비트 주소 수신
    - 결합을 허용 한 장치는 16 비트 주소를 임의로 선택

Router operation

- Persistent data
  - Router가 네트워크에 연결되면 전원주기 동안 다음 정보 유지
    - PAN ID
    - Operating channel
    - Security policy and frame counter value
    - Child table (end device children that are joined to the coordinator)
    - Binding table
    - Group table

Router operation

- Router는 네트워크를 떠날 때까지 이 정보를 무기한 유지
- Router가 네트워크를 떠나는 경우
  - 이전 PAN ID, 운영 채널, 하위 테이블 데이터 손실

Router operation

- Router joining
  - Router의 전원을 켰을 경우
    - 유효한 Zigbee 네트워크에 아직 연결되어 있지 않은 경우
      - 유효한 Zigbee 네트워크를 찾아 연결 시도
  - Router 연결 프로세스 제어 명령

Command	Description
CE	Router 역할로 지정하려면 0으로 설정
ID	64 비트 PAN ID를 결정하는 데 사용. 0으로 설정하면 임의의 64 비트 PAN ID가 선택.
SC	Router가 유효한 네트워크를 찾기 위해 스캔하는 채널을 결정하는 스캔 채널 비트 마스크 설정. Coordinator의 SC와 일치하도록 Router의 SC를 설정.
SD	검색 기간 또는 Router가 각 채널에서 비콘을 수신하는 시간을 설정
JV	전원 인가시 네트워크 연결확인여부 설정. 1로 설정되어 있을 경우 네트워크에 처음 가입할 때 Coordinator의64 비트 주소 검색을 시도

Router operation

- 구성 변경은 마지막 변경 후 5 초 동안 네트워크 형성 시작 지연
- Router가 네트워크에 연결되는 경우
  - 네트워크 구성 설정 및 하위 테이블 데이터는 전원주기 동안 유지
  - 연결이 실패하면 AI 명령 레지스터에서 마지막 연결 시도의 상태를 읽음

Command	Description	
AI (Association Indication)	0x00	Successfully formed or joined a Zigbee network.
	0x21	Scan found no PANs
	0x22	Scan found no valid PANs based on SC and ID settings.
	0x23	Valid PAN found, but joining is currently disabled
	0x24	No joinable beacons were found
	0xFF	Initialization time; no association status has been determined yet

Router operation

- Router네트워크 형성 명령값이 변경된 경우
  - Router는 현재 네트워크를 떠나 새로운 유효한 네트워크를 발견하고 연결 시도
- Router가 네트워크에 성공적으로 연결된 경우
  - 장치가 한동안 네트워크에 연결되도록 허용하고 "AI"를 0으로 설정
- 'WR' 파라미터
  - 현재 설정된 파라미터들이 전원을 재시작하더라도 유지

Channel scanning

- Router는 가입할 유효한 네트워크를 찾기 위해 채널 스캔
  - 조인 시도 시작
    - 장치는 SC (scan channel) 비트 마스크에 지정된 최하위 채널에서 비콘 요청 전송
  - 장치가 채널에서 유효한 PAN을 찾은 경우
    - 해당 채널에서 PAN에 참여하려고 시도

Channel scanning

- 장치가 채널에서 유효한 PAN을 찾지 못한 경우
  - SC 비트 마스크에서 다음 상위 채널에서 스캔 시도
  - 장치는 유효한 PAN을 찾거나 모든 채널이 스캔 될 때까지 SC 비트 마스크의 각 채널 계속 스캔
  - 장치가 모든 채널을 스캔하면 다음 연결 시도는 SC 비트 마스크에 지정된 최하위 채널에서 스캔을 시작

Channel scanning

- Manage multiple Zigbee networks
  - 일부 애플리케이션에서는 여러 Zigbee 네트워크가 서로 인접 가능
    - ID(PAN ID) 매개변수를 0이 아닌 값으로 설정
    - 장치는 동일한 PAN ID를 가진 네트워크에만 연결

AT Command

- AT Copmmand
  - 사용자가 이해할 수 있는 문자 기반 통신 장비 설정 언어
    - atcmd() 함수를 통해 설정
  - 기존 매개변수 값 읽기
    - atcmd()의 첫 번째 인자에 "ID"를 전달하면 "ID" 매개변수에 설정된 값 반환

```
01: from pop import xnode
02:
03: xnode.atcmd("ID")
```

```
b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\t\x14'
```

AT Command

- 매개변수 설정 또는 변경
  - atcmd()의 첫번째 인자에 "ID", 두번째 인자에 설정하고자 하는 값을 전달
  - 두번째 인자를 생략하면 변경된 값 확인 가능

```
01：xnode.atcmd(“ID”,0x15)
02：xnode.atcmd(“ID”)
```

```
b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x15'
```

AT Command

- CE (Coordinator Enable -> Device Role)
  - 장치가 Coordinator/Router 역할을 할지 결정
  - 네트워크 연결 후 CE를 변경하면 장치가 네트워크를 벗어남
  - Parameter range : 0x00-0x01

Parameter	Description
0x01	'Coordinator'
0x00	'Router'

AT Command

- CE

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  xnode.atcmd('CE', 1)
04:  print('Device Role: ', xnode.atcmd('CE'))
05:  xnode.atcmd('CE', 0)
06:  print('Device Role: ', xnode.atcmd('CE'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
03: Device Role을 Coordinator로 변경
05: Device Role을 Router로 변경

```
Device Role:  1
Device Role:  0
```

AT Command

- ID (->Extended PAN ID(EPID))
  - 네트워크를 형성하거나 연결할 때 사용되는 사전 구성된 확장 8Byte 확장 PAN ID
  - ID는 OP (Operating Pan) 값이 일치하는 네트워크로만 연결 제한
  - Coodinator
    - ID를 0으로 설정하면 임의의 확장 PAN ID가 생성
  - Router
    - ID가 0으로 설정되면 장치는 열려 있는 네트워크에 연결 시도
  - 네트워크 연결 후 ID를 변경하면 장치가 네트워크를 벗어남
  - Parameter range : 0x00-0x0FFFFFFFFFFFFFFF

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  xnode.atcmd('ID', 0x15)
04:  print('my Extended PAN ID:', xnode.atcmd('ID'))
05:  xnode.atcmd('ID', 0xFF)
06:  print('my Extended PAN ID:', xnode.atcmd('ID'))
```

```
my Extended PAN ID: b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x15'
my Extended PAN ID: b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\xff'
```

AT Command

- JV (Coordinator Join Verification)
  - Router가 주변에 Coordinator가 있는지 확인 후 해당 네트워크에 참여
  - Parameter range : 0x00-0x01
  - JV = 1 인 경우
    - Router는 네트워크에 연결하거나 전원을 껐다 켤 때 Coordinator가 작동 채널에 있는지 확인
    - Coordinator가 감지되지 않으면 Router는 현재 채널을 떠나 새 PAN에 참여하려고 시도
  - JV = 0 인 경우
    - Coordinator가 감지되지 않더라도 Router는 현재 채널에서 계속 작동

Parameter	Description
0x00	No coordinator verification
0x01	Coordinator verification enabled

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  xnode.atcmd('JV', 0x01)
04:  print('Coordinator Join Verification:', xnode.atcmd('JV'))
05:  xnode.atcmd('JV', 0x00)
06:  print('Coordinator Join Verification:', xnode.atcmd('JV'))
```

```
Coordinator Join Verification: 1
Coordinator Join Verification: 0
```

AT Command

- NI (Node Identifier)
  - 장치의 사용자 정의 이름
  - 네트워크에서 장치를 쉽게 식별하기위해 문자열을 네트워크 검색 명령과 함께 사용 가능
  - Parameter range : 0-20 바이트 길이의 대소 문자를 구분하는 ASCII 인쇄 가능 문자열. 캐리지 리턴 또는 쉼표는 자동으로 명령 종료.

AT Command

```
01:  from pop import xnode
01:
02:  xnode.atcmd('CE', 0)
03:  xnode.atcmd('NI', 'Coordinator')
04:  print('I am', xnode.atcmd('NI'))
05:  xnode.atcmd('CE', 1)
06:  xnode.atcmd('NI', 'Router')
07:  print('I am', xnode.atcmd('NI'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode 모듈 로드
03: Device Role을 Coordinator로 변경
04: Node Identifier 값을 'Coordinator'로 변경
06: Device Role을 Router로 변경
07: Node Identifier 값을 'Router'로 변경

```
I am Coordinator
I am Router
```

AT Command

- AI (Association Indication)
  - 마지막 노드 연결 요청에 대한 정보를 읽음
  - 연결 시도 중에 AI를 쿼리하여 현재 상태 식별
  - Parameter range : 0x00-0xFF

Command	Description	
AI (Association Indication)	0x00	Successfully formed or joined a Zigbee network.
	0x21	Scan found no PANs
	0x22	Scan found no valid PANs based on SC and ID settings.
	0x23	Valid PAN found, but joining is currently disabled
	0x24	No joinable beacons were found
	0xFF	Initialization time; no association status has been determined yet

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:  ai = xnode.atcmd('AI')
03:  if ai == 0x00:
04:      print("Successfully formed or joined a Zigbee network.")
05:  if ai == 0x21:
06:      print("Scan found no PANs")
07:  if ai == 0x22:
08:      print("Scan found no valid PANs based on SC and ID settings.")
09:  if ai == 0x23:
10:      print("Valid PAN found, but joining is currently disabled")
11:  if ai == 0x24:
12:      print("No joinable beacons were found")
13:  if ai == 0xFF:
14:      print("no association status has been determined yet")
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: ai 변수에 Assocication Indication 값 할당
03: 상단의 표에 있는 16진수 코드와 비교 출력

```
Successfully formed or joined a Zigbee network.
```

AT Command

- OP (Operating Extended PAN ID)
  - 연결된 네트워크의 64 비트 확장 PAN ID 반영
  - Parameter range : 0x00-0xFFFFFFFFFFFFFFFF

```
01:  from pop import xnode
02:  print(xnode.atcmd('OP'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: Operating Extended PAN ID출력

```
b'\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x15'
```

AT Command

- OI (Operating 16-bit PAN ID)
  - 연결된 네트워크의 16 비트 PAN ID 반영
  - Parameter range : 0x00-0xFFFF

```
01:  from pop import xnode
02:  print(hex(xnode.atcmd('OI')))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: Operating Extended PAN ID출력

```
0xdd07
```

AT Command

- CH (Operating Channel)
  - 연결된 네트워크의 채널 번호 반영
  - 채널은 IEEE 802.15.4 채널 번호로 표시
  - 값 0은 장치가 PAN에 연결되지 않았으며 어떤 채널에서도 작동하지 않음을 의미
  - Parameter range : 0, 0x0B - 0x1A (Channels 11 through 26) [read-only]

```
01:  from pop import xnode
02:  print(xnode.atcmd('CH'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: Operating Channel 출력

```
22
```

AT Command

- SH (Serial Number High)
  - XNode에 할당 된 고유한 IEEE 64 비트 확장 주소의 상위 32 비트 표시
  - 이 값은 읽기 전용이며 변경되지 않음.
  - Parameter range : 0x0013A200 - 0x0013A2FF [read-only]

```
01:  from pop import xnode
02:  print(xnode.atcmd('SH'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 64비트 확장 주소의 상위 32비트 출력

```
b'\x00\x13\xa2\x00'
```

AT Command

- SL (Serial Number Low)
  - XNode에 할당 된 고유한 IEEE 64 비트 확장 주소의 하위 32 비트 표시
  - 이 값은 읽기 전용이며 변경되지 않음.
  - Parameter range : 0x00 - 0xFFFFFFFF [read-only]

```
01:  from pop import xnode
02:  print(xnode.atcmd('SL'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 64비트 확장 주소의 하위 32비트 출력

```
b'A\xaf\x03\x7f'
```

AT Command

- MY (16-bit Network Address)
  - 연결시 네트워크 관리자가 임의로 할당 한 장치의 16 비트 네트워크 주소를 읽음
  - 0xFFFE 값은 장치가 Zigbee 네트워크에 연결되지 않았음을 의미
  - Parameter range : 0x00 - 0xFFFF [read-only]

```
01:  from pop import xnode
02:  print("My Network Address", hex(xnode.atcmd('MY')))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 16비트 네트워크 주소를 16진수로 출력

```
My Network Address 0x2e91
```

AT Command

- MP (16-bit Parent Network Address)
  - 상위장치의 16 비트 네트워크 주소를 읽음
  - 0xFFFE 값은 장치에 상위 장치가 없거나 최종 장치로 구성되지 않았음을 의미
  - Parameter range : 0x00 - 0xFFFE [read-only]

```
01:  from pop import xnode
02:  print("Parent Network Address", hex(xnode.atcmd('MP')))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 상위 장치의 16비트 네트워크 주소를 16진수로 출력

```
Parent Network Address 0xfffe
```

AT Command

- DH (Destination Address High)
  - 데이터 전송 대상의 64 비트 주소의 상위 32 비트를 설정하거나 읽음
  - DH를 DL과 결합하면 장치가 데이터 전송에 사용하는 64 비트 대상 주소 정의
  - 이 대상 주소는 대상 장치의 일련 번호 (SH + SL)에 해당
  - 0x000000000000FFFF is a broadcast address (DH = 0, DL = 0xFFFF).
  - 0x0000000000000000 addresses the network coordinator.
  - Parameter range : 0x00 - 0xFFFFFFFF

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:  print("Destination Address High", xnode.atcmd('DH'))
03:  xnode.atcmd('DH', 0xdeadbeef)
04:  print("Destination Address High", xnode.atcmd('DH'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 데이터 전송 대상의 64비트 주소의 상위 32비트를 16진수로 출력
03: DH command 변경
04: 변경된 데이터 전송 대상의 64비트 주소의 상위 32비트를 16진수로 출력

```
Destination Address High b'\x00\x00\x00\x00'
Destination Address High b'\xde\xad\xbe\xef'
```

AT Command

- DL (Destination Address Low)
  - 데이터 전송 대상의 64 비트 주소의 하위 32 비트를 설정하거나 읽음
  - DH를 DL과 결합하면 장치가 데이터 전송에 사용하는 64 비트 대상 주소 정의
  - 이 대상 주소는 대상 장치의 일련 번호 (SH + SL)에 해당
  - 0x000000000000FFFF is a broadcast address (DH = 0, DL = 0xFFFF).
  - 0x0000000000000000 addresses the network coordinator.
  - Parameter range : 0x00 - 0xFFFFFFFF

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:  print("Destination Address Low", xnode.atcmd('DL'))
03:  xnode.atcmd('DL', 0xaabbccdd)
04:  print("Destination Address Low", xnode.atcmd('DL'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 데이터 전송 대상의 64비트 주소의 상위 32비트를 16진수로 출력
03: DL command 변경
03: 변경된 데이터 전송 대상의 64비트 주소의 상위 32비트를 16진수로 출력

```
Destination Address Low b'\x00\x00\x00\x00'
Destination Address Low b'\xaa\xbb\xcc\xdd'
```

AT Command

- PL (TX Power Level)
  - 장치의 데이터 송신 파워 설정
  - CH = 0x1A에서 작동하는 경우 출력 전력은 제한되며 8dBm을 초과할 수 없음
  - Parameter range : 0x00 - 0x04

Parameter	dBm
0x00	-5dBm
0x01	+3dBm
0x02	+8dBm
0x03	+15dBm
0x04	+19dBm

AT Command

```
01:    from pop import xnode
02:
03:    for i in range(0x05):
04:        xnode.atcmd('PL', i)
05:        print("TX Power Level 0x%02x" % xnode.atcmd('PL'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
03: 0x00에서 0x04까지 반복
04: PL command 변경
05: 변경된 송신 파워를 16진수로 출력

```
TX Power Level 0x00
TX Power Level 0x01
TX Power Level 0x02
TX Power Level 0x03
TX Power Level 0x04
```

AT Command

- PP(Output Power in dBm)
  - 작동 출력 전력을 표시
  - 반환된 값은 dBm이며 음수 값은 2의 보수로 표시
    - ex. -5dBm = 0xFB.
  - Parameter range : 0x00 - 0xFF [read-only]

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  for i in range(0x05):
04:      xnode.atcmd('PL', i)
05:      pp = xnode.atcmd('PP')
06:      if pp >= 127:
07:          pp = -(0x100 - pp)
08:      print("Output Power in dBm: %d dBm" % pp)
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
03: 0x00에서 0x04까지 반복
04: PL command 변경
05: 작동 출력 전력 반환
06: 작동 출력 전력이 음수인지 검사
07: 2의 보수를 음수로 변환
08: 변환된 dBm을 정수로 출력

```
Output Power in dBm: -5 dBm
Output Power in dBm: 3 dBm
Output Power in dBm: 8 dBm
Output Power in dBm: 15 dBm
Output Power in dBm: 19 dBm
```

AT Command

- DB(Last Packet RSSI)
  - 이 명령은 마지막으로 수신된 RF 데이터 패킷 수신 신호 강도 반환
  - DB 명령은 마지막 홉의 신호 강도만 나타냄
  - 멀티 홉 링크에 대한 정확한 품질 측정을 제공하지 않음
  - DB 명령 값은-Bm 단위로 측정
    - DB가 0x50을 반환하면 마지막으로 수신된 패킷의 RSSI는 -80dBm

AT Command

```
01:  from pop import xnode
02:  db = -(xnode.atcmd('DB'))
03:  print('Last Packet RSSI %d dBm' % db)
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: DB command 반환 후 음수로 변환
04: Last Packet RSSI 출력

```
Last Packet RSSI -6 dBm
```

AT Command

- WR (Write)
  - 매개 변수 값을 비 휘발성 플래시 메모리에 즉시 기록하여 전원주기 동안 지속되도록 함
  - 운영 네트워크 매개 변수는 영구적이며 장치가 네트워크에 다시 연결되는데 WR 명령이 필요하지 않음

AT Command

- 아래 코드 실행

```
01:  from pop import xnode
02:  xnode.atcmd('NI', 'Node01')
03:  xnode.atcmd('WR')
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: Node Identifier를 Node01로 설정
03: 플래시 메모리에 기록

- 전원 재연결 후 아래 코드 실행

```
01:  from pop import xnode
02:  print('I am', xnode.atcmd('NI'))
```

01: pop 라이브러리에서 xnode class import
02: 플래시 메모리에 기록된 Node Identifier 출력

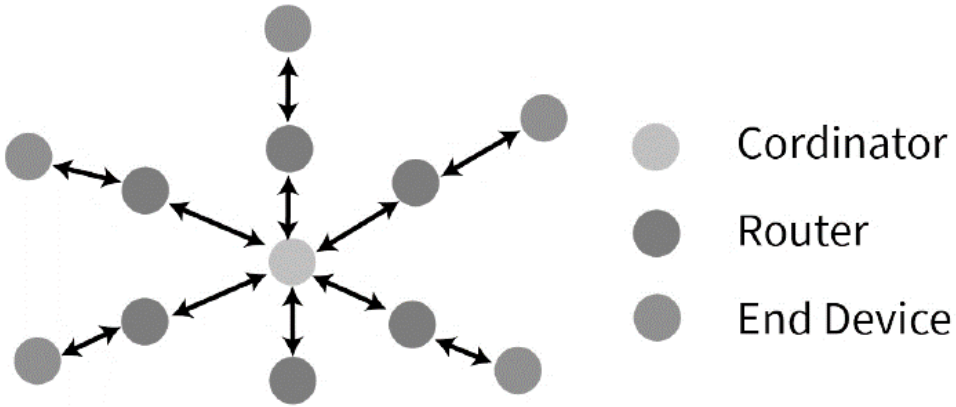
```
I am Node01
```

통신 방식

- Zigbee 데이터 패킷을 unicast 또는 broadcast 전송 가능
  - unicast 전송
    - 하나의 소스 장치에서 하나의 대상 장치로 데이터를 라우팅
  - broadcast 전송
    - 네트워크의 여러 또는 모든 장치로 전송

통신 방식

- Broadcast transmissions
  - 모든 노드가 전송을 수신하도록 전체 네트워크에 전파



통신 방식

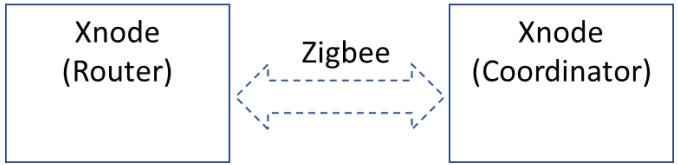
- Unicast transmissions
  - unicast 전송은 한 소스 장치에서 다른 대상 장치 1대로 전송
  - 대상 장치는 소스의 바로 이웃이거나 여러 홉 떨어져 있을 수 있음

데이터 송신, 수신

준비물

준비물	
1	PC 1ea
2	XNode 2ea
3	Micro type USB cable 1ea

예제 구성



데이터 송신, 수신

- XNode 설정
  - 데이터 송신, 수신을 하기 위해 1개의 Router와 1개의 Coordinator 필요
  - Xnode2개를 다음과 같이 설정 후 'WR'command 실행

Command	Coordinator	Router
NI	'Coordinator'	'Router'
CE	0x01	0x00
ID	0x15	0x15
JV	-	0x01
Role	수신	송신

데이터 송신, 수신

- 모든설정이 완료된 후 reset버튼을 눌러 네트워크를 검색
- 코드에서는 Coordinator장치를 수신장치, Router장치를 송신장치로 사용

Coordinator

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  xnode.atcmd('NI', 'Coordinator')
04:  xnode.atcmd('CE', 0x01)
05:  xnode.atcmd('ID', 0x15)
06:  xnode.atcmd('WR')
```

Router

```
01:  from pop import xnode
02:
03:  xnode.atcmd('NI', 'Router')
04:  xnode.atcmd('CE', 0x00)
05:  xnode.atcmd('ID', 0x15)
06:  xnode.atcmd('JV', 0x01)
07:  xnode.atcmd('WR')
```

데이터 송신, 수신

- 데이터 수신(Coordinator)
  - 수신된 메시지를 receive()로 읽은 후 표준 출력 버퍼로 출력

```
01:  from pop import xnode
02:  import time
03:
04:  print("Receiving data...")
05:  print("Press CTRL+C to cancel.")
06:
07:  while True:
08:      p = xnode.receive()
09:      if p:
10:          print(p)
11:      else:
12:          time.sleep(0.5)
```

데이터 송신, 수신

- Coordinator장치에서 코드 실행
  - 0.5초 단위로 수신된 메시지가 있는지 확인하여 그 결과에 따라 terminal에 출력

```
Receiving data...
Press CTRL+C to cancel.
{'profile': 49413, 'dest_ep': 232, 'broadcast': True, 'sender_nwk': 25611, 'source
_ep': 232, 'payload': b'hello', 'sender_eui64': b'\x00\x13\xa2\x00A\xae\\\x90', 'c
luster': 17}
```

데이터 송신, 수신

- 데이터 송신(Router)
  - Broadcast로 데이터를 송신하는 코드
  - xnode.transmit()의 첫번째 인자에 xnode.ADDR_BROADCAST 전달
  - Broadcast로 데이터 송신

```
01:     from pop import xnode
02:     msg = "hello"
03:
04:     print("Sending msg, "to Broadcast")
05:     xnode.transmit(xnode.ADDR_BROADCAST, msg)
06:     print("complete")
```

데이터 송신, 수신

- Router 장치에서 코드 실행
  - 네트워크내의 모든 모듈에게 'hello' 메시지 전송
  - terminal에서 출력 확인

```
Sending msg :  hello to Broadcast
complete
```

- Coordinaotr 장치에서 수신된 메시지

```
{'profile': 49413, 'dest_ep': 232, 'broadcast': True, 'sender_nwk': 25611, 'source
_ep': 232, 'payload': b'hello', 'sender_eui64': b'\x00\x13\xa2\x00A\xae\\\x90', 'c
luster': 17}
```

데이터 송신, 수신

- 데이터 송신(unicast)
  - xnode.transmit()의 첫번째 인자에 xnode.ADDR_COORDINATOR 전달
  - Coordinator에게만 데이터 송신 가능

```
01:     from pop import xnode
02:     msg = "hello"
03:
04:     print("Sending msg : ", msg, "to Coordinator")
05:     xnode.transmit(xnode.ADDR_COORDINATOR,msg)
06:     print("complete")
```

데이터 송신, 수신

- Router 장치에서 코드를 실행
  - 네트워크내의 Coordinator에게 'hello'를 전송
  - terminal에서는 출력 확인

```
Sending msg :  hello to Coordinator
complete
```

- Coordinator 장치에서 수신된 메시지

```
{'profile': 49413, 'dest_ep': 232, 'broadcast': True, 'sender_nwk': 25611, 'source
_ep': 232, 'payload': b'hello', 'sender_eui64': b'\x00\x13\xa2\x00A\xae\\\x90', 'c
luster': 17}
```

데이터 송신, 수신

- 데이터 송신(unicast)
  - discover()로 검색된 장치에게 transmit()로 'hello'전송

```
01:  from pop import xnode
02:  msg = "hello"
03:
04:  print("Discovering network devices...\n")
05:
06:  for device in xnode.discover():
07:      addr = device['sender_eui64']
08:      node_id = device['node_id']
09:      print("Sending msg : ", msg, "to", node_id)
10:      xnode.transmit(addr, msg)
11:      print("complete")
```

데이터 송신, 수신

- Router 장치에서 코드를 실행
  - 네트워크내의 검색된 모듈에게 'hello'를 전송
  - terminal에서는 출력 확인

```
Discovering network devices...

Sending msg :  hello to Coordinator
complete
```

- Coordinator 장치에서 수신된 메시지

```
{'profile': 49413, 'dest_ep': 232, 'broadcast': False, 'sender_nwk': 25611, 'sourc
e_ep': 232, 'payload': b'hello', 'sender_eui64': b'\x00\x13\xa2\x00A\xae\\\x90', '
cluster': 17}
```

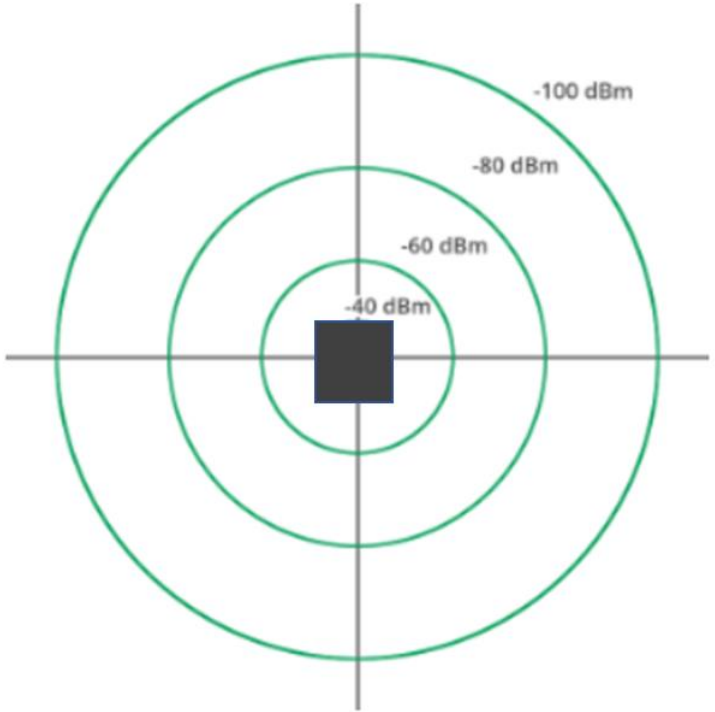
데이터 송신, 수신

- 송신, 수신 power
  - 전력소모량
    - 센서 네트워크를 구현할 때 고려 해야 할 점
    - Battery로 운용이 가능해야 하므로 제한적인 Power를 효율적으로 사용 필요
  - XNode는 통신의 송신 세기를 설정('PL')하여 효율적인 Battery 운영 가능

데이터 송신, 수신

- 수신 신호 강도 표시기 (RSSI)
  - 무선 신호에 존재하는 전력량 측정
  - 안테나에서 수신된 신호 강도의 대략적인 값
  - 수신 안테나에서 신호 강도를 측정하는 것은 통신 링크의 품질을 결정하는 한 가지 방법
  - 송신기와 수신기 거리가 가까울 수록 수신 안테나의 신호 강도 증가
  - 송신기가 멀어지면 수신 안테나의 신호 강도 감소
  - RSSI는 dBm 단위로 측정. 더 큰 음수 값 (dBm) 은 더 약한 신호 의미
    - -50dBm이 -60dBm보다 높은 신호 강도
  - RSSI는 안테나 포트에서 감지된 RF 에너지 표시

데이터 송신, 수신



데이터 송신, 수신

- Tx Power변경에 따른 수신강도 변화를 측정하는 예제
  - 예제를 위해서는 2개의 XNode가 필요하고 동일한 네트워크에 접속된 장치 필요
  - 2개의 XNode를 다음과 같이 설정

Command	Coordinator	Router
CE	0x01	0x00
ID	0x15	0x15
JV	-	0x01

데이터 송신, 수신

- 아래의 코드는 Tx Power를 지정된 시간마다 변경하는 코드
- 'PL'값을 0x00~0x04로 변경. 변경할 때 NI값을 변경하여 현재의 PL값을 확인

```
01:     from pop import xnode
02:     import time
03:
04:     pl = 0x00
05:
06:     while True:
07:         if pl <= 0x04:
08:             msg = 'PL' + str(pl)
09:             xnode.atcmd('PL',pl)
10:             xnode.atcmd('NI',msg)
11:             print(msg)
12:             pl += 0x01
13:             time.sleep(15)
14:         else:
15:             pl = 0x00
```

데이터 송신, 수신

- XNode(Router) 장치에서 코드를 실행
  - 현재 설정된 msg값에 의해 설정된 PL값을 확인

```
PL : 0
PL : 1
PL : 2
PL : 3
PL : 4
```

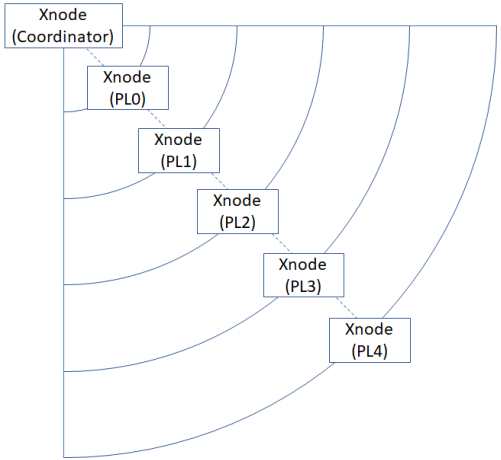
데이터 송신, 수신

- 지속적으로 네트워크에 속한 장치 검색
- 검색된 장치의 NI와 rssi, 그리고 'DB' 확인

```
01:     from pop import xnode
02:
03:     while True:
04:         try:
05:             for device in xnode.discover():
06:                 print("NI : ", device['node_id'], ", rssi : ",device['rssi'],", DB : ", xnode.atcmd('DB'))
07:         except:
08:             pass
```

데이터 송신, 수신

- XNode(Coordinator) 장치에서 코드를 실행 (XNode(Router) 동작 중)
  - 결과를 확인
  - 두 장치간에 거리가 멀어질수록 높은 'PL'이 설정된 경우에만 검색 가능




```
NI :  PL3 , rssi :  -90 , DB :  95
NI :  PL4 , rssi :  -91 , DB :  95
NI :  PL4 , rssi :  -90 , DB :  95
```