

근거리 무선 네트워크 환경에서 다수 노드의 방향 별 그룹화 및 동작 제어를 위한 연구

조성제^{*1)} · 김장훈²⁾ · 박병호³⁾

¹⁾ 덕산넵코어스 첨단기술그룹

²⁾ 코리아디펜스인더스트리 연구소 개발 2팀

³⁾ 국방기술진흥연구소 유도화력기술팀

Research on Grouping and Operation Control of Multiple Nodes by Direction in a Wireless Personal Area Network Environment

Sungje Cho^{*1)} · Janghoon Kim²⁾ · Byungho Park³⁾

¹⁾ *Advanced Technology Group, DUKSAN Navcours Co., Korea*

²⁾ *R&D Center, Korea Defense Industry Co., Korea*

³⁾ *Guided & Firepower Systems Technology Planing Team, Korea Research Institute for defense Technology Planning and Advancement, Korea*

(Received 12 August 2024 / Revised 18 October 2024 / Accepted 23 October 2024)

Abstract

This paper simulates an environment similar to the operational environment of intelligent remote control smart landmines on the battlefield and describes a method for configuring a wireless personal area network in which the control unit(Master node) wirelessly controls smart landmines(Slave nodes) and manages the separation of slave nodes from the master node. We propose a study on a method of grouping by direction using the characteristics of directional antennas without a location tracking device(e.g., GPS). The short-distance wireless network communication environment, within a maximum range of 100 meters, is designed based on the IEEE 802.15.4e standard. The signal strength of the slave nodes is collected using the directional antennas attached to the master node, and the signal strength is measured by direction(0 degrees, 90 degrees, 180 degrees, 270 degrees). The process of specifying and controlling groups by direction is described. The effects of the proposed research show improvements such as reducing the production cost of smart landmines(slave nodes) with one-time use characteristics and simplifying the overall system.

Key Words : Low-rate Wireless Personal Area Network(저속 무선 네트워크), Media Access Control(MAC), Directional Antenna(지향성 안테나), Remote Control Unit(원격 제어 장치)

* Corresponding author, E-mail: sjcho@oneduksan.com

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

지뢰는 일정 구역의 지표면이나 땅속에 설치되어 대상을 파괴하고 살상하는 목적의 무기 체계이다. 본 논문에서는 지능형 지뢰 운용 환경과 유사한 환경을 모의하여, 통제부(마스터 노드)가 지뢰(슬레이브 노드)를 무선으로 제어하는 근거리 네트워크 환경의 통신 구성 방법을 설명하고 통제부에서 지뢰들을 방향별로 그룹화하는 방법을 제안한다.

과거의 지뢰는 지표면에 설치되어 아군과 적군을 구분하지 않고 동작이 감지되면 자동으로 폭발하는 형태로 작동하였다. 그러나 현재는 기술 발전에 따라 미국의 Spider M7^[1]과 같은 원격 제어 시스템이 등장하여 사용자가 원격으로 피아를 식별하고 선택적으로 지뢰를 폭발할 수 있게 되었다. 이러한 시스템은 아군의 피해를 줄이고 적군만을 공격하는 데 유리한 기술적 이점을 제공한다. 한편, 미국의 Volcano Mine System^[2]과 영국 Alvis Stormer에 장착된 Shielder 지뢰 살포기^[3]와 같은 지뢰 살포 시스템들은 특정 방호지대에 지뢰를 대량으로 살포하는 데 중점을 두고 있다. 이 시스템들은 방대한 양의 지뢰를 빠르게 배치할 수 있지만, 살포된 지뢰의 위치가 항상 달라지기 때문에, 위치 추적 장치가 없으면 각 지뢰의 정확한 위치를 파악하기 어렵다. 특히, GPS와 같은 위치 추적 장치를 지뢰에 장착할 경우, 지뢰가 일회성으로 사용되는 특성상 비용 증가와 구조의 복잡화라는 문제점이 발생한다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 통제부(마스터 노드)와 지뢰(슬레이브 노드) 간의 근거리 무선 네트워크를 IEEE 802.15.4e^[4] 표준을 기반으로 최대 100 m 이내에서 통신할 수 있도록 설계하였다. 마스터 노드는 0도, 90도, 180도, 270도 방향으로 신호를 송신하는 4개의 지향성 안테나를 사용하여 각 방향으로 메시지를 전송하고, 슬레이브 노드들은 수신한 신호의 세기를 마스터 노드에 다시 전송한다. 마스터 노드는 수집된 SNR(신호 대 잡음비)를 기준으로 슬레이브 노드를 방향별로 그룹화한다. 이러한 방식은 일회성으로 사용되는 슬레이브 노드의 제작 비용을 줄이고, 시스템 구조를 단순화하는 동시에 운영의 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 근거리 무선 네트워크의 구조, 3장에서는 검증 및 시험, 4장에서는 시험에 대한 결론을 다룬다.

2. 근거리 무선 네트워크 구성

근거리 무선 네트워크의 MAC 구조는 IEEE 802.14e를 기반으로 본 연구를 위해 일부 항목들을 수정하여 사용하였다. IEEE 802.15.4e는 센서 네트워크나 자동화 제어 시스템에 사용되고 있는 저전력 통신을 위한 프로토콜에 대한 정의인 IEEE 802.15.4^[5] 표준에 시간 동기화, 슬롯 할당, 멀티캐스트 등의 기능을 추가하여 실시간 통신 및 저전력 네트워킹을 지원함으로써 보다 다양한 분야에서 사용하는 표준이다. 본 논문에서 언급되지 않는 부분은 통상적으로 IEEE 802.15.4e 내용을 준용하고 수정된 내용에 대하여 간소화하여 설명하였다^[6].

2.1 MAC

2.1.1 DSME 기반의 멀티 슈퍼 프레임

IEEE 802.15.4e의 DSME(Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension) 모드는 기존 IEEE 802.15.4와 동일한 슈퍼프레임 구조를 가지고 왔지만 비활성화 구간이 생략된 복수 개의 슈퍼프레임을 묶어 하나의 멀티 슈퍼프레임 구조를 형성한다. 이 구조는 모드는 실시간 통신과 효율적인 네트워크 관리를 위해 설계되었으며, 주요 장점은 다음과 같다:

- 저전력 및 고효율
 - DSME는 슬레이브 노드의 전력 소비를 줄이고, 동기화된 통신을 통해 네트워크의 효율성을 높임
- GTS(Guaranteed Time Slot)
 - 각 노드가 데이터를 충돌 없이 전송할 수 있도록 슬롯을 할당해 실시간 데이터를 전달
- 채널 다이버시티
 - 여러 채널을 통해 데이터를 전송하여 혼잡한 채널을 피하고, 안정적인 통신을 유지
- 확장성
 - DSME는 네트워크가 확장되거나 슬레이브 노드가 많아져도 효과적으로 동작하며, FSK(Frequency Shift Keying) 모드와 결합하면 각 슬레이브 노드의 상태를 빠르게 스캔함

따라서 DSME 모드는 다양한 환경에서의 실시간 통신을 가능하게 하고, 많은 슬레이브 노드를 빠르게 관리하는 데 매우 유리하다.

DSME 기반의 IEEE 802.15.4에서 정의되었던 Beacon

Order(BO), Superframe Order(SO)와 함께 Multisuperframe Order(MO)라는 개념이 새롭게 추가 되었다. BO 및 SO와 MO값의 관계는 다음과 식 (1)과 같다.

$$0 \leq SO \leq MO \leq BO \leq 14, \quad (1)$$

$$MD = aBasesuperframeDuration * 2^{MO}$$

MO값에 의해서 한 주기의 비컨 인터벌 동안 몇 개의 멀티 슈퍼프레임이 반복 되는가와, 하나의 멀티 슈퍼프레임 내에 몇 개의 슈퍼프레임이 들어가는지가 결정된다.

2.1.1.1 채널 다이버시티

DSME 모드에서는 채널 적응 방식과 채널 호핑 방식의 채널 다이버시티 모드를 지원한다. 채널 적응 방식은 수신 채널 품질이 정해진 임계값보다 저하될 때, 새로운 채널로 변경하여 데이터 프레임을 주고 받는 방식이다. 즉, 채널 다이버시티 모드는 DSME의 멀티 채널 통신에서 주파수 간섭 문제를 줄이고, 통신 안정성을 보장하기 위해 사용된다.

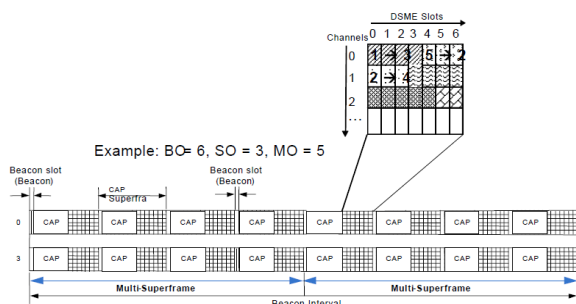


Fig. 1. Channel adaptation method in DSME-based multi-superframe

Fig. 1에서 확대된 부분은 DSME 기반 멀티슈퍼프레임의 DSME-GTS(Guaranteed Time Slot) 구간이다. 가로축 방향으로는 DSME-GTS 슬롯을 의미하며 세로축 방향으로로는 채널을 나타낸다. 슬롯 위에 나타나 있는 숫자와 화살표는 디바이스의 번호와 데이터 전송 방향을 나타내게 된다. 한 예로 2번 디바이스가 4번 디바이스에게 데이터를 전송할 때 1번 채널을 이용하여 0부터 2번 총 3개의 슬롯을 사용하게 된다. 이때 1번 채널의 상태가 임계값 보다 저하됨에 따라 채널을 변경해줘야 할 경우가 발생하게 된다. 2번 디바이스는 4

번 슬롯부터 5번 디바이스로부터 데이터를 전송 받아야 하므로 4번 슬롯이 시작하기 전에 채널 상태가 양호한 0번 채널로 바꾼 후 데이터를 전송받게 된다.

채널 호핑 방식은 미리 예약된 주파수 채널 시퀀스를 이용해 프레임 단위로 채널을 도약해 가며 통신을 하는 방법이다.

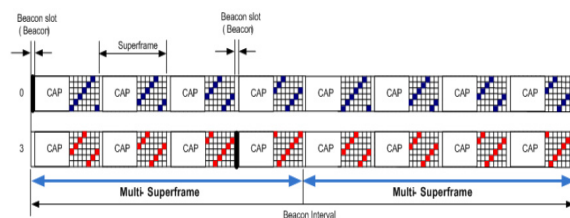


Fig. 2. Channel hopping method in DSME-based multi-superframe

Fig. 2는 채널 호핑 방식이 보인다. 채널 호핑 방식에는 채널 호핑 시퀀스와 채널 호핑 오프셋 값이 있다. 채널 호핑 시퀀스는 {1, 2, 3, 4, 5, 6}이고 채널 호핑 오프셋 값은 두 개의 디바이스가 각각 0번 디바이스는 0, 3번 디바이스는 2이다. 0번 디바이스는 호핑 오프셋이 0이므로 채널 호핑 시퀀스 그대로 채널 호핑을 진행하게 된다. 따라서 x축인 슬롯번호가 커짐에 따라 y축 채널 번호도 1번 채널부터 하나씩 증가시켜 나간다. 따라서 0번 디바이스의 채널 호핑을 (Timeslot, Channel)로 나타내게 된다면 (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5), (6, 6), (7, 1), (8, 2), (9, 3) 순으로 멀티 슈퍼프레임 내의 할당된 DSME-GTS의 최대 슬롯 수까지 진행되게 된다. 반면 3번 디바이스는 채널 호핑 오프셋이 2이므로 시작 채널이 채널 호핑 시퀀스에서 2단계 다음인 3번 채널부터 시작하게 된다. 따라서 3번 디바이스의 채널 호핑을 (Timeslot, Channel)로 나타내게 된다면 (1, 3), (2, 4), (3, 5), (4, 6), (5, 1), (6, 2) 순으로 멀티 슈퍼프레임 내의 할당된 DSME-GTS의 최대 슬롯 수까지 진행되게 된다. 따라서 DSME-GTS의 특정 인덱스 i에서의 채널 번호 C는 다음 (2)와 같이 수식으로 정의된다.

$$C(i) = \text{macHoppingSequence} \left(\frac{(i + \text{macChannelOffset} + \text{BSN})}{\text{macHoppingSequenceLength}} \right) (2)$$

여기서 macHoppingSequence[j]는 macHoppingSequence 안에서 j번째 채널 번호를 나타내며, macChanneloffset

은 수신 측 디바이스의 채널 오프셋 값을 나타낸다. 또한 `macHoppingSequenceLength`는 채널 호핑 시퀀스의 길이를 나타내며 여기서, BSN은 Beacon Sequence Number이다. 추가로 멀티슈퍼프레임 내의 DSME-GTS의 총 슬롯 수는 $7 \times 2^{(MO-SO)}$ 과 같이 계산한다.

2.1.1.2 CAP Reduction

IEEE 802.15.4e에서는 기존 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조를 여러 개 합쳐 멀티 슈퍼프레임 구조를 만들었다. 그렇기 때문에 CAP(Contention Access Period) 구간과 CFP(Contention Free Period) 구간이 연속적으로 반복되는 구조가 형성이 된다. CAP 구간에서는 제어 프레임들의 교환이 이루어지며 이때 디바이스들은 일정 시간 동안 채널을 청취해야 한다. 따라서 멀티 슈퍼프레임 구조에서 잦은 CAP 구간의 반복은 디바이스들의 전력 소모를 가중시킬 수 있다. 이에 따라 DSME 모드에서는 CAP reduction 이라는 필드를 두어 멀티 슈퍼프레임 내의 복수 개의 CAP 구간 중 첫 번째 CAP 구간만을 활성화하는 옵션을 제공하고 있다.

CAP reduction을 적용하게 되면 기존 멀티 슈퍼프레임 구조에서 처음 CAP 구간을 제외한 나머지 CAP 구간도 DSME-GTS로 대체하여 사용이 가능하다. DSME-GTS 슬롯 스케줄링을 통한 더 많은 디바이스의 QoS 확보가 가능하다는 장점이 있다. 또한 기존 구조의 단점이 될 수 있는 디바이스들의 전력 소모도 줄일 수 있는 장점 또한 생기게 된다. 다만 첫 번째 CAP 구간만을 활성화 하기 때문에 그 구간에서 DSME-GTS를 할당 받지 못한 디바이스는 다음 멀티 슈퍼프레임이 돌아올 때까지 전송 지연이 발생하게 된다는 단점이 있다. Fig. 3은 DSME 기반 멀티 슈퍼프레임에 CAP reduction이 적용된 구조를 나타낸다.

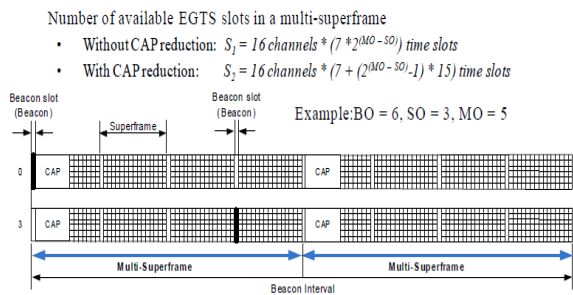
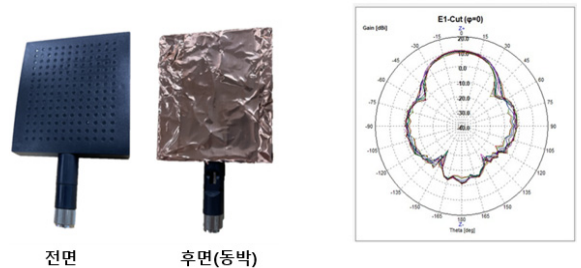


Fig. 3. CAP Reduction mode in DSME-based multi-superframe structure

3. 검증 및 시험

3.1 시험 설계

본 시험에서는 semtech 사의 SX1262^[7]라는 상용 트랜시버 모듈을 사용하여 마스터 노드와 슬레이브 노드 간의 통신을 구현하였다. 트랜시버는 송신기와 수신기의 기능을 하나로 결합한 장치로, 데이터를 송수신할 수 있는 양방향 통신이 가능한 모듈이다. SX1262는 이러한 트랜시버 역할을 수행하며, LoRa(Long Range)와 FSK 모드를 지원하여 다양한 환경에서 통신을 구현할 수 있는 유연성을 제공한다. 본 시험에서는 2절 언급한 DSME 방식으로 근거리 네트워크를 구현하였으며, SX1262 모듈에 내장된 API(Application Programming Interface)를 사용하여 SNR(Signal Noise Ratio)과 SS(Signal Strength) 데이터를 획득하였다^[8]. 이러한 데이터는 슬레이브 노드가 수신한 신호의 품질을 평가하고 마스터 노드에서 신호를 전송할 때 각 방향에서의 신호 강도를 분석 시 활용되었다.



지향성 안테나

지향성 안테나 빔 패턴

Fig. 4. Directional antenna configuration and beam pattern

또한 본 시험에서는 두 종류의 안테나를 사용하였다. 지향성 안테나는 슬레이브 노드를 그룹화하기 위해 사용되었으며, Fig. 4와 같이 지향성 빔 패턴을 지닌 상용 안테나를 활용하였다. 추가로 지향성을 최대화하기 위해 안테나 후면에 동박 테이프를 부착하여 특정 방향으로 신호가 집중되도록 구현하였다. 이는 안테나의 빔 패턴을 더욱 선명하게 만들고, 신호가 집중되는 범위를 더욱 좁혀주어 슬레이브 노드를 명확히 그룹화하는 데 기여하도록 하였다. 옴니 안테나는 그룹화 후, 마스터 노드와 슬레이브 노드 간의 통신을 유지하기 위한 용도로 사용되었다. 또한 Fig. 5과 같

이 옴니 안테나는 360도 모든 방향에 신호를 방사하는 형태로 설계되어 네트워크 내 모든 슬레이브 노드와 안정적인 통신을 보장하도록 선정하였다.

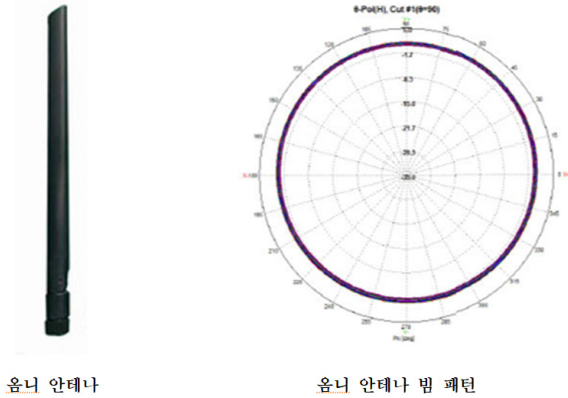


Fig. 5. Omni antenna configuration and beam pattern

마스터 노드는 Fig. 6과 같이 MCU(Micro Controller Unit, SX1262), 4개의 지향성 안테나와 RF 스위치, 옴니 안테나로 구성되며, 슬레이브 노드는 마스터 노드와 공통적으로 MCU를 포함하고 RF 모듈, 옴니 안테나를 포함하고 있다.

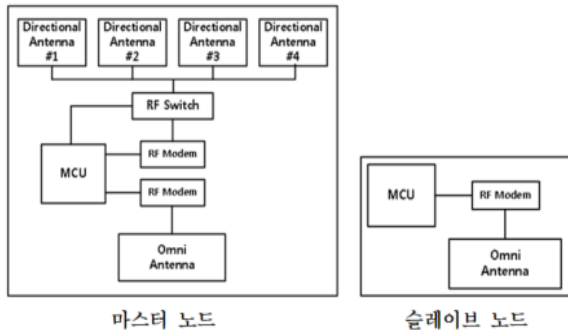


Fig. 6. Configuration of master node and slave node

근거리 무선 통신 제원은 Table 1에 나타내었다. 통신 주파수는 922.1 MHz(ISM 대역)를 사용하며, FSK 변조로 통신으로 진행하였다.

시험에서 사용된 통신 주파수의 검증을 위해 Fig. 7과 같이 검증 환경을 구성하였고, Fig. 8과 같이 주파수 대역과 FSK에 대한 Spectrum Analyzer 결과를 확인하였다.

Table 1. Specifications of short-range wireless communication

종류	설명
통신 주파수	922.1 MHz (ISM 대역)
Modem	FSK
Date rate	250 Kbps
Max Data Length	133 Bytes
MAC	IEEE 802.15.4e DSME
Channel Diversity	Channel hopping
Topology	Star, 2-hop extension
최대 노드 수	120개
최대 통신 거리	100 m

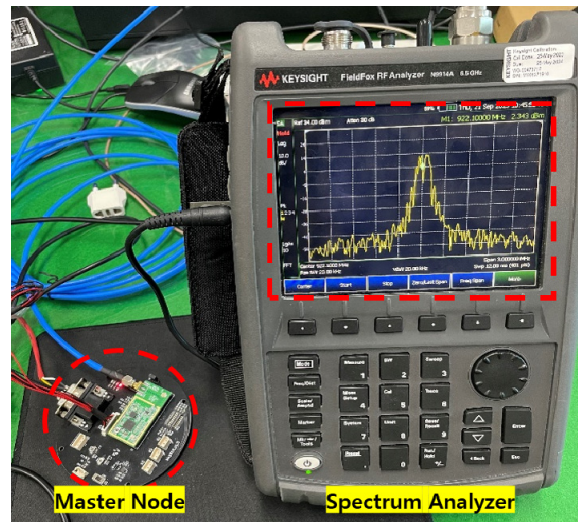


Fig. 7. Master node frequency measurement experimental setup

FSK는 데이터 전송 속도가 빠르고, 동시에 다수의 노드를 관리하는 데 적합한 방식이다. 특히 대규모 네트워크에서 빠르고 효율적인 데이터 통신이 필요할 때 유리하다. FSK는 노이즈 저항성이 상대적으로 낮아 SNR 성능이 떨어질 수 있지만, 빠른 데이터 전송 속도 덕분에 이러한 단점을 보완할 수 있다. 이러한 이유로 본 시험에서는 FSK 모드를 사용하였다. 이를 통해 SX1262 모듈은 빠른 응답성과 데이터 처리 성능

을 제공하며, 다수의 슬레이브 노드를 5초 이내에 스캔할 수 있는 성능을 보장할 수 있었다. 시험에서는 9대의 슬레이브 노드를 사용하여 진행되었으나, FSK 모드의 확장성으로 인해 최대 120대 이상의 슬레이브 노드도 효율적으로 관리할 수 있도록 근거리 무선 통신을 설계하였다.

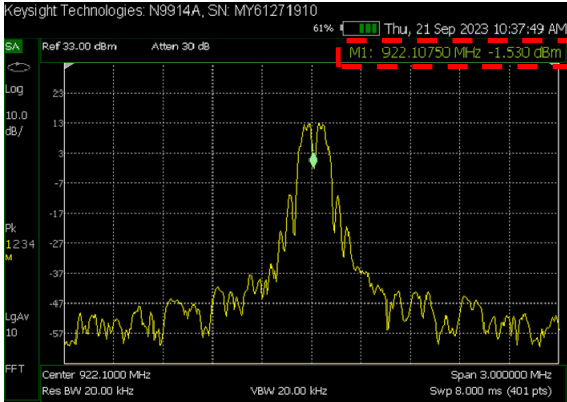


Fig. 8. Master node frequency measurement experimental results

3.2 SNR 측정 시험

본 시험에서는 SX1262 트랜시버 모듈에서 API 함수를 이용하여 마스터 노드와 슬레이브 노드 간의 SNR을 측정하였다. 특히 유선 환경과 무선 환경에서의 SNR 값 차이를 분석하여 무선 통신 시 발생하는 신호 손실에 대해 정량적으로 검증하였다. 본 시험에서는 Fig. 7과 같이 실내에서 마스터 노드와 슬레이브 노드 간의 유선 RF 케이블 및 안테나를 번갈아 연결하여 SNR 측정을 수행하였다.

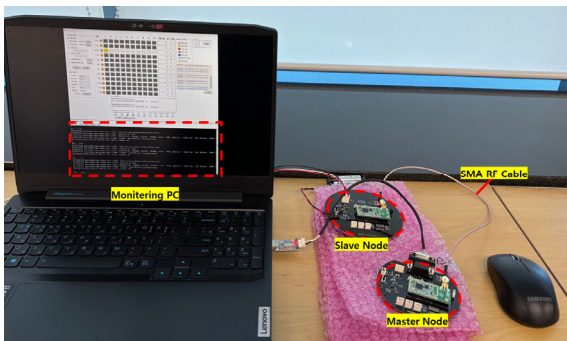


Fig. 9. SNR measurement experiment

실험 결과, 마스터 노드와 슬레이브 노드 간에 SNR을 10회 이상 측정하여 평균을 계산한 결과 약 0 dB의 SNR이 측정되었다. 이는 두 노드에서 동일한 SX1262 트랜시버 모듈을 사용하였으며, 외부 간섭이 없는 이상적인 조건에서 유선 연결을 통해 수행된 실험에서 나타난 결과로 송신 신호와 잡음의 세기가 균형을 이루었음을 의미한다. 그러나 이러한 측정값은 실험 환경에 국한된 것으로, 실제 외부 환경에서는 다양한 요인으로 인해 SNR 값이 달라질 수 있다. 따라서 이러한 0 dB의 측정 값은 신호와 잡음의 파워가 동등하게 수신되었다는 추정에 불과하며, 외부 환경에서 발생할 수 있는 신호 손실이나 다른 잡음의 영향을 고려하지 않은 것이다. 무선 환경으로 전환하여 안테나를 통한 신호 송수신을 진행한 결과, 10회 평균 SNR은 약 -13 dB로 측정되었다. 이는 무선 환경에서 신호 감쇠가 발생했음을 보여주며, 안테나 및 외부 환경에 의한 신호 손실이 존재한다는 점을 반영한 것이다. 추가로 안테나를 이용한 실내 무선 환경에서는 마스터 노드와 슬레이브 노드 사이의 거리가 멀어질수록 SNR 값은 더 낮아지는 것을 확인하였으나 실내 시험에서의 복잡한 전자기 간섭과 반사 조건 및 실내 거리 제약으로 인해 신뢰할 수 없는 결과가 도출될 가능성을 고려하여 신호 측정을 3.3절과 같이 실외의 평활한 환경을 선정하여 추가적인 시험을 진행하였다.

3.3 지향성 안테나 단위 성능 측정 시험 및 결과

본 시험에서는 지향성 안테나의 성능을 측정하기 위해, 1대의 마스터 노드와 1대의 슬레이브 노드를 사용하여 대전광역시 대덕구 문평동 인근 갑천 야구장 시험을 진행하였다. 시험 구간은 Fig. 10과 같이 마스터 노드의 지향성 안테나 방사 패턴에 따라 거리별로 A, B, C, D 구간으로 설정되었으며, 구간 밖의 영역을 E 구간으로 설정하였다. 시험은 마스터 노드의 지향성 안테나에서 송신된 신호가 A~D 구간과 E 구간(점선 이외 포함)의 SNR이 측정하여 지향성 안테나의 해당 방향의 그룹화를 위한 적절한 임계치를 설정하기 위해 진행하였다. 시험은 각 A~D 구간별로 10회씩 자유롭게 구간 내에서 슬레이브 노드를 이동 후 수신하면서 마스터 노드의 메시지 신호를 슬레이브 노드가 수신하여 그에 대한 SNR 값을 기록하였다. E 구간 및 그 외 점선 밖의 구간은 임의로 약 30회 이상 측정된 값을 도출하였다. 이를 통해, SNR 값이 구간마다 어떻게 변화하는지에 대한 데이터를 수집할 수 있

었다. 이를 통해 지향성 안테나의 방사 패턴 및 거리에 따른 신호 세기 변화를 분석하였다.

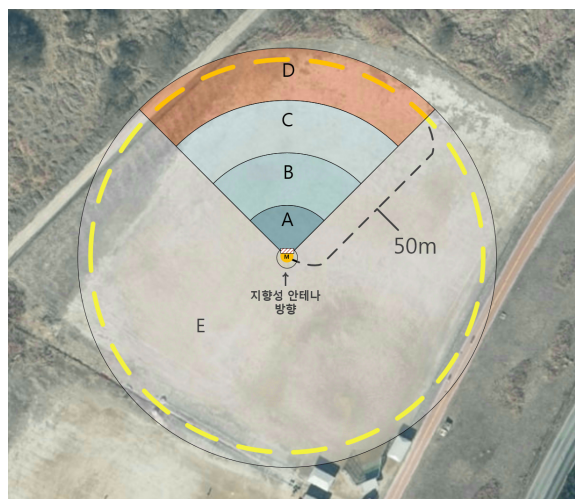


Fig. 10. Signal reception experiment based on distance between master node and slave node

Table 2. SNR measurement data by region

구간	슬레이브 노드에서 측정된 신호 대 잡음 비(SNR, dB) 평균
A	-24.43
B	-59.3
C	-75.36
D	-78.72
E	-84.27 이상

그 결과 Table 2와 같이 구간별로 측정 데이터를 획득하였고 D 구간에서 측정된 SNR 평균값인 -78.72을 각 방향에 대한 지향성 안테나의 그룹화를 위한 임계값으로 설정하였다.

3.4 그룹화 성능 시험 및 결과

3.3절에서 측정한 지향성 안테나의 성능을 바탕으로, 동일한 위치에서 0도, 90도, 180도, 270도 네 방향으로 안테나를 구성한 후 그룹화 시험을 Fig. 11과 같은 순서로 구성하여 진행되었다. 마스터 노드와 슬레이브 노드에 공통으로 장착된 옴니 안테나를 통해 마

스터 노드와 슬레이브 노드의 근거리 네트워크 구성을 완료한 후, 마스터 노드는 현재 네트워크에 존재하는 모든 슬레이브 노드들의 ID를 파악한다. 이후 마스터 노드는 지향성 안테나를 통해 각 0도, 90도, 180도, 270도 방향으로 신호를 전송하고, 각 슬레이브 노드들은 이를 수신하여 총 10회 슬레이브 노드 ID와 함께 SNR 값을 마스터 노드에 전달한다.

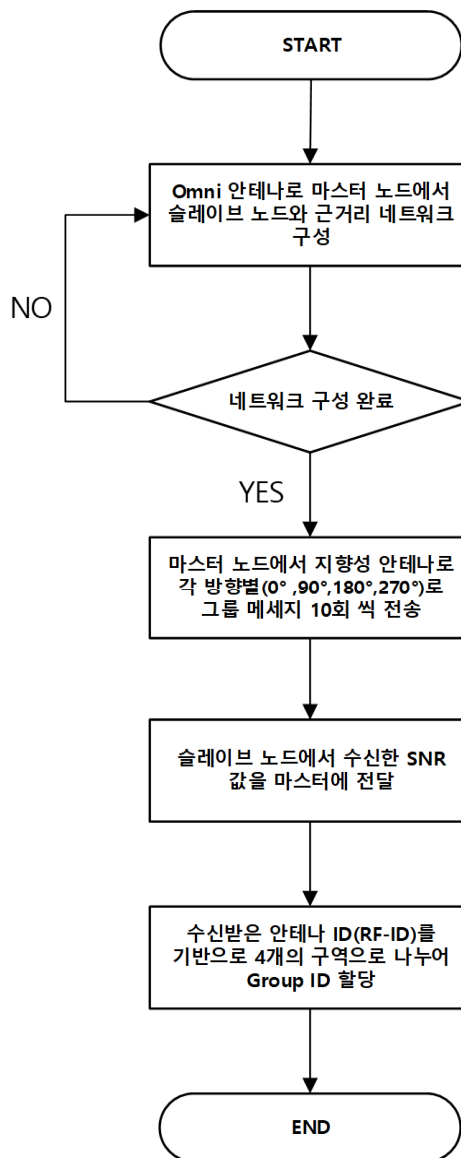


Fig. 11. Flowchart of grouping process between master node and slave node

슬레이브 노드에서 일회성의 SNR 값보다 측정된 총 10회 누적된 SNR의 평균값으로 그룹화에 대한 의미있는 데이터로 판단하였고, D 구간에서 측정된 SNR 평균값인 -78.72를 기준으로 그 이상의 수치를 가진 SNR을 가진 슬레이브 노드에 대하여 같은 그룹으로 지정하도록 설계하였다. 마스터 노드는 각 슬레이브 노드에서 수신한 SNR 값을 슬레이브 노드의 ID별로 취합하여, 각 지향성 안테나의 방향별로 슬레이브의 그룹을 지정하는 방식으로 시험을 진행하였다. Fig. 12와 같이 슬레이브를 임의의 장소에 배치를 한 후 마스터 노드는 0도, 90도, 180도, 270도의 네 방향으로 신호를 송신하였으며, 각 슬레이브 노드는 수신한 신호의 SNR 값을 마스터 노드에 다시 전송하였다. 마스터 노드는 이러한 수신 데이터를 바탕으로 슬레이브 노드를 다음과 같이 각 방향 그룹에 할당하였다.

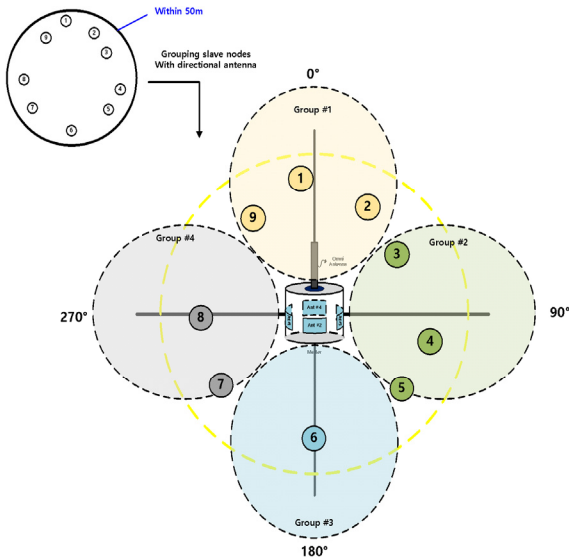


Fig. 12. Grouping process between master node and slave node

이번 시험에서 Table 3과 같이 SNR 값의 10회 누적 평균값에 기반하여 슬레이브 노드를 그룹화한 결과, 대부분의 노드가 방향별로 그룹화(검정 음영 부분)되었으나, 경계에 위치한 일부 노드에 대해서는 그룹화가 불명확하게 이루어지는 사례가 발생하였다. 5번 슬레이브 노드는 90도와 180도의 경계에 위치하여 180도에서는 -77 dB, 90도에서는 -75 dB로 측정되었으나 두 값 모두 3.2에서 임계값으로 설정한 -78.72 dB를

보다 낮아, 이 경우에는 더 낮은 SNR 값을 기준으로 그룹을 지정하였다. 이 사례로 경계에 위치한 노드의 그룹화 과정에서 SNR 값만으로 그룹을 구분하는 방식은 한계가 있음을 확인하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 SNR 값 이외에도 다양한 변수들을 고려한 그룹화 알고리즘의 개선이 필요하다.

Table 3. Grouping measurement results

		슬레이브 노드에서 측정된 신호 대 잡음 비(SNR, dB)								
슬레이브 ID 안테나방향	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	0도	-72	-68	-84	-93	-95	-94	-98	-92	-73
90도	-91	-90	-73	-69	-75	-93	-91	-88	-93	
180도	-83	-88	-93	-90	-77	-66	-80	-91	-92	
270도	-93	-90	-93	-88	-89	-80	-72	-62	-83	

또한, 본 시험에서 사용된 알고리즘은 특정 시험 환경과 안테나 성능에 맞추어 설계된 것으로, 다른 시험 장소나 환경에서는 추가적인 수정이 필요할 수 있어, 시험 장소 및 환경에 의존하지 않는 보다 범용적인 그룹화 방식을 연구할 필요가 있다. 이를 통해 지향성 안테나를 커스터마이징하여 신호 집중도를 높이고, 경계에서의 불명확한 그룹화 문제를 해결할 수 있는 가능성을 제시할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 원격으로 슬레이브 노드를 제어하는 근거리 네트워크 환경에서 반경 50 m 이내의 슬레이브 노드를 별도의 내장된 위치 추적 장치 없이 방향별로 그룹화하는 동작을 제어하기 위한 연구를 진행하였다. 본 연구의 기대하는 효과로는 다음과 같다.

- 근거리 네트워크 적용
 - 근거리 네트워크 및 안테나 방향성을 이용하여 유사 네트워크 적용 가능(실내, 실외)
- 개발 원가 절감 효과
 - 별도의 위치 추적 소자 및 장비 불필요

- 적의 위치에 따라 지뢰의 방향별로 제어 가능하므로 불필요한 지뢰 소모 감소
- 시스템 구조 단순화
 - 시스템 개발 및 하드웨어 설계 단순화

본 시험에서 사용된 지향성 안테나는 상용 안테나에 동박 테이프를 부착하여 신호를 90도 간격으로 방사하도록 설계되었다. 이를 통해 그룹화 시험을 모의로 진행하였으며, 시험 결과 대다수의 슬레이브 노드가 적절하게 그룹화된 것을 확인할 수 있었다. 하지만, SNR 값을 기준으로 그룹화할 때 두 지향성 안테나 경계에 위치한 슬레이브 노드에서 모호한 결과도 발생할 수 있음을 발견하였다. 이러한 경계 문제는 그룹화 알고리즘의 개선 및 안테나 커스터마이징을 통해 성능을 더 향상시킬 필요가 있다.

본 논문에서 다룬 시스템에서는 마스터 노드에 네 개의 지향성 안테나를 사용하여 각 방향(0도, 90도, 180도, 270도)으로 신호를 전송하고 있지만, 팬틸트(Pan-Tilt) 기능을 도입하면 하나의 지향성 안테나로도 동일한 효과를 구현할 수 있다. 팬틸트 기능을 통해 안테나가 자동으로 특정 방향으로 회전하며 각 방향으로 신호를 전송할 수 있도록 하여, 네 개의 고정된 안테나 대신 하나의 안테나로도 효율적인 그룹화와 통신을 구현할 수 있다. 이 방법은 하드웨어의 복잡성을 줄이고 비용을 절감할 수 있으며, 안테나를 기계적으로 회전시켜 각 방향으로 신호를 전송하기 때문에 동일한 성능을 유지하면서도 전체 시스템을 간소화하는데 기여할 수 있다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRIT-CT-21-016, 다중 살포 통제 기술)

References

- [1] AMERICA'S ARMY: THE STRENGTH OF THE NATION, "WEAPON SYSTEMS 2011," <https://man.fas.org/dod-101/sys/land/wsh2011/wsh2011.pdf>, pp. 296-297, 2011.
- [2] Strona Global Security, Volcano Mine system, <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/volcano.htm>
- [3] Strona Military Today, Shielder. Mine laying vehicle, <http://www.military-today.com/engineering/shielder.htm>
- [4] IEEE Std., 802.15.4e-2012, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LRWPANs) Amendment 1: MAC sublayer," 2012.
- [5] IEEE Std., 802.15.4-2006, "IEEE Standard for Information technology, Local and metropolitan area networks, Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs)," 2006.
- [6] W. Jeong, et al., "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4e DSME MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," The First IEEE Workshop on Enabling Technologies for Smartphone and Internet of Things (ETSIoT), pp. 7-12, 2012.
- [7] Semtech Corporation, "SX1262 Datasheet - Low Power Long Range Transceiver," Semtech Corporation, <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1262#documentation>
- [8] H. Kim, et al., "Transmit Power Control with an Accurate SNR Measurement in M-ary/SS Scheme for DS/CDMA Systems," IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol. 58, pp. 1105-1112, 2010.