creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000263910

2013년8월
석사학위논문

IEEE 802.15.4 기반 모바일 센서 네트워크에서 빠른 연결 설정 기법

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

최 연 상

2013년 8월 석사학위논문

IEEE 802.15.4 기반 모바일 센서 네트워크에서 빠른 연결 기법

최 연 상

IEEE 802.15.4 기반 모바일 센서 네트워크에서 빠른 연결 기법

Fast Association Supporting Mobility Over IEEE 802.15.4 based Mobile Sensor Network

2013년 8월 23일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

최 연 상

IEEE 802.15.4 기반 모바일 센서 네트워크에서 빠른 연결 기법

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2013년 8월 23일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

최 연 상

최연상의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한 승 조

위 원 조선대학교 교수 변 재 영

위 원 조선대학교 교수 권 구 락

2013년 8월 23일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

표 목 차 iii
그 림 목 차 iv
ABSTRACT v

Ⅰ. 서 론 1
A. 연구의 배경 및 목적 1
B. 연구의 목표 2
C. 논문의 구성 3

Ⅱ. 기존의 무선 센서 네트워크 연구 4
A. Wireless Personal Area Network (WPAN) 4
B. Wireless Sensor Network (WSN) 8
C. IEEE 802.15.4 MAC 구성 요소 12
D. IEEE 802.15.4의 비콘 모드 14
E. Wireless Mobile Sensor Network (WMSN) 18
F. WNSN 센서노드 이동성 관련 연구 19

Ⅲ. WMSN에서 이동성 지원을 위한 연결 설정 22

Ⅳ. 실험 및 분석 26

A. PAN의 초기화 26
B. 연결 27
C. 시뮬레이션 27
D. 네트워크 연결 시간 29
E. 네트워크 연결 성공률 31
F. 패킷 전송 비율 및 처리량 32

V. 결론 및 향후 연구 과제 36

참고문헌 37

표 목 차

표 1. IEEE 802.15.4의 문제점 ····· 5
표 2. 연결에 따른 소모된 총 시간 ····· 28
표 3. 네트워크 매개변수 값 ····· 30

그 림 목 차

그림1. 802.11과 802.15의 전파 범위와 데이터 처리율 ····· 4
그림2. Wireless Sensor Network (WSN)의 동작 개념도 ····· 8
그림3. S-MAC의 동작 방식 ····· 9
그림4. RTS, CTS 동작 방식 ····· 10
그림5. T-MAC의 동작 방식 ····· 11
그림6. 전송 데이터가 존재할 때의 TEEM 프로토콜 동작 방식 ····· 11
그림7. 전송 데이터가 없을 때의 TEEM 프로토콜 동작 방식 ····· 12
그림8. superfame의 구조 ····· 13
그림9. IEEE 802.15.4의 비콘 가능 채널 변환 메커니즘 ····· 15
그림10. IEEE 802.15.4에서 연결 메시지 교환 ····· 16
그림11. Orphan 스캔의 메커니즘 ····· 17
그림12. Wireless Mobile Sensor Network (WMSN) 구상도 ····· 18
그림13. 제안하는 DBC 방식의 채널 변환 메커니즘 ····· 22
그림14. 제안하는 DBC의 수동 스캔 방식 ····· 23
그림15. IEEE 802.15.4의 비콘 프레임 수정 ····· 24
그림16. 여러 PAN들의 채널 공존 ····· 24
그림17. IEEE 802.15.4의 연결 지속시간을 향상시키는 DBC ····· 28
그림18. NS-2 시뮬레이션에서의 네트워크 토폴로지 ····· 29
그림19. 각각의 비콘 간격에 따른 연결에 소모된 총 시간 ····· 31
그림20. 다른 비콘 간격을 적용한 연결에 필요한 에너지 요구량 ····· 32
그림21. 노드 속도에 따른 연결 성공률 ····· 33
그림22. PDR 도출을 위한 DBC와 IEEE802.15.4 가변 속도 적용 처리량 ····· 34
그림23. BO = 3, 이동성 1m/s, 데이터양 2Kbps에 대란 처리량 그래프 ····· 35

ABSTRACT

Fast Association Supporting Mobility Over IEEE 802.15.4 based Beacon Enable Network

Choi Yeon-Sang
Advisor : Prof. Pyun, Jae-Young, Ph.D.
Department of Information Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

IEEE 802.15.4 is designed mainly for static low duty cycle wireless personal area network and its capability to support mobility has not been extensively explored yet.

It is observed that the amount of time required for the association process is the key reason for making IEEE 802.15.4 unable to handle mobility. In a beacon-enabled network such as IEEE 802.15.4, mobile node can only learn about the existence of any neighbor by listening to their beacons. Nevertheless, as neither the channel on which the neighbor operates nor its frequency of beaconing are known, nodes have to scan each and every available channels, which can take from few to several seconds depending on the beacon interval. In this thesis, a new fast association technique is proposed which deprive nodes from scanning multiple channels. In our proposed scheme, by scanning just a single channel, node is able to learn about all the coordinators working in different channels. The proposed single channel scan scheme is able to decrease the association time of IEEE 802.15.4 operation in 2.4 GHz by 32 times. Experiment results have verified that the proposed scheme works well in the mobile environment.

I. 서 론

A. 연구의 배경 및 목적

현재 전 세계적으로 생활과 개인의 건강을 접목시킨 U-헬스케어 (Ubiquitous Health Care - 유비쿼터스와 원격의료 기술을 활용한 건강관리 서비스) 산업의 성장이 두드러지게 약진되고 있으며, 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. U-헬스케어의 특징은 시간과 공간의 제한 없이 의료 서비스를 제공받을 수 있다는 것이다. 관련 적용 분야로는 무선 체온 측정, 낙상 감지, 환자의 동선 파악 및 개인의 신체 정보를 주기적으로 서버로 전송하는 건강 의료 시스템 등이 있다 [1]. 하지만 통신 방식 자체가 무선 영역을 이용하기 때문에, 센서의 배터리 수명과 함께 데이터의 정확도 및 지연 시간이 가장 민감한 사항으로 여겨지고 있다. 센서의 특성상 이동성이 강하고, 전파 범위가 제한적이기 때문에 보다 안정적인 무선 통신을 위한 모바일 센서 네트워크 기술이 필요하다.

IEEE 802.15.4의 표준 기술은 개인통신망 (Wireless Personal Area Network)의 네트워크 계층을 제공하기 위해서 만들어진 프로토콜이다 [2]. WPAN의 경우에는 이동성 통합하는 것이 가장 바람직한 방법이기 때문에 새로운 연구가 진행되고 있다. WPAN은 낮은 에너지 소모와 저비용, 저속도, 작은 크기로 인해서 현재 광범위하게 사용되어지고 있으며, 유비쿼터스 통신 방식을 지향하고 있다. 네트워크상에서 복잡하게 인프라 구축 없이도, 근거리 통신 (10m) 방식을 이용하여 적은 비용으로 통신을 할 수 있다. 기본 통신 동작은 10m의 내의 거리에서 250 Kbps를 이용한다는 전제 조건이 붙는다. 대표적인 무선 주파수 대역은 2.5GHz 대역이며, 868 MHz와 915 MHz 대역도 있다. 하지만 QoS가 필수적인 무선 네트워크에서 제한된 대역폭에 대한 확장이 요구되었고, 무선 네트워크의 혼잡도가 증가하고 상대적으로 전송 속도의 감소가 유발되었다. 이러한 혼잡도를 개선하기 위하여 Medium Access Control (MAC) 프로토콜에 대한 연구 및 개발이 진행되었다.

기본적인 MAC 프로토콜의 정의는 공통된 데이터를 전송하기 위하여 채널을 공유하는 각 네트워크상의 디바이스들이 데이터를 전송할 때 전송 데이터의 손실을 피하고 효과적인 송신 및 수신을 수행하기 위해 사용되는 방법이다. OSI 7 Layer의 데이터

연결 계층의 일부분으로써 사용하는 채널이 동일하고, 여러 디바이스가 공유하는 특성상 존재하는 LAN의 고유 계층이다.

대표적인 MAC 프로토콜의 종류는 S-MAC (Sensor-MAC), T-MAC (Timeout-MAC), TEEM (Traffic aware Energy Efficient MAC)이 있다. S-MAC은 센서 디바이스의 대부분의 시간을 idle 상태로 유지시키며, 동작 상태와 휴면 모드로 나뉜다. 동작 상태일 때 센서 디바이스는 데이터 통신을 하며, 휴면 모드일 때는 RF 전력을 차단하여 에너지 소모를 막는다. T-MAC의 경우에는 임계값을 정하여 동작하며, 센서 디바이스는 다양한 활성 시간을 갖는다. 다른 디바이스에서 데이터가 전송되지 않으면 휴면 모드로 전환한다. TEEM의 경우 RTS와 SYNC (동기화 신호)를 합하여 $SYNC_{rts}$ 사용하여 제어 패킷의 수를 줄이는 MAC 프로토콜이다.

위에서 언급한 기술들을 모두 접합시켜 사용되는 무선 통신 방식이 바로 Wireless Sensor Network (WSN)이다. 여기에 추가적으로 센서 노드의 이동성을 고려하여 통신하는 방식이 바로 Wireless Mobile Sensor Network (WMSN)이다. RADAR의 경우 위치 측정 장치를 이용하지 않고도 무선 통신을 위해 Wireless Local Area Network (WLAN)를 이용하여 구축된 환경에서 무선 랜 카드나 Access Point (AP)를 통해 Received Signal Strength Indicator (RSSI)를 사용하여 거리를 계산하는 측정 방식으로써 이동성을 가진 센서 노드가 이동할 때 RF 신호의 세기를 이용하여 거리를 계산하는 방식이다 [3]. 센서 노드가 고정설치 되지 않고, 끊임없이 이동을 하면서 데이터 정보를 취합하여 주변의 센서 노드에게 전송을 하는 환경에서는 이동성이 우선적으로 보장이 되어야하며, 효율적인 데이터 패킷을 서로 주고받기 위하여 지원 가능한 MAC 프로토콜이 필요하다. 하지만 현재까지 MAC이 지원되지 않고 있기 때문에, 이를 보완하기 위한 프로토콜 연구가 시급한 상태이다. 특히 센서 노드가 PAN 영역에 연결할 때 문제가 발생하게 되어 지연 시간이 증가하게 되고, 지연 시간만큼 배터리 수명이 단축되고, 이로 인하여 통신이 제대로 이루어지지 않는 문제가 발생한다. 그러므로 이를 해결하기 위한 개선책이 필요하다.

B. 연구의 목표

본 논문에서는 기존의 무선 통신 연결이 비콘 프레임을 이용하여 디바이스들 간의 데이터 전송 및 수신시에 소모되는 배터리 소모를 줄이고, 수신 성공률을 높이고자

IEEE 802.15.4의 무선 하드웨어 채널 전환기능을 이용한 비콘 채널 (Beacon Channel; BC)을 선출하여 다수의 센서 디바이스간의 데이터 전송에 필요한 대기 시간의 소모를 줄여 디바이스의 생존 시간을 증대시키고, 데이터 전송 성공률이 낮은 모바일 센서 네트워크의 특성에서 벗어나 송신률과 수신률을 높이고자 한다. 무선 통신 환경의 불안정한 무선 네트워크의 환경을 극복하고자 보다 안정화 시키는 알고리즘을 제시하여 데이터의 정확도와 신뢰성을 가지면서도 전송 에너지 소모에 보다 효율적인 방식을 제시한다. 본 논문에서는 모바일 센서 노드가 주변의 연결 가능한 코디네이터를 발견하였을 때 기존 방식보다 보다 높은 패킷 전송 성공률과 함께 연결 대기 시간 및 지연에 따른 시간 감소 문제를 개선하고자 한다. 제안하는 Dedicated Beacon Channel (DBC)는 하나의 채널을 선출하여 비콘 채널 정보를 데이터 채널에서 이동하여 얻고 다시 자신의 채널로 돌아가서 데이터를 처리하는 방식으로 구성되어져 있으며, Ⅴ장에서 자세히 설명하도록 하겠다.

C. 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 Ⅱ장에서 무선 센서 네트워크에 관하여 배경지식과 다양한 응용 사례를 언급하며, Ⅲ장에서는 제안하는 모바일 센서 네트워크 기법에 대하여 동작 방식과 그림을 이용하여 설명 하고, Ⅳ장에서는 시뮬레이션 결과를 이용하여 개선된 점과 실험 결과를 토대로 분석을 하도록 하겠다. 마지막으로 Ⅴ장에서는 결론을 내리고 향후 연구 및 연구 방향을 언급하며 결론을 맺도록 하겠다.

II. 기존의 무선 센서 네트워크 연구

A. Wireless Personal Area Network

WPAN은 저전력으로 동작하는 근거리의 무선 네트워크를 위하여 표준으로 정의 되었으며, 하위 계층인 물리 계층 (Physical layer; PHY)과 매체 접근 제어 (MAC) 방식으로 이루어져 있다. WPAN은 저비용, 저속 통신, 적은 전력 소모로 인한 장점으로 널리 이용되어지고 있다 [4].

10미터 이내의 좁은 영역에서 사용하는 저전력, 디바이스의 소형화, 저가의 개인 무선 네트워크 기술이며, 사용 분야는 가정 및 사무실, 가전기기, 사무기기 및 마이크로 프로세서와 RF칩이 설치된 모든 정보기기를 근거리에서 인프라 구축 없이도 연결 할 수 있는 기술이다. WPAN의 목적은 움직이거나 정지 상태에서 사방으로 10미터까지의 사람의 활동 공간인 POS(Personal Operating Space) 내에서 무선 통신 네트워크에 접속을 제공할 수 있는 물리 계층과 데이터 링크 계층을 표준화 하는 것이다.

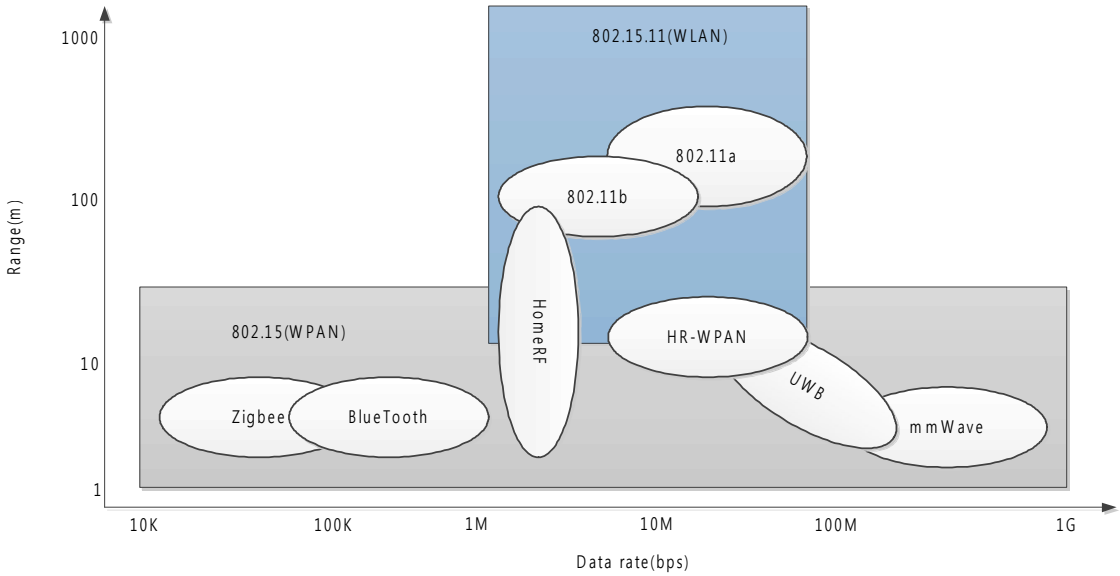

그림 1. 802.11과 802.15의 전파 범위와 데이터 처리율 [5]

그림 1은 WLAN과 WPAN을 비교하여 보여주고 있다. WLAN에 비해 상대적으로 매우 좁은 영역에서 에너지 소모가 적고, 비교적 간단한 구조로 이루어져 있으며, 소형화를 통한 이동성을 보장하고 장착이 쉬우며, 저가로 이용된다. 또한 처리 속도 측면에서 차이가 있다. 전체적으로 WLAN은 처리량에 비해 높은 전파 범위를 갖는 반면, WPAN은 넓은 영역에서 좁은 전파 범위를 갖는다.

센서 네트워크는 표1과 같은 특징이 존재한다.

표 1. IEEE 802.15.4의 문제점

문제점	문제 내용
전송 지연 시간	데이터 전송의 지연으로 인하여 네트워크에 연결된 디바이스들이 동시에 많은 고정 지연과 함께 통신 대역 보장에 한계점 노출
주파수 간섭	저전력을 이용한 단거리 통신을 기반으로 설계된 물리적 특성상 주변에 존재하는 무선기기에 의한 주파수 간섭에 취약해지게 되고 전송된 데이터의 신뢰성이 하락
Peer-to-Peer 통신	다수의 홉 네트워크를 구성 할 시 디바이스간의 동기화 문제가 발생
확장의 제한	End-to-End 지연을 보상하는데 한계점 노출

위와 같이 각각의 특징들로 인하여 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 접근 방법이 MAC이다. MAC에는 두 가지 접근 방식이 존재한다.

a) Distributed

- 각 디바이스가 독립적으로 매체를 접근하고 관리한다.
- 채널 수율이 상대적으로 낮고 실시간 트래픽 전송에 부적합한 단점이 있다.
- 단순한 구현으로 무선 LAN 환경에 적합하다.
- CSMA : 전송 전에 캐리어를 감지하고 비어있으면 전송을 시작. 채널 점유 중일 시에는 랜덤 시간동안 백오프를 수행하고 재시도.

b) Centralized

- 중앙에서 매체 접근을 관리한다.

- No hidden node, No exposed node
- Random Access 또는 Guaranteed Access.

각각의 MAC 접근 방식들은 장단점이 존재하며, 네트워크 상황에 따라 알맞은 방식을 이용하여 데이터 전송 효율성을 높일 수 있다. 다음으로 WPAN의 구성 분야는 다음과 같다 .

a) IEEE 802.15.1 (Bluetooth)
- 전송 속도 : 1Mbps
- 주파수 대역 : 2.4GHz의 Industrial Scientific Medical (ISM)

적용 분야: 휴대폰, 노트북, 이어폰, 헤드폰 등의 휴대용 기기들을 네트워크로 서로 연결하여 관련 정보를 근거리 통신을 이용하여 교환하는 무선 기술 표준이다. 주로 10미터 내의 초단거리에서 저전력으로 동작하며, 무선 연결 시에 사용되어지는 기술이다.

b) IEEE 802.15.3 (High Rate WPAN)
- 최대 전송 속도 : 3미터 이내 - 480Mbps, 10M - 110Mbps
- 주파수 대역: 4.488GHz를 중심으로 528MHz 주파수 대역을 이용

Ultra Wide Band (UWB)에 적용되는 기술로써 초고속 무선 근거리 통신망이다. 저전력, 넓은 스펙트럼 주파수를 이용해서 많은 양의 데이터를 전송하는 기술로써, 홈 서버와 TV 등 가정용 기기들을 무선으로 연결하여 사용 가능하다.

c) IEEE 802.15.4 (Low Rate WPAN)
- 전송 속도 : 20-250Kbps
- 주파수 대역 : 2450MHz (2400-2483.5), 868MHz (868-868.6), 915MHz (902-928)

저비용, 소형화, 배터리 수명 시간의 연장, 간단한 구조 및 연결성을 제공하고, 개인의 건강관리 및 동물 감시, 의료 모니터링 시스템 등의 적용 분야가 있다.

d) IEEE 802.15.7 (VLC)
- 전송 속도 : 이론상 20미터 거리에서 1Gb/s

가시 광통신 Visible Light Communication (VLC) 기술은 조명의 깜빡임을 통해서

데이터를 전송하는 방식으로써 2011년 7월 20일에 IEEE 802.15.7 기술표준으로 확정 되었다.

WPAN은 표준화를 거치면서 네트워크 서비스 영역에 따라 두 가지 동작 모드를 사용하여 사용자의 목적에 따라 MAC 프로토콜을 선택하여 네트워크를 운영할 수 있게 되었다. 또한 지연 시간을 줄여 실시간으로 보장을 위한 시분할 MAC 프로토콜을 이용하여 무선 채널 환경이 항상 동작하는 것과 같이 저전력으로 작동할 수 있는 비동기 저전력 방식의 MAC을 제안하였다.

WPAN의 응용 분야로는 노드의 이동성을 이용하여 가정건강 관리 및 대상 탐지, 의료 모니터링, 동물 모니터링 등의 분야에서 수없이 많은 응용 분야에 대한 연구가 촉진 될 것으로 예상 된다 [6].

IEEE 802.15.4에서 WPAN과 비슷하게 모바일 무선 센서 네트워크를 지원하는 분야가 무선 인체 영역 네트워크 (WBAN)이다. WBAN은 노드의 이동성이 빈번하게 일어나는 영역 중에 하나이며, IEEE 802.15.4는 여러 문헌에서 가능한 MAC으로 제안되었었다 [7]-[9]. 그러나 IEEE 802.15.4의 노드는 자신의 가까운 곳에 코디네이터를 발견하고 통신을 설정해야하는 여러 다른 경우가 발생한다. IEEE 802.15.4 표준 MAC 프로토콜은 낮은 데이터 속도와 낮은 전력 소비 요구 사항을 충족하기 위해 입증되었지만, 이동성 지원은 다양한 WPAN 응용 프로그램에서 바람직하다. IEEE 802.15.4는 두 가지 타입의 디바이스 종류가 있다. 하나는 Full Function Device (FFD)이고, 다른 하나는 Reduced Function Device (RFD)이다. FFD는 모든 네크워크 기능을 지원하고, PAN 코디네이터, 혹은 엔드 디바이스가 될 수 있다. 표준 IEEE 802.15.4는 세 가지의 토폴로지를 제공한다. star 토폴로지와 preer-to-peer 토폴로지, cluster tree 토폴로지이며 비콘을 기준으로 비콘 모드와 non-비콘 모드로 동작할 수 있다.

센서 노드의 연결은 노드들이 WPAN의 구성 멤버가 될 수 있는 수행 절차를 정의한다. 비콘 사용이 가능한 네트워크에서 엔드 디바이스는 처음에 코디네이터를 찾기 위하여 비콘을 기다리다가 연결 메시지를 이용하여 연결한다. 하지만 일단 디바이스가 코디네이터의 무선 영역 밖으로 이동하면, 디바이스는 부모와의 동기화를 잃게 되고, 새로운 부모를 찾기 시작한다. 하지만, IEEE 802.15.4 네트워크의 연결 과정에 대한 연구는 드문 편이다.

센서는 자신의 비콘을 듣고 있는 모든 노드의 존재를 알 수 있다. IEEE 802.15.4는

16개의 2.4GHz 대역 채널을 갖고 있으며, 10개의 디바이스15MHz 대역 채널, 1개의 868MHz 대역 채널이 할당되어져 있다 [10]. 그럼에도 불구하고 주변에 동작하는 알려지지 않은 채널과 디바이스들이 연결 및 통신 가능한 모든 채널을 각각 스캔을 통해 디바이스의 동작 대역에서 연결되어야 한다.

무선 센서 네트워크에서 센서 디바이스의 이동성을 보장해 주기 위해서는 기존의 연구 결과에서는 명확한 해결책이 나오지 않았다. 이유는 WMSN의 연결 대기 시간 및 처리율이 기준에 미치지 못하는 성공률을 가지고 있기 때문이다. 이러한 문제를 해결할 수만 있다면 보다 나은 모바일 센서 네트워크 환경을 구축할 수 있다.

B. Wireless Sensor Network

무선 센서 네트워크 (WSN)는 그림2와 같이 멀티 홉 네트워크로 구성된 다수의 디바이스들로 구성되어져 있다. 소형화 되어 제작된 센서는 소규모 마이크로 프로세스와 통신을 위한 RF칩, 센서를 구동하는 배터리로 구성 되어있다. 무선 통신 센서 네트워크를 설계 할 시 다음과 같은 고려사항이 존재한다 [11].

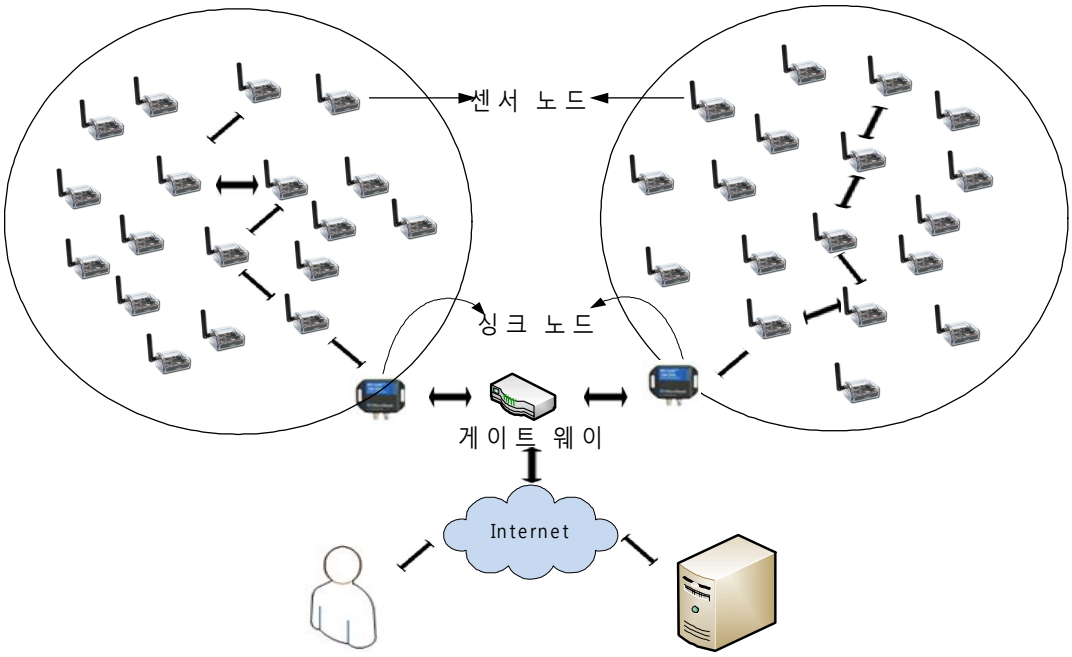

그림 2. Wireless Sensor Network (WSN)의 동작 개념도

IEEE 802.15.4에서 적용 가능한 대표적인 MAC 프로토콜은 다음과 같다 [12].

a) S-MAC

통신 방식은 listen 구간과 sleep 구간으로 나뉘는 고정된 구조를 가지며, 디바이스들이 채널을 사용하기 위하여 경쟁하는 경쟁 기반 프로토콜이다. 구조 자체가 간단하며 에너지 소모를 효율적으로 감소시킴으로써 수많은 경쟁 기반 프로토콜의 연구 및 개발을 진행시켰다 [13][14]. 기본적으로 listen 구간과 sleep 구간으로 나뉘며, 이 구간이 일정 주기로 계속하여 반복되면서 한 cycle을 이룬다. 전송할 데이터가 디바이스에 존재하는 경우, 디바이스는 listen 구간을 통해서 SYNC 패킷을 통하여 통신을 위해 주변의 다른 디바이스와의 동기를 맞춘다. 동기화가 완료되면, 데이터 구간을 통하여 데이터를 전송하도록 되어있다.

그림 3과 같이 S-MAC 프로토콜은 동작한다. 데이터 패킷의 Listen 구간에서 네트워크의 모든 디바이스들은 SYNC패킷을 이용하여 동기화를 수행하기 위하여 위해 깨어있으며 디바이스 간 데이터 전송 및 수신을 위하여 데이터 제어 패킷인 Request To Send (RTS)와 Clear To Send (CTS)를 데이터를 이용하여 디바이스끼리 교환한다.

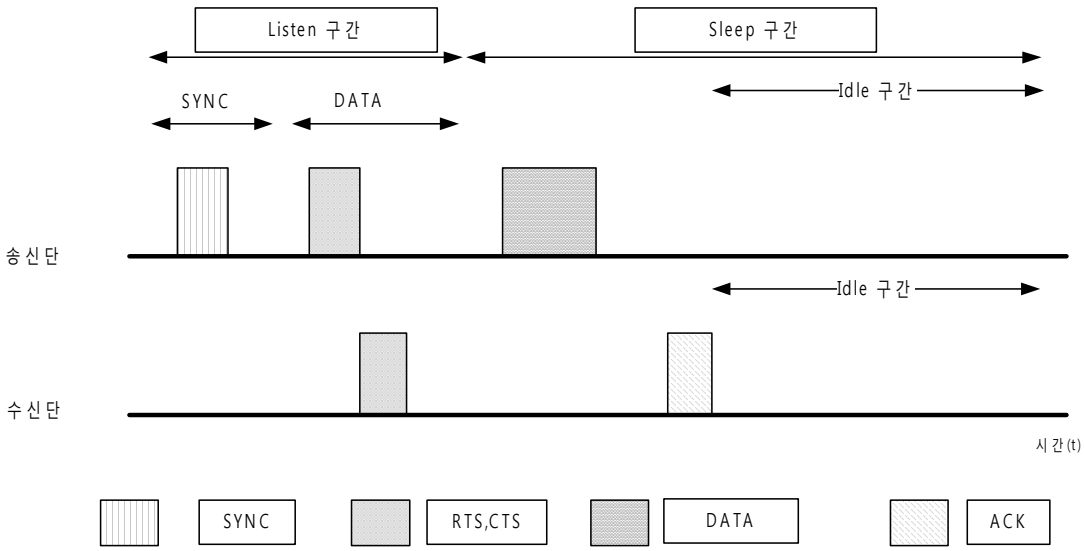

그림 3. S-MAC의 동작 방식

그림 4는 RTS, CTS 동작 방식에 대해 설명하고 있다. 교환을 통하여 데이터 패킷

을 주고받을 매체 간에 접근 경쟁을 수행하게 된다. 채널을 획득한 두 디바이스는 데이터를 전송 하게 되고 전송이 끝난 뒤에 채널 idle 상태가 되어 대기한다. 채널 접근을 하지 못한 디바이스들은 데이터 전송이 모두 끝난 후 다음 listen 구간이 도달하기까지 모두 sleep 모드로 진입한다. S-MAC의 단점은 duty cycle 동안에 트래픽양이 큰 경우에는 그만큼 sleep 상태가 지속되기 때문에 전송 될 데이터가 지연되는 문제점이 발생한다.

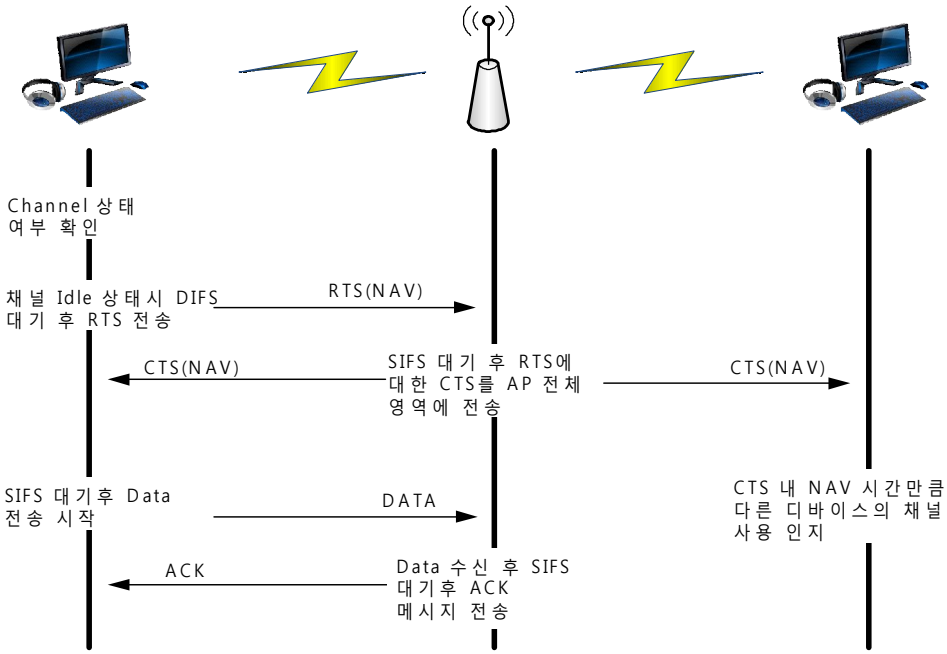

그림 4. RTS, CTS 동작 방식

b) T-MAC

T-MAC의 경우 그림 5와 같이 기본적인 기반은 S-MAC에서 응용되어져 사용되었으며, Idle listen에 소모되는 시간을 최소화시키기 위하여 각 디바이스들은 TA (Time-out interval) 동안 트래픽이 들어오지 않는 것을 깨닫게 되면, 고정된 listen 구간 동안의 시간이 남아있더라도, 즉시 sleep 모드로 동작하여 트래픽 양의 변화에 따라 유동적으로 대처하여 지연 시간을 줄일 수 있다 [15].

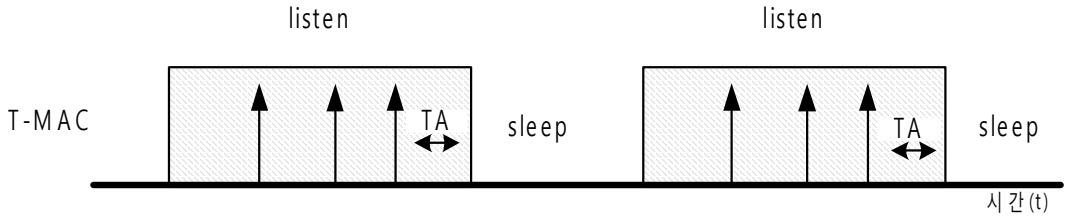

그림 5. T-MAC의 동작 방식

c) TEEM

S-MAC에 기반을 둔 프로토콜이며, 동기화를 담당하는 SYNC 패킷을 데이터 전송을 위한 RTS와 결합시켜 SYNCrts 구간을 이용하여 데이터를 전송한다. 만약 전송할 데이터가 존재한다면 그림 6과 같이 SYNCdata를 이용하여 데이터를 전송하며, 데이터가 존재하지 않는다면 그림 7과 같이 단순히 동기화를 위한 SYNCnodata 패킷만을 전송한다. TEEM 프로토콜은 S-MAC 프로토콜 동작 방식과는 다르게 전송이 완료된 뒤 패킷 프레임 시간이 여유가 남아있더라도 sleep 모드로 전환하여 불필요한 에너지 소비를 줄인다.

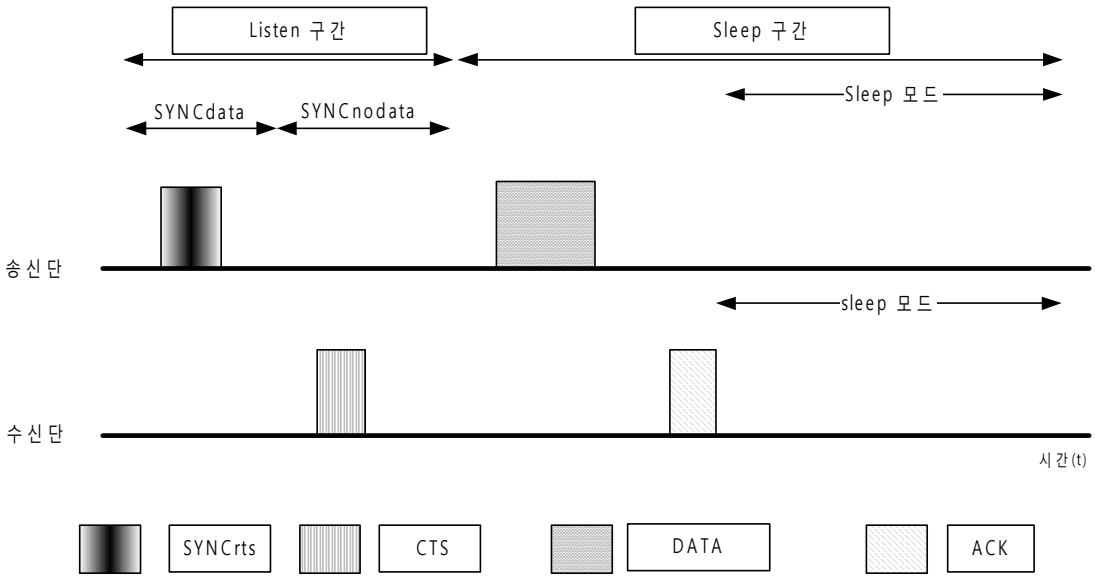

그림6. 전송 데이터가 존재할 때의 TEEM 프로토콜 동작 방식

d) DSMAC

많은 트래픽으로 인하여 전송 지연 문제가 발생했을 때 동적인 duty cycle을 제안한 방식이다. S-MAC과는 다르게 통신 트래픽을 고려하였기 때문에 고정적이지 않고 가변적으로 duty cycle을 사용하기 때문에 데이터 지연을 효과적으로 줄일 수 있다. 하

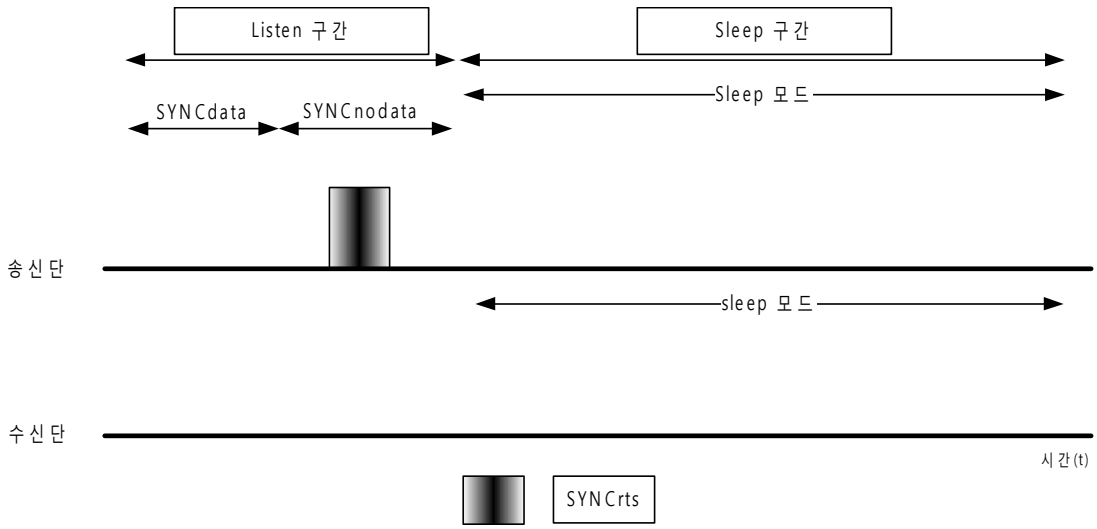

그림 7. 전송 데이터가 없을 때의 TEEM 프로토콜

지만, SYNC에서 duty cycle 지연 시간에 대한 정보가 합산되어 전송되기 때문에 데이터 패킷을 저장하는 영역이 증가되어 전송 효율이 떨어진다는 단점과 통신 가능 홉이 2홉으로 제한되기 때문에 그 이상의 홉에서는 효율이 떨어지는 문제가 존재한다.

C. IEEE 802.15.4의 MAC 구성 요소

a) Superframe 구조

네트워크를 구성하고 있는 PAN 내에 속해있는 코디네이터는 superframe을 이용하여 채널을 고정적으로 제어할 수 있다. superframe은 네트워크 내의 코디네이터가 전송하는 비콘에 따라 구동 영역이 결정된다. 또한, IEEE 802.15.4의 특성상 2.4GHz 대역의 16개의 채널 슬롯이 존재하며, 각각의 슬롯은 동일한 크기로 분할된다.

superframe의 구조는 첫 번째 슬롯에 비콘 프레임이 전송된다. 비콘은 일반적으로

0.1초마다 한 개의 비콘 프레임을 전송한다. 비콘을 이용하여 네트워크 내의 디바이스들을 동기화 시키고, superframe의 구조 및 PAN을 식별하기 위한 수단으로써 사용된다.

그림 8과 같이 superframe의 활동구간은 CAP (Contention Access Period)라고 불리며 버퍼에 데이터를 가지고 있는 센서 디바이스들은 CSMA-CA 방식을 이용하여 경쟁에 돌입한다. CAP는 slotted CSMA-CA 메커니즘을 사용한다. 반면에 CFP (Contention Free

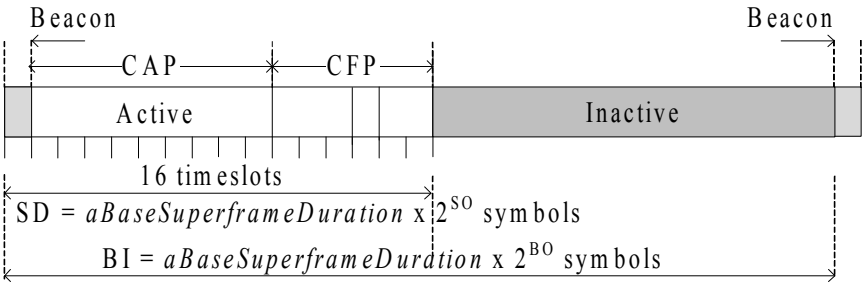

그림 8. superframe의 구조

Period)는 GTS (Guaranteed Time Slot)를 포함하고 있다. GTS는 비경쟁 기반이기에 코디네티이터의 제어를 받아 최대 GTS를 7개까지 할당하여, 전송하고자 하는 데이터의 양만큼 채널을 점유할 수 있다.

b) CAP

- 충돌 감지 및 회복 : 한 번에 여러 객체가 하나의 매체에 접근하려고 할 때 충돌을 감지한다. 경쟁 구간에서 객체는 백-오프 알고리즘을 사용하여 한 디바이스가 계속해서 채널을 점유하는 것을 막는다.
- 충돌 감지 및 회피 : 충돌을 방지하기 위하여 회피하는 방법으로써 객체가 현재 매체를 사용하고 있는지를 판별하여, 지속적으로 매체를 listen하는 상태를 말한다.

c) macBeaconOrder : 코디네이터가 전송하는 비콘의 길이를 결정

BO는 $0 \leq BO \leq 14, BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} symbol$

d) macSuperframeOrder : superframe의 길이를 결정한다.

$0 \leq SO \leq BO \leq 14, SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} symbol$

각 superframe의 활성 영역은 aNumSuperframeSlots (= $aBaseSlotDuration \times 2^{SO}$)에 슬롯 길이가 결정되어진다.

예를 들자면 macBeaconOrder (BO)와 macSuperframeOrder (SO)가 15로 할당된다면, 코디네이터는 비콘을 전송하지 않게 되고 non비콘 모드로 동작한다.

e) CFP

경쟁이 없는 구간으로써 다른 기기에 접근이 가능한 영역이다. CFP 구간에서 대부분의 디바이스가 송신이 불가하고 수신만 가능하다. 미리 예약된 디바이스들만이 코디네이터에게 데이터를 송신할 수 기회를 얻기 때문에 디바이스들 끼리 경쟁 없이 데이터 전송이 가능하다.

IEEE 802.15.4의 CFP 영역은 할당되는 시간을 보다 효율적으로 관리하기 위하여 16개의 Superframe Duration (SD)를 time slot으로 동일하게 나누며, 간격은 최소 0부터 최대 7개까지 할당 되어질 수 있다.

D. IEEE 802.15.4의 비콘 모드

비콘 가능 모드는 비콘의 동기화 구간에서 코디네이터를 제어하고 동기화를 맺는다. 비콘은 PAN의 ID 확인 및 동기화 그리고 superframe 구조에 관한 정보를 포함하고 있다. superframe의 구조는 활성화 구간과 비활성화 구간으로 나뉘어져 있다. superframe의 활성화 부분은 경쟁 접근 방식 (CAP)과 선택적 경쟁 무효 구간 (CFP)으로 분할되어진다. 모든 통신은 CAP 구간에서는 모든 노드들이 통신 채널을 할당 받기 위해 채널 점유 경쟁을 하며, 비활성화 부분에서는 에너지 소모를 줄이기 위하여 디바이스들은 sleep 모드로 전환한다. superframe의 구조는 코디네이터가 사용하는 Superframe Order (SO)와 Beacon Order (BO)의 매개변수에 의해 결정되어 진다. SO는 superframe의 길이를 결정하는데 사용되어지며, BO는 비콘의 간격을 정의하는데 사용되어진다. PAN에서 노드의 duty cycle은 BO와 SO에 따라 달라진다. BO와 SO가 동시에 증가하게 되면, 전송 지연시간이 증가되고 채널 경합의 집중화로 인하여 데이터 처리량은 감소하게 된다. 반면에 동시에 BO와 SO가 감소할 경우에는 에너지 소모가 증가하게 되고, 사용 가능한 대역폭이 감소된다 [16].

모든 FFD는 PAN 코디네이터가 될 수 있다. FFD는 채널의 최대치 에너지를 감지하고, 데이터 전송을 위한 적절한 채널을 선택하는 에너지 검출 (ED)을 수행한다. 각 채널에서는 T_{scan}을 이용하여 ED 스캔을 수행한다. 그 다음 개인 운영 공간 (Personal Operating Space)을 이용하여 비콘 프레임을 전송하는 코디네이터를 능동 스캔을 통해 찾는다. 능동 스캔이 진행되는 동안, 먼저 비콘 요청 명령을 전송하고 T_{scan} 심볼 동안 대기한다. 만약 비콘이 T_{scan}을 감지하지 못한다면, FFD는 POS에 코디네이터가 존재하지 않는 것으로 판단하고, 하나의 새로운 PAN을 구성하여 자신의 비콘 구간 동안 자신이 구성한 PAN을 브로드캐스팅 한다. PAN의 초기화를 수행한 뒤, 디바이스들은 PAN의 POS를 통해 통신을 수행할 수 있으며, 그 PAN에 연결을 진행 할 수 있다. 연결이 진행되게 되면, 엔드 디바이스는 PAN의 물리적 채널과 코디네이터 ID, 교신 상대와의 접속 모드, PAN의 ID를 원하게 된다. IEEE 802.15.4의 비콘 가능 모드는 두 가지 타입의 엔드 디바이스를 통해서 채널 스캔 작업을 수행하게 된다. 스캔하는 동안, 디바이스들은 데이터 통신을 박탈당하고, 수신된 데이터 프레임을 모두 폐기해야만 한

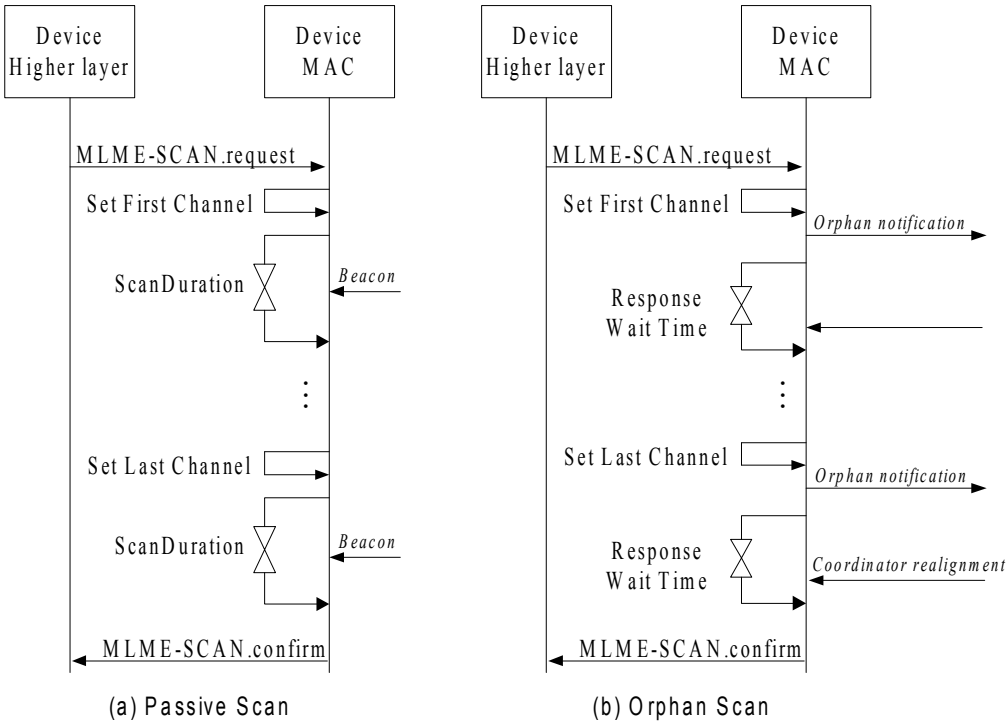

그림 9. IEEE 802.15.4의 비콘 가능 채널 스캔 메커니즘

다. 수동 스캔은 orphan 스캔을 이용하여 코디네이터를 찾는데 실패했거나, 첫 동작을 수행하는 디바이스에서 수행된다.

그림 9의 (a)는 수동 스캔 메커니즘을 나타내고 있으며, 디바이스가 T_{scan} 심볼의 크기만큼 각각의 채널이 유지되는 동안에 비콘 프레임을 검색한다. 그 후 각각의 채널에서 수신한 비콘 프레임을 저장한다. 만약 비콘이 감지되지 않는다면, 디바이스는 다음 시간 영역 후에 수동 스캔을 시작한다. Orphan 스캔은 디바이스가 동기화를 손실하게 되었다면, 코디네이터를 이전하기 위해 수행되어진다. 디바이스는 먼저 그림 9와 같이 orphan 상태를 알리는 명령어 macResponseWaitTime에서 가장 큰 심볼을 가진 코디네이터에게 전송하고 대기한다 (b). 이 수행 절차를 코디네이터의 재편성 프레임을 수신하게 되거나, 사용 가능한 모든 채널이 스캔 될 때까지 반복되어 수행한다. 만약 디바이스가 orphan 스캔을 통하여 부모를 찾을 수 없는 경우가 발생하면, 새로운 부모를 찾기 위한 수동 스캔을 다시 실행하게 된다. 디바이스가 적절한 코디네이터를 찾게 되면, 디바이스는 연결 절차를 수행하는 요청을 코디네이터에게 전송하게 된다.

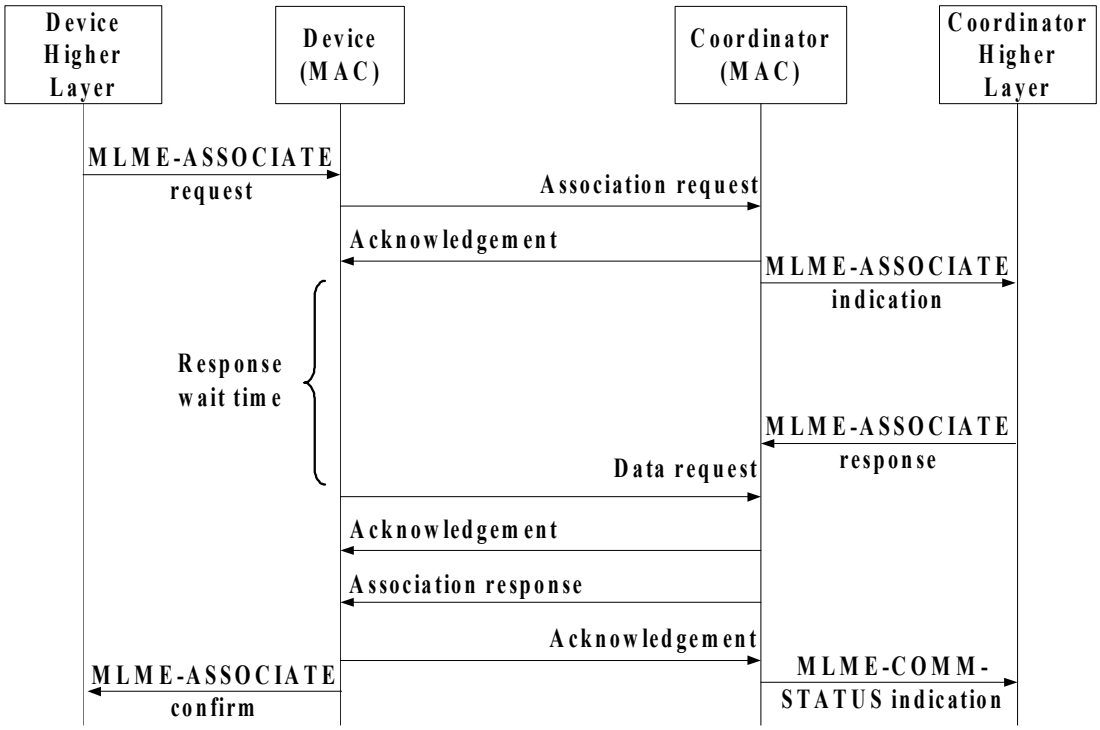

그림 10. IEEE 802.15.4에서 연결 메시지 교환

각각의 요청 메시지에 대한 ACK 메시지가 각 디바이스의 상위 레이어와 코디네이터 간에 주고받게 되며, 연결이 되는 동안에 교환 되는 메시지의 순서는 그림 10과 같다. 만약에 연결 요청이 허용되면, 디바이스는 성공적으로 PAN에 연결되며 다른 디바이스들과의 통신을 위하여 자신의 PAN 주소를 얻게 된다. 이와 같이, IEEE 802.15.4에서 비콘 활성화로 모드로 채널 동작이 구성되면, 디바이스는 연결을 수행하기 위해 연결 메시지를 교환 할 수 있는 채널을 요구하게 되며, 이는 정말 많은 시간을 소비하는 불필요한 절차를 포함하고 있다. 모바일 디바이스의 연결 절차 수행은 먼저 수동 스캔을 수행한 후에 orphan 스캔을 통해 이동하고 난 뒤에야 연결 메시지를 교환할 수 있기 때문에 모바일 디바이스의 연결 절차는 더욱 악화 된다. Orphan 스캔의 절차는 그림 11과 같다. 재연결 기간 동안 명확하게 모바일 디바이스가 사용하는 연결 절차를 사용한다. 어떻게든 연결에 소요되는 이 모든 연결 지속시간이 일부 허용 수준으로 단축될 경우, IEEE 802.15.4를 기반으로 한 모바일 센서 네트워크 어플리케이션에서 사용되어질 수 있을 것이다.

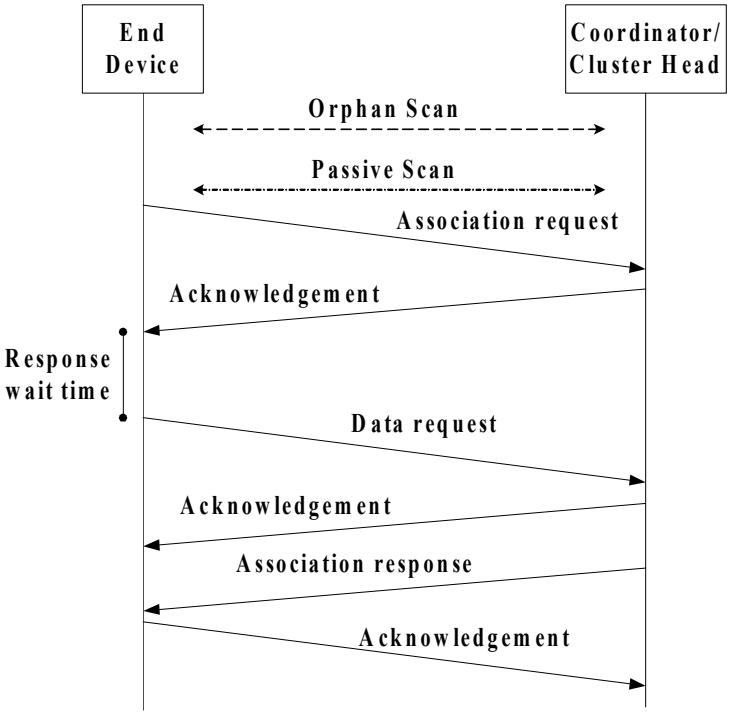

그림 11. Orphan 스캔 메커니즘

E. Wireless Mobile Sensor Network

IEEE 802.15.4의 모바일 센서 네트워크는 이동성을 고려하지 않은 IEEE 802.15.4에서 센서 디바이스의 이동성을 고려하기 위하여 만들어졌다. 특정 위치에 싱크 노드가 고정되어서 Ad-hoc 네트워크를 구성하여 전송할 경우 이는 데이터의 과부화로 인하여 네트워크의 효율성 저하로 이어진다. 이를 해결하기 위한 대처 기법이 클러스터 기반을 이용한 센서 네트워크 방식과 다중 싱크 센서 네트워크 방법이 있다. 하지만 근본적으로 고정되어진 네트워크는 많은 비용과 함께 다수의 디바이스가 설치되어야 하고, 디바이스의 수명이 다 되었을 때 전체적인 네트워크 흐름이 변경되어 보다 많은 홉을 이동하여야 하는 단점이 있다. 또한, 센서 네트워크는 넓은 지역의 통신 네트워크를 구성할 경우에는 여러 가지 변수 (자연 재해, 동물, 날씨)에 영향을 받기 때문에 미리 감지하여 디바이스들이 이동을 할 수 있다면 보다 높은 효율성과 생존률을 가진 능동형 네트워크가 구성 될 수 있다. 기본적인 구성은 IEEE 802.15.4와 구성이 같으며, 디바이스에 이동성을 부여하여 효율적인 네트워크 환경을 조성한다. 그림 12는 환자의 몸에 부착되어진 센서들이 환자의 이동에 따라 각각의 센서 노드들과의 연결 설정을 이루면서 데이터를 전송 및 수신하고, 취합된 데이터를 싱크 노드에 전송하여 의료진이 환자의 신체 정보를 모니터링 할 수 있는 시스템에 관하여 나타내었다. 이와 같이 센서 디바이스에 이동성이 보장된다면 보다 나은 네트워크 환경을 만들 수 있지만 가장 문제가 되는 것이, 디바이스의 이동에 따른 연결 성공률과 처리율이다. 이를 위해 DBC 방식을 다음 장에서 소개하고자 한다.

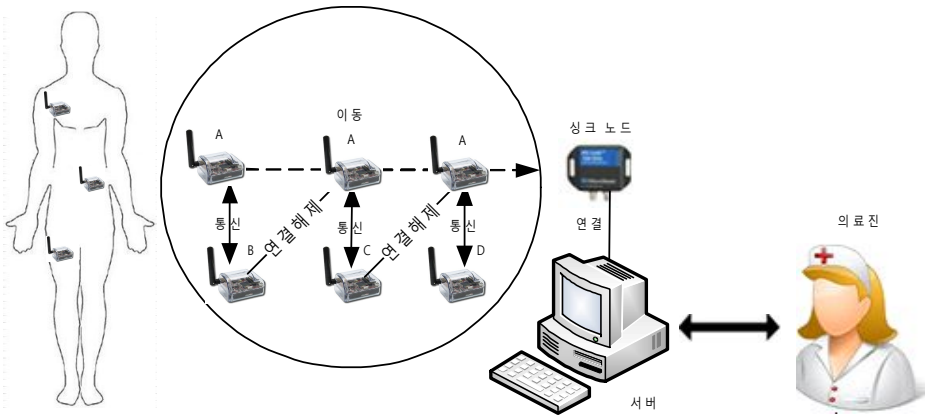

그림 12. Wireless Mobile Sensor Network (WMSN) 구상도

F. 관련 연구

IEEE 802.15.4내에서도 연결에 소모되는 시간을 최소화시켜 실행하기 위한 몇몇 노력들이 있었다. 그러나 대부분의 노력들이 연결 메시지를 주고받는 메시지를 감소시키거나, 본래 그대로의 채널 스캔 부분을 이용하여 코디네이터를 발견하는 제한적인 노력들이었다. 디바이스가 연결을 위해 연결 가능한 모든 채널들을 검색하는 동작을 박탈할 수만 있다면 연결 시간은 크게 단축 될 수 있다. 마찬가지로, 비콘 충돌을 회피하거나 제한적으로 처리량을 개선하는 방식으로 멀티채널 해결책에 대한 몇몇 관련 연구들이 있었다 [17]-[19]. 먼저 연결 절차에서 멀티채널 해결법을 제안하고자 한다. [20]에서, Zhang은 연결 환경을 향상시키기 위하여 간단한 연결 절차 (Simple Association Process)라고 불리는 방식을 제시하였다. 쓸모없이 중복되는 기초요소를 배제시키기 위하여 제거하였으며, 그로인하여 패킷 충돌 및 연결에 소모되는 시간을 감소시킬 수 있었다. Service Access Point (SAP)의 연결 과정 중에, 코디네이터로부터 응답을 기다리는 동안에 디바이스는 데이터 요청 명령어를 보낼 필요가 없다. 사실, 디바이스는 코디네이터로부터 발송되어질 연결 응답을 기다리고 있는 것이다. MAC의 기능적 절차를 살펴보면, 다음과 같다.

1. 스캔 : PAN 네트워크에 참여하길 원하는 디바이스가가 모든 채널에 대한 ED (전파 강도가 강한 디바이스를 찾는 행위) 스캔을 수행한다.

2. 연결 : 디바이스가 PAN NC로부터 16비트 주소를 할당 받는 행위. 즉, 디바이스가 PAN에 연결 요청을 보낸다.

3. Orphan 스캔 : 디바이스가 비콘을 놓치면 코디네이터를 찾기 위해 orphan 스캔을 통하여 재편성을 요구하는 동작을 수행한다.

이와 같이 위 동작을 수행하면서 센서 디바이스들은 데이터를 수신 및 전송하면서 에너지를 소모하게 된다. 위의 동작들을 간소화 시킨다면 소모되는 에너지와 시간을 줄일 수 있다. PAN 코디네이터의 수행 절차는 다음과 같다.

PC 스캔 시작 -> 사용 되지 않는 PAN ID 선택 -> 네트워크 형성

PAN 코디네이터 스캔 : 모든 채널을 검색하여 사용 중인 채널의 PAN ID를 확인 후 사용하지 않는 PAN ID를 선택하여 네트워크를 형성하기 위한 동작이다.

일반 디바이스 스캔 : 모든 채널에 ED 스캔을 실행 후 신호의 세기가 가장 강한 PAN 코디네이터를 선택하여 해당 네트워크에 참여하기 위한 동작이다.

위와 같은 일련의 동작으로 이루어지며, 여러 종류의 스캔 작업을 통하여 통신 가능한 PAN 네트워크에 연결하거나 탈퇴에 필요한 시간과 에너지를 소모하고 있음을 알 수 있다. 스캔 작업의 단일화를 이루면 스캔 시간동안에 소모되는 시간 및 에너지를 줄일 수 있다.

네트워크의 성능은 모바일 디바이스의 수가 증가하거나 디바이스가 빠르게 이동하면 저하 된다 [21]. 더군다나 이동하는 디바이스가 빠른 속도일 경우에는 자신이 지속적으로 연결하던 PAN을 잃어버리게 되고, 다른 코디네이터들과도 연결에 실패한다. [22]은 모바일 디바이스와 코디네이터의 연결 시간 증가 방식에 대해 IEEE 802.15.4의 비콘 사용 가능 네트워크를 이용하여 연구되었다. 디바이스는 스캔하는 동안 수신된 비콘의 타임스탬프를 이용하여 링크 품질의 향상과 함께 연결에 적합한 코디네이터를 결정한다. 다른 이동성 관리 기법으로 cluster-tree 기반의 WPAN에서 제안되었다 [23]. 이 방법은 Link Quality Indicator (LQI)지표에 따라 디바이스 연결에 대한 추측에 근거한 알고리즘을 사용한다. 이 값에 따라 모바일 디바이스가 연결을 잃기 전에 다음 코디네이터와의 연결을 위하여 셀 변화를 예측하고 있다. 그러나 알고리즘은 수동 코디네이터 발견과 능동형 스캔 메커니즘에 대하여 구체적으로 명시하지 않고 있다. [24]에서는 수동 검색을 지원하는 코디네이터 (Coordinator Assisted Passive Discovery) 방식이 빠른 연결을 위해 제안되었다. CAPD는 모바일 디바이스의 범위에 코디네이터의 비콘 간격을 감소하려고 시도하였다. 부모 코디네이터는 엔드 디바이스와 LQI를 이용하여 소속 디바이스의 이동성을 추측하고, 이동성이 있는 경우에는 부모 코디네이터는 주변의 코디네이터들과의 비콘 간격을 줄이기 위하여 빠른 수동 검색을 이용한다. 하지만

이전의 메커니즘과 마찬가지로 디바이스들은 모든 채널을 검색하여 코디네이터를 찾아야 만하기에 시간과 에너지 소모가 크다.

III. WMSN에서 이동성 지원을 위한 연결 설정

제안하는 DBC 방식은 IEEE 802.15.4의 무선 하드웨어 채널 전환 기능을 활용한다. DBC에서는 Beacon Channel (BC)와 Data Channel (DC) 이 두개의 채널 타입을 사용한다. BC는 오직 비콘 프레임의 전송 및 수신에만 사용되며, 이외의 모든 작업들은 DC에서 수행된다. 고정적으로 비콘 채널을 할당하는 채널에 비해 PAN 코디네이터는 유연하게 그들의 DC를 선택할 수 있다.

그림 13과 같이, 디바이스는 자신의 비콘 구간 동안 무선 채널을 스위칭 한다. 그리고 비콘의 마지막 구간에서 자신의 원래 데이터 채널로 돌아간다. 즉 통신 채널을 공유함으로써 비콘을 기다리거나, 데이터를 전송하기 위해 대기하는데 소모되는 지연시간이 존재하지 않게 되었다.

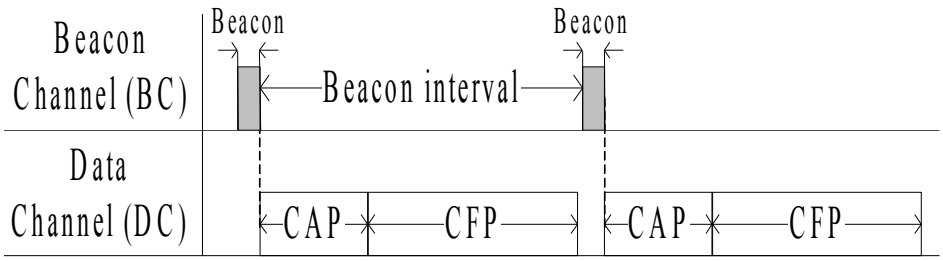

그림 13. 제안하는 DBC 방식의 채널 변환 메커니즘

따라서 비콘 프레임의 전송과 수신은 별도의 다른 신호 채널에서 수행된다. 기존의 IEEE 802.15.4를 간단하고도 작은 수정을 통해서, 디바이스는 모든 채널을 각각 스캔할 필요가 없게 되었다. 전체적인 네트워크 정보를 알기 위해서는 그저 그림 14와 같이 BC 채널을 스캔하는 것만으로 알 수 있다.

전체 네트워크 정보는 단순히 BC만을 스캔하면 알 수 있다. IEEE 802.15.4는 4가지 스캔 타입이 이용된다. 에너지 감지 (ED) 스캔, 능동 스캔, 수동 스캔, orphan 스캔 방법이 있다. 그림 14와 같이 제안하는 DBC 방식은 IEEE 802.15.4에서 단지 하나의 수동형 스캔을 이용하여 단독적으로 수행되어진다. DBC 스캔은 어떠한 네트워크 토폴로지에서든 사용이 가능하다. 그러나 Peer-to-Peer 방식의 경우와 클러스터 토폴로지를 사용할 경우에 IEEE 802.15.4가 성공적으로 비콘 충돌을 피할 수 있다는 가정 하에 실시하였다.

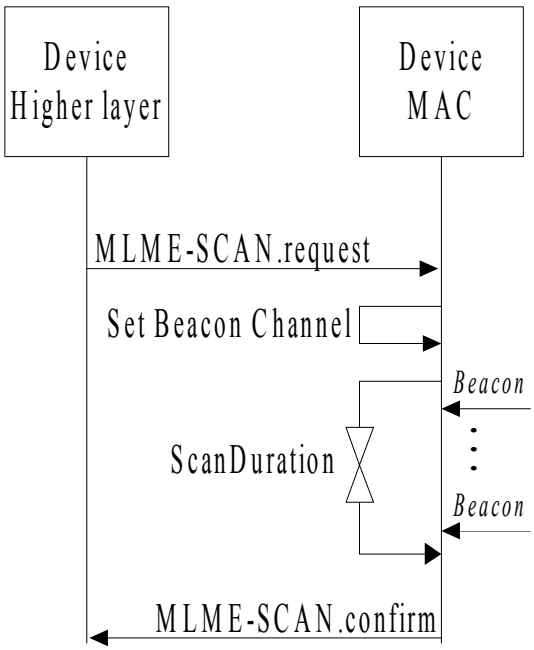

그림 14. 제안하는 DBC의 수동 스캔 방식

a) 비콘 프레임 수정

PAN의 데이터 채널은 비콘 프레임을 운반하는 역할을 한다. 그림 15와 같이 새로운 필드 (1바이트 DC 채널)를 비콘 프레임에 추가하거나, 데이터 채널의 정보를 비콘 페이로드 필드 혹은 다른 필드에 추가하여 보낼 수 있다.

b) PAN 코디네이터의 초기화

기존 IEEE 802.15.4와는 달리, 디바이스는 ED 스캔과 PAN 코디네이터의 초기화를 위하여 능동 스캔을 실행하지 않는다. DBC 방식은 FFD가 초기화 될 때, 그림 14와 같이 단지 T_{scan}의 기간 동안, 오직 비콘 채널에 대한 수동 스캔만을 수행한다.

Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Auxiliary Security Header	Superframe Specification	GTS Fields	Pending Address Fields	Data Channel	Beacon Payload	FRC

그림 15. IEEE 802.15.4의 비콘 프레임 수정

수동 스캔이 끝나면, FFD는 자신의 주변에서 동작을 수행 중이던 모든 PAN들에 대해 명확히 인지를 하고, 적절한 PAN에 연결할 수 있다. 만약에 스캔 시간 동안 비콘을 감지하지 못한다면, FFD는 코디네이터가 POS가 없다고 판단하고, 즉시 하나의 PAN을 구축하여 주기적으로 비콘을 발송한다. FFD는 겹치지 않도록 유연하게 DC을 선택할 수 있지만, BC는 무조건 자신의 비콘으로 브로드 캐스팅 해야만 한다. 인접한 지역에 수많은 PAN들이 공존하는 경우에 (아파트 또는 독립적인 PAN을 가진 건물) FFD는 한 번의 수동 스캔을 통해 사용 가능한 PAN을 인지할 수 있게 되고, 최소한의 공간을 갖는 짧은 인터프레임 비콘 공간(Short Interframe Space)을 이용하여 그림 16과 같이 마지막 비콘 프레임을 전송받으면, 적절한 공동 PAN 네트워크에서 사용되지 않는 DC를 선택할 수 있다.

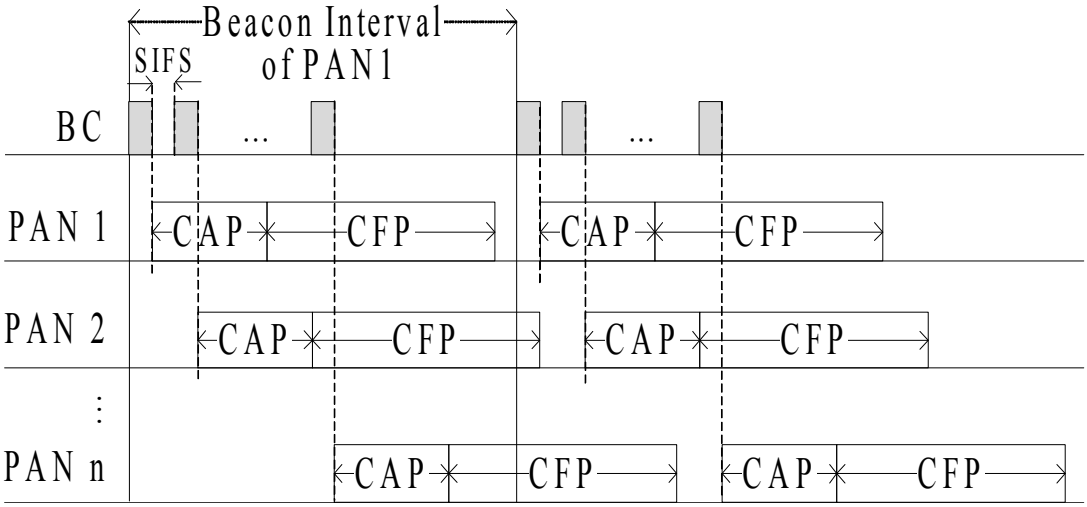

그림 16. 여러 PAN들의 채널 공존

c) 네트워크 디바이스의 연결

만약 디바이스가 PAN에 가입하길 원하면 PAN의 상태가 새롭게 구성되었거나 디바이스가 orphan 상태일 경우다. IEEE 802.15.4는 새로운 연결 절차와 orphan 디바이스의 연결을 위한 별도의 절차가 존재한다. 그러나 DBC 기법은, 오직 수동 스캔을 이용하여 두 장치의 동일한 절차를 수행한다. 연결되지 않은 디바이스는 T_{scan} 심볼 기간 동안에 BC에 대해 수동 스캔을 수행한다. 수동 스캔이 진행된 후 엔드 디바이스는 주변의 모든 코디네이터에 대한 명확한 정보를 가지게 되며, 적절한 코디네이터에 연결할 수 있게 된다.

IV. 실험 및 분석

본 장에서는 IEEE 802.15.4와 DBC방식의 초기화 시간 및 연결에 소모되는 시간을 수학적으로 분석하고, 이를 시뮬레이션 결과와 비교하여 실험의 정확도를 증명하고자 한다. 슈퍼프레임의 활성화 구간인 SD는 비콘, CAP 그리고 CFP가 통신을 할 수 있는 구간의 길이를 결정한다. SO = 0 이거나 T_{scan} 심볼이 aBaseSuperFrameDuration의 여러 심볼들은 SO = 0 이거나 T_{scan} 심볼이 채널을 스캔하는데 시간이 소모될 때 형성된다. IEEE 802.15.4에서는 ED 스캔 및 채널 능동 및 채널 수동 스캔을 수행하는 데 동일한 시간이 소요된다.

$$t_{scan} = aBaseSuperFrameDuration \times (2^{BO} + 1). \qquad (1)$$

A. PAN의 초기화

IEEE 802.15.4에서 PAN 코디네이터는 ED 스캔과 능동 스캔을 가능한 모든 n채널에서 수행한다. 하지만 DBC의 경우, BC 채널의 T_{scan} 시간 동안만 수동 스캔을 수행한다. 따라서 IEEE 802.15.4와 DBC를 위한 PAN 코디네이터의 전체 초기화 시간은 다음과 같다.

$$PAN_{802.15.4_{init}} = 2n \times \ t_{scan}. \qquad (2)$$

$$PAN_{DBC_{init}} = t_{scan}. \qquad (3)$$

따라서 방정식 (2)와 (3)을 비교했을 때 DBC는 IEEE 802.15.4의 $2n$ 크기만큼 PAN 코디네이터의 초기화 시간을 감소시킨다.

B. 연결

총괄적으로 연결에 소모한 시간은 채널 스캔과 연결 메시지 (Assomsg)를 주고받으면서 소모한 시간의 합과 같다. 디바이스가 PAN과 연결하기 위해서는 새로운 디바이스이거나 orphan 상태여야 한다. 새로 연결한 디바이스가 총 연결에 쓴 시간은 두 프로토콜에서 제공 된다. (4)와(5)의 방정식으로부터 DBC는 새롭게 합류한 디바이스의 연결 시간을 변수 n만큼 감소시킬 수 있다.

$$t_{802.15.4_asso} = n \times t_{scan} + A_{sso_{msg}}. \quad (4)$$

$$DBC_{-asso} = t_{scan} + A_{sso_{msg}}. \quad (5)$$

IEEE 802.15.4 비콘 가능 모드에서는 orphan 디바이스는 orphan 스캔 작업을 모든 채널에 대하여 macResponseWaitTime (32 × aBaseSuperFrameDuration)만큼의 시간 동안 수행하며, 코디네이터가 발견되거나 모든 채널을 스캔 할 때까지 (n) 작업을 계속 진행하게 된다. 위에서 설명한 것과 같이, orphan 스캔이 실패하게 되면 새로운 코디네이터를 찾기 위해 수동 스캔을 이용하여 수행한다. 따라서 재연결을 위해 소요되는 총 시간이 주어진다.

$$t_{802.15.4_reasso} = n \times macResponseWaitTime + t_{802.15.4_asso.} \quad (6)$$

(5)와(6)을 비교해 보면, DBC의 경우 디바이스가 코디네이터에 재연결을 수행하는 시간이 디바이스의 수에 따라 감소하게 되는 것을 알 수 있다.

C. 시뮬레이션

표 2처럼 네트워크상의 매개 변수를 가정할 때, aBaseSuperFrameDuration은 15.36ms이고, macResponseWaitTime과 Assomsg는 0.49sec이다 [4]. 따라서 이러한 값들이 BO = 3일 때를 가정하여, IEEE 802.15.4와 DBC의 두 연결 시간의 결과를 표 2에 표

시하였다. 테이블에서 얻은 값에서, DBC 상당한 양의 연결 시간을 IEEE 802.15.4 보다

표 2. 연결에 따른 소모된 총 시간

	PAN 초기화		연결		재연결	
Channels	802.15.4	DBC	802.15.4	DBC	802.15.4	DBC
3	0.82 s	0.14 s	0.90 s	0.63 s	2.37 s	0.63 s
10	2.76 s	0.14 s	1.87 s	0.63 s	6.77 s	0.63 s
16	4.42 s	0.14 s	2.70 s	0.63 s	10.54 s	0.63 s

단축하고 있다는 것을 알 수 있다. 다수의 채널 연결 지속 시간을 독립적으로 사용 가능하다는 결론을 얻었다. 이론적으로 DBC가 얼마나 많은 시간동안 PAN의 초기화와 재연결 시간을 오리지널 IEEE802.15.4에 비해 달성하였는지를 BO (BO = SO) 값의 성과를 이용하여 그림 17에 그래프로 나타내었다.

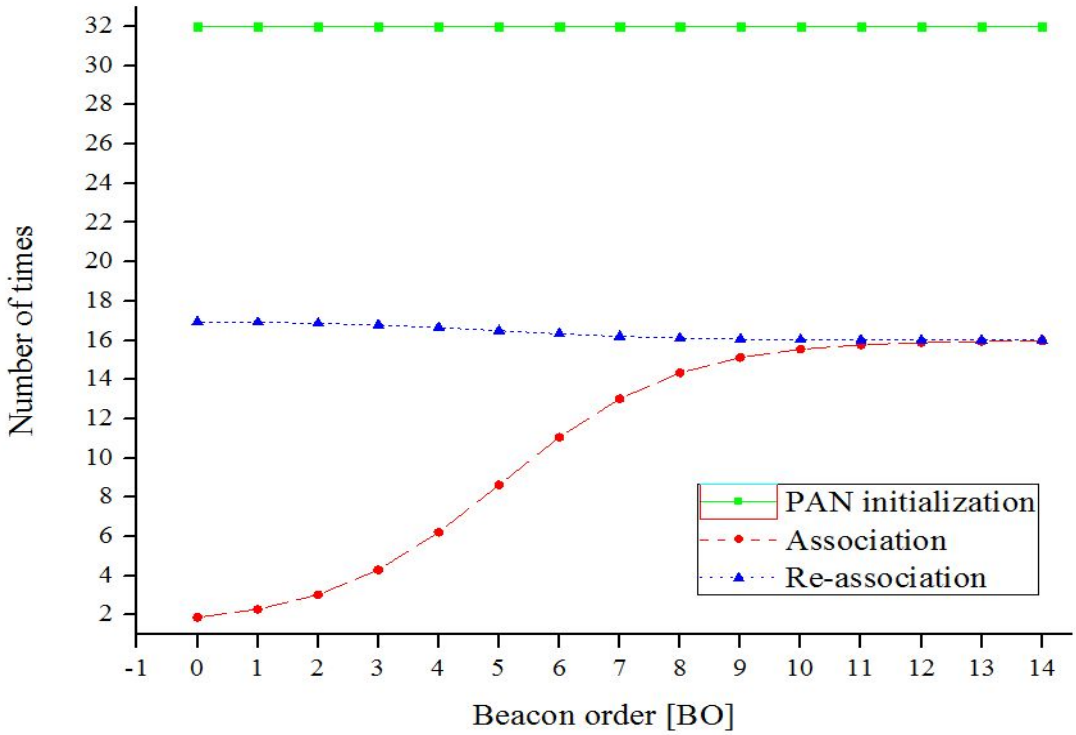

그림 17. IEEE 802.15.4의 연결 지속시간을 향상시키는 DBC

정밀한 분석을 위하여 시뮬레이션은 네트워크 시뮬레이터 NS-2를 사용하였다 [25]. 10개의 디바이스를 50 X 50m의 필드에 배치하고, PAN 코디네이터를 그림 18과 같이 중앙에 배치하였다. 화살표 머리는 모바일 엔드 디바이스 (node 9)의 이동 방향을 표시한다. 모든 코디네이터 신호를 브로드캐스팅하고 BO는 모든 디바이스에 대해 동일하게 적용된다. 100 초의 시뮬레이션 시간에 노드 9 데이터 전송을 시작하고 110 초의 시뮬레이션 시간에, 노드는 이동하기 시작한다.

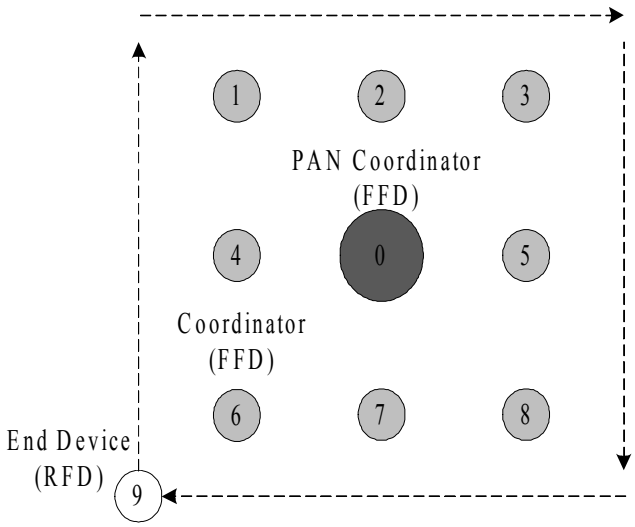

그림 18. NS-2 시뮬레이션에서의 네트워크 토폴로지

모바일 디바이스는 데이터를 PAN 코디네이터에게 전송하는 동안에 계속해서 이동한다. 시뮬레이션은 모바일 디바이스가 자신이 출발하기 전의 위치로 되돌아오면 실험 시나리오는 종료된다. 모바일 노드는 종료 전까지 총 8개의 셀을 이동하면서 데이터를 주고받는다. 모든 시뮬레이션에서 SO, BO와 동일하게 입력되었다. 시뮬레이션에 사용한 네트워크 매개 변수는 아래의 표 3에 나타나있으며, 각각의 매개 변수 값은 변경되지 않고 사용되었다.

D. 네트워크 연결 시간

그림 19는 PAN 초기화 시간과 디바이스의 연결 및 재연결 시간을 수학적인 해석을

포함한 BO의 다양한 값들을 NS-2 시뮬레이션으로 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서 PAN 코디네이터는 비콘 가능 모드에서 PAN 초기화에 대한 수동 스캔을 수행한다. 마찬가지로, 할당된 BO는 PAN 코디네이터를 제외한 다른 디바이스들은 스캔 기간 동안 BO+1을 내부적으로 매개변수로 사용한다. 위에서 언급한 수학적 방정식을 상황에 맞춰 적절히 적용하였으며, 모든 경우의 수에 분석된 결과가 시뮬레이션 결과에 일치하였다. 그림과 같이 DBC가 요구하는 연결 및 재연결 시간이 매우 낮은 이유는 오직 BC에서만 연결 절차를 스캔하기 때문이다. 반면에 IEEE 802.15.4의 경우에는 사용 가능한 16개의 모든 채널을 스캔하므로 상당한 양의 시간과 에너지를 소비한다. 또한, 그림19와 같이 연결 및 재연결에 요구하는 시간이이 DBC가 요구하는 시간과 같다는 것을 알 수 있다. 이유는 orphan 스캔 과정이 없이 동일한 수동 스캔 동작 방식이 IEEE 802.15.4와 DBC 연결 및 재연결에 사용되어졌기 때문이다.

표 3. 네트워크 매개변수 값

매개 변수	값
수신 전력	56.5mW
전송 전력	48 mW
유휴 전력	2.79 mW
sleep 전력	30 uW
전파 범위	10 m
라우팅	AODV
주파수 밴드	2.4 GHz
라디오 데이터 비율	250 kbps
채널의 수	16
데이터 비율	2 kbps
트래픽	CBR
버퍼 사이즈	10 packets
패킷 사이즈	50 B

그림 19에서 BO = 3일 경우에 DBC는 15.92배의 PAN 초기화 시간을 IEEE 802.15.4에 비해 단축시킨 것을 확인할 수 있다. 노드의 연결 시간이 6.19s , 재연결 시간은 16.59s가 걸리는 것은 그 자체만으로도 큰 성과인 것이다.

그림 20는 PAN코디네이터에서 PAN에 디바이스가 연결 및 재연결을 시도할 때 다양한 BO를 이용하여 에너지 소모를 나타내고 있다.

DBC에 소요되는 시간이 훨씬 적기 때문에 에너지 소비에 직접 비례 영향을 미친다.

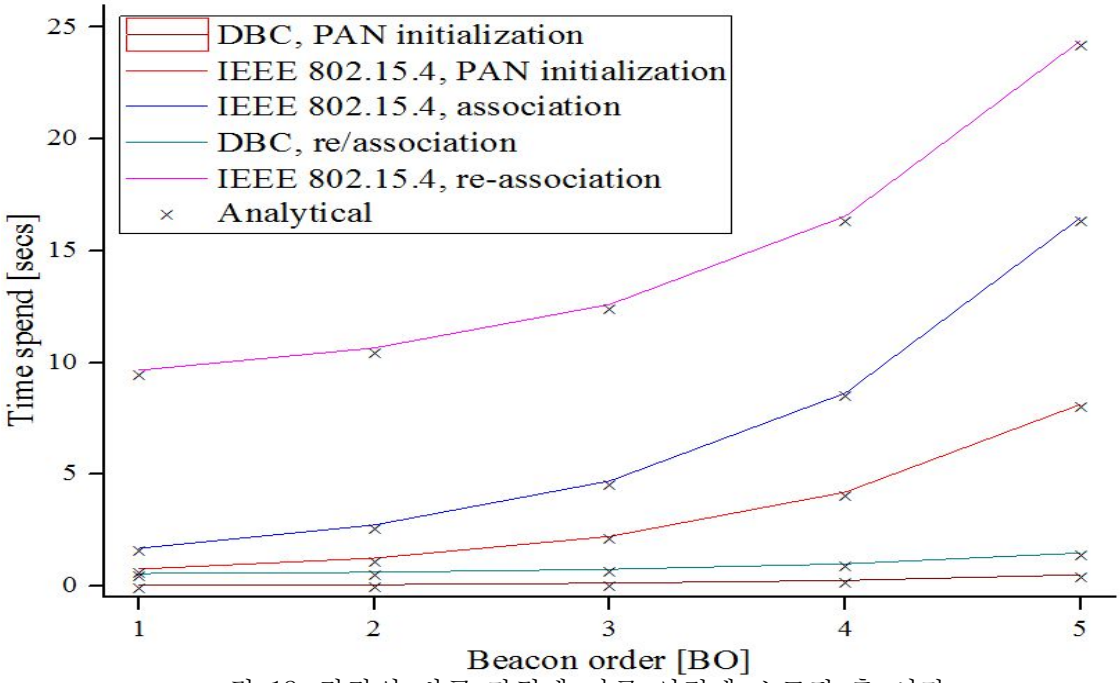

그림 19. 각각의 비콘 간격에 따른 연결에 소모된 총 시간

BO = 3에서, DBC는 PAN을 초기화하는데 소모되는 에너지를 IEEE 802.15.4에 비해서 7배, 노드의 연결 에너지 7.5배, 재연결 에너지 17.75배에 달하는 에너지를 줄일 수 있다. 따라서 위의 관찰에 따라, DBC는 상당한 양의 에너지와 시간을 절약 할 수 있다는 결론을 내렸다.

E. 네트워크 연결 성공률

연결 성공률은 성공적으로 연결을 수행한 디바이스의 숫자와 연결이 가능한 전체의 디바이스 수를 나누어 얻어졌다. 시뮬레이션 모델은, 모바일 노드가 멈출 수 있는 총 8개의 휴식 셀이 존재한다. DBC는 코디네이터의 빠른 수 동 검색을 제공함으로써 모바일 노드의 성공적인 연결 속도를 증가시켰다. 성공적인 연결 백분률은 가각 다른 BO들과 모바일 노드의 속도에 대해 그림 21에 나타나있다. IEEE 802.15.4의 경우, 경미한 이동성에도 연결에 상당히 큰 부정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 사람이 걸을 때 속도인 1.5m/s에서 IEEE 80.2.15.4는 BO가 낮은 값임에도 불구하고 낮은 성공률을 보였으며, BO = 5 일 때 연결을 수행할 수 없었다. 하지만 DBC의 경우, BO = 4 전까지

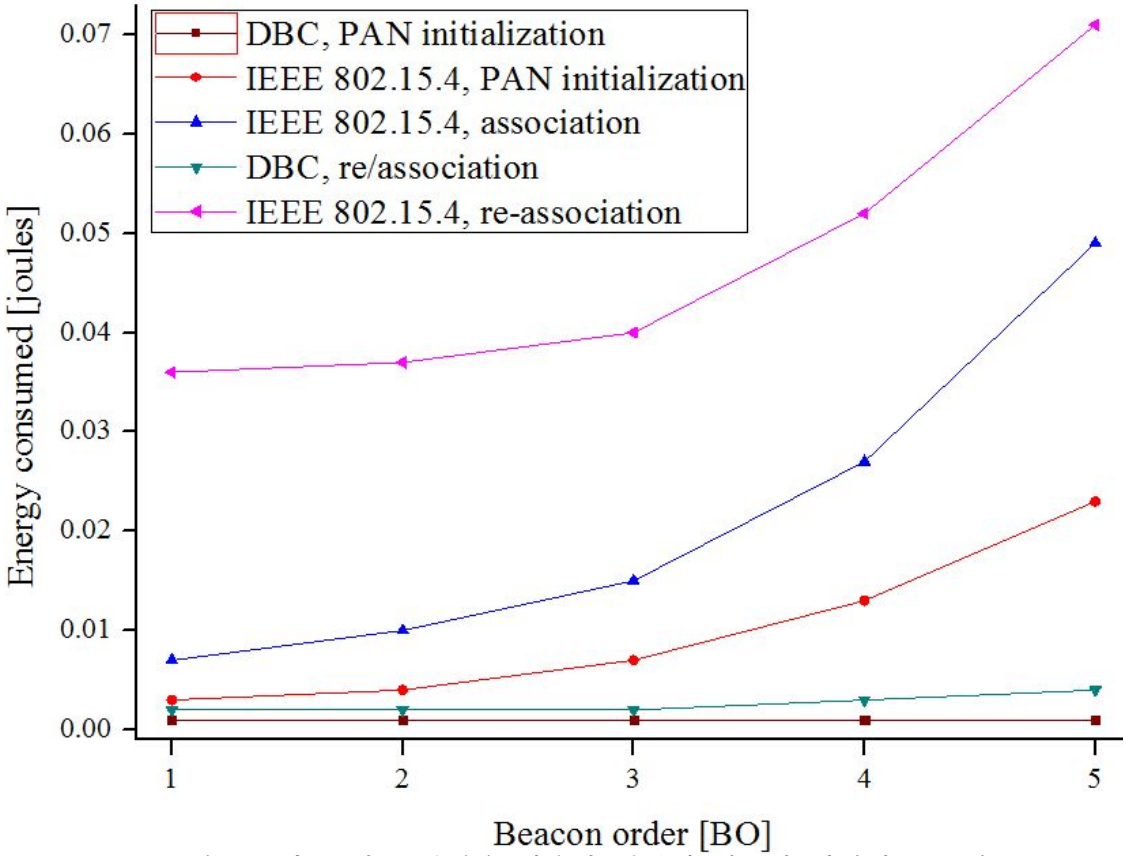

그림 20. 다른 비콘 간격을 적용한 연결에 필요한 에너지 요구량

100%의 성공률을 보였으며, BO = 5의 경우에도 성공적으로 7번의 연결과 8번의 연결 해제를 진행하였다. 하지만, 1.5m/s의 노드 속도와 BO ≥ 9일 때 DBC의 연결 성공률은 떨어졌다.

F. 패킷 전송 비율 및 처리량

그림 22는 PAN 코디네이터에서 패킷 전달 비율 (Packet Delivery Ratio) 처리량을 보여주고 있다. DBC의 신속한 연결 및 재연결 기능 덕분에 이동 디바이스는 네트워크의 전반적인 처리량을 증가시켰으며 코디네이터로부터 생성 된 대부분의 데이터를 전송할 수 있었다. 그림 22에서 DBC의 PDR이 IEEE802.15.4의 다양한 노드 스피드 보다 나은 처리량을 달성한 것을 보여주고 있다.

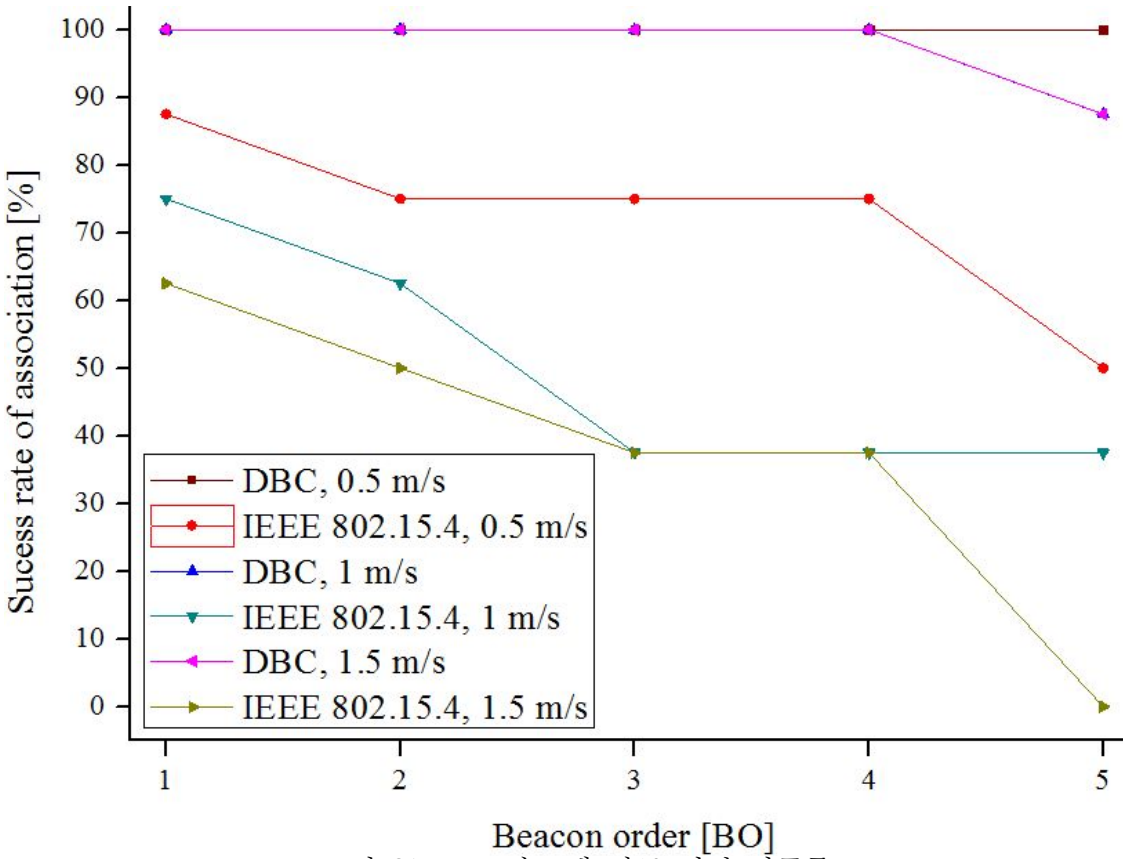

그림 21. 노드 속도에 따른 연결 성공률

그림 22를 보면 IEEE 802.15.4의 경우 노드 9가 100초에서 110초로 이동을 하면서 각각의 노드들과의 SYNC를 맞춰서 데이터를 PAN 코디네이터로 전송데이터 패킷을 전송하고 있다. 노드9의 속도가 1.5m/s의 속도일 때 노드 6은 BO = 5일 때 데이터 전송 성공률은 20% 밖에 달성돼지 않았다. 그러나 DBC의 PDR은 동일한 시나리오에서 82%였다. 두 시나리오의 PDR이 이렇게 크게 차이나는 이유는 IEEE 802.15.4의 경우 노드9의 속도가 1.5m/s 일 경우에 센서 디바이스들이 동기화를 맺는 시간이 부족하기 때문에 이동 후 데이터를 전송하는 시뮬레이션 내에서 패킷을 전송하지 못 하고 이동하기 때문이다.

처리량 셀 변화 효과는 PAN 코디네이터의 속도가 1m/s 일 때, 데이터양은 2Kbps로 그림 23에 나타나 있다. 네트워크 코디네이터는 BO = 3에 해당하는 비콘 간격을 사용한다. 그림23에서 빨간 동그라미는 노드9가 부모 코디네이터와의 동기화하는데 손실되

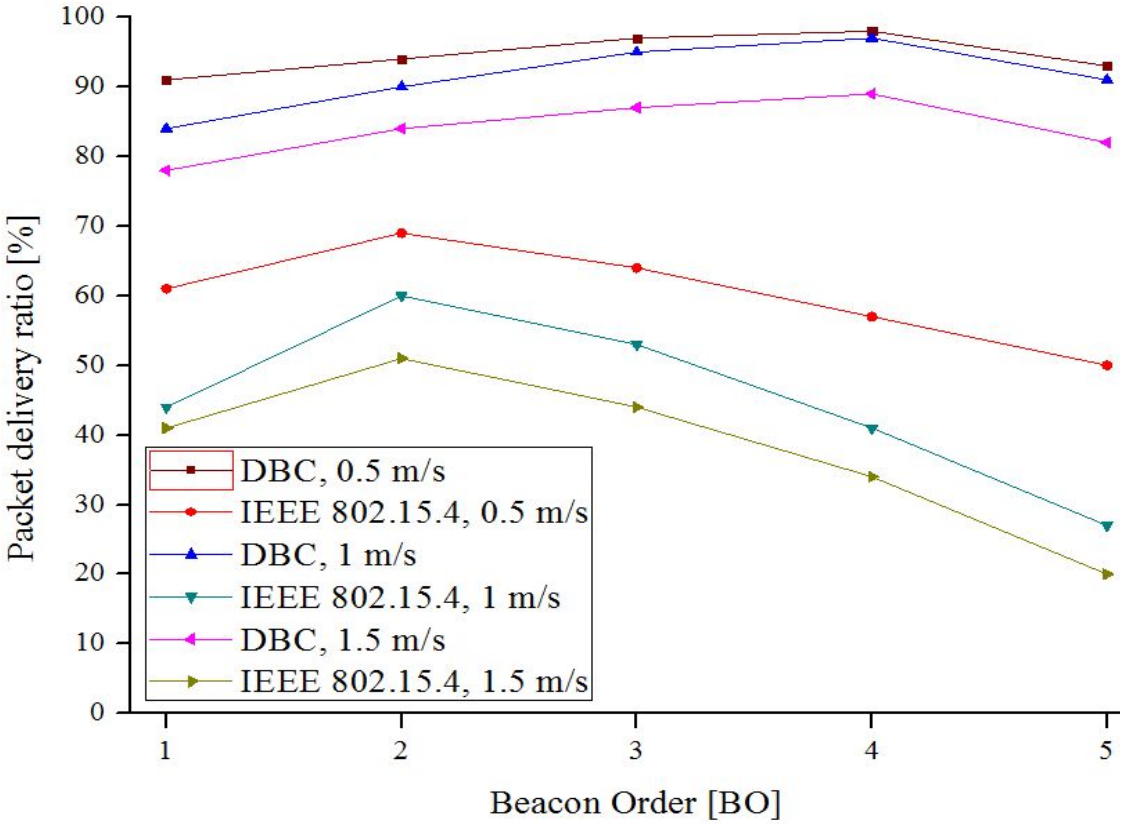

그림 22. PDR 도출을 위한 DBC 와 IEEE 802.15.4 가변 속도 적용 및 처리량

는 시간을 표현하고 있다. 셀의 변화가 수행되는 동안, DBC의 처리량은 떨어진다. 이유는 노드9이 셀을 이동할 때 패킷은 수동 스캔 동작과 연결 기간 동안에 데이터를 전송되지 않기 때문이다. 하지만 디바이스가 새로운 코디네이터와 연결이 성공하면 신속하게 전송을 재개한다. 노드들은 버퍼 패킷을 가지고 있기 때문에 버퍼링 된 데이터는 새로운 코디네이터와 연결이 성공하면 전송되고, 결과적으로 연결 후 처리량 또한 증가하게 된다. 몇 개의 셀이 변경 되어 일부 셀의 변경 처리량이 제로로 떨어지더라도 DBC에 설정된 디폴트값을 이용하여 신속하게 연결 속성을 확인하여 회복시킬 수 있다. 그러나 IEEE 802.15.4의 경우는 노드가 모든 셀 변화에 연결 성공률이 떨어졌으며, 8개중에 3개만이 연결에 성공하는 부족한 결과를 나타내었다. PDR은 IEEE 802.15.4와 DBC에 대해 각각 53%와 96%로 관찰되었다.

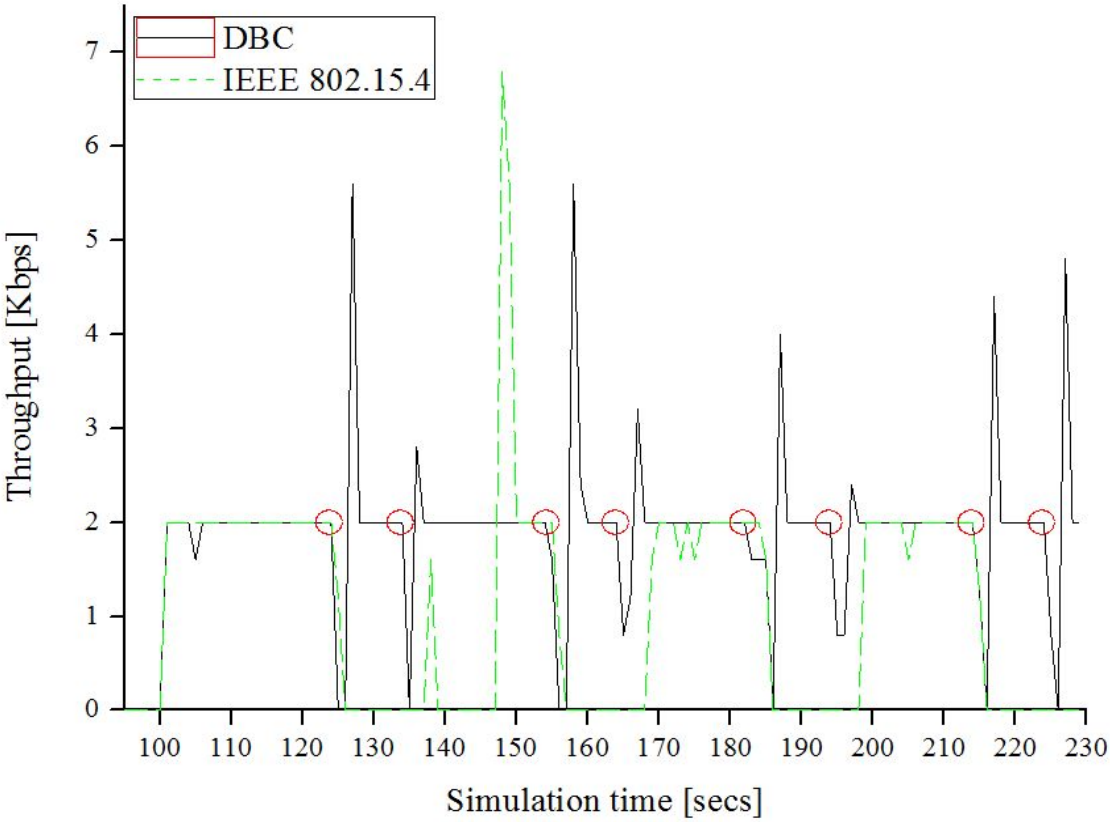

그림 23. BO = 3, 이동성 1m/s, 데이터양 2Kbps에 대란 처리량 그래프

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서 제안하는 DBC 방식을 이용한 무선 모바일 네트워크 환경은 에너지 소모를 줄이고 네트워크 연결 대기 시간을 줄일 수 있는 IEEE 802.15.4 기반의 새로운 네트워크 통신 방식이다. 위 실험에서 언급한 DBC 방식의 이점들을 달성하기 위해서 네트워크 토폴로지 내의 노드들은 통신 가능한 모든 채널들에 대하여 스캔 동작과 비콘을 찾는 동작을 박탈해야하는 전제 조건이 붙는다. 시뮬레이션 초기에 적절한 네트워크 환경을 만들기 위해 많은 시행착오를 겪었으며, 네트워크 매개 변수 값에 따라 변하는 네트워크 환경이 흥미로웠다. 이 전제 조건을 토대로 시뮬레이션 결과를 분석한 결과, 연결 및 메시지 전송에 소모되는 에너지와 시간을 모든 측면에서 매우 효율적으로 감소시켰다. 배터리 소모에 민감한 무선 센서 네트워크 분야에서 제안하는 DBC 방식을 이용하여 소형화 센서, 야생 동물 감시, 개인의 신체 정보 전송 등에 이용한다면 보다 유연한 센서 네트워크를 구성할 수 있을 것으로 생각한다. 향후 연구 과제로는 DBC 방식을 적용한 메커니즘을 이용하여 다수의 센서 디바이스를 이용하여 네트워크를 구성하여 주기적으로 사람의 신체 정보를 수집하여 데이터를 싱크 노드가 연결된 컴퓨터에 받아오는 연구를 진행할 예정이다. 이를 이용하여 보다 안정적인 환자 관리 시스템을 구현해 볼 예정이다. 배터리 소모에 유연한 센서 네트워크 분야가 계속해서 연구되어지기 위해서는 보다 향상된 연결 및 메시지 전송 간소화 메커니즘들이 연구되어져야할 것이며, IEEE 802.15.4에 대한 새로운 방향을 제공할 것이다.

참고 문헌

[1] 삼성경제연구소, 유헬스 (u-Health) 시대의 도래, 2007.

[2] Francesca Lo Piccolo, Donato Battaglino and Lorenzo Bracciale, “On the IP support in IEEE 802.15.4 LR-WPANs: self-configuring solutions for real application scenarios”, Med-Hoc-Net, pp. 1-10, Jun. 2010.

[3] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, “Radar: An in building RF based user loaction and tracking system”, IEEE infocom, vol. 2, pp. 775-784 Mar. 2000.

[4] IEEE 802.15.4 “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs),” IEEE, Sep. 2006.

[5] 윤명현, 장동현, “WPAN기술 표준화 동향”, KEIT PD issue report, Nov. 2011, vol. 9.

[6] Chee-Yee Chong and Kumar, S.P, “Sensor networks: evoluation, opportunities, and challenges,” IEEE 2003, vol. 91, pp. 1247-1256, Aug. 2003.

[7] N. F. Timmons and W. G. Scanlon, “Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking,” in Proc. IEEE SECON, pp. 16-24, Oct. 2004.

[8] X. Liang and I. Balasingham, “Performance analysis of the IEEE 802.15.4 based ECG monitoring network,” in Proc. of the 7th IASTEDWOC, canada, pp. 16-24, May. 2007.

[9] N. F. Timmons and W.G. Scanlon, “An adaptive energy efficient MAC protocol for the medical body area networks,” in Proc. of IEEE Wireless VIATE, pp. 587-593, May. 2009

[10] V. Jelicic and V. Bilas, "Reducing Power Consumption of Image Transmission over IEEE 802.15.4/ZigBee Sensor Network," Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) pp.1211-1215, Nov. 2010.

[11] K. Zen, D. Habibi, A. Rassau, and I. Ahmad, “Perfeormace evaulation of IEEE

802. 15.4 for mobile sensor networks," Proc. of the 5th IEEE WOCN' 08, India, pp. 1-5, May 2008,

[12] Yong-Tae Park, Pranesh Sthapit, Dong-Hoon Lee, Yeon-Sang Choi and Jae-Young Pyun, "Data Fragmentation Scheme with Block ACK in Wireless Sensor Networks," Proc. of International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MCU), pp. 79-83, June. 2011.

[13] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions On Networking, Jun. 2004.

[14] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in IEEE INFOCOM 2002, vol. 3, pp. 1567-1576. Jun. 2002.

[15] Quan Zhou, Yongjun Xu and Xiaowei Li, "HTSMAC: High Throughput Sensor MAC for Wireless Video Networks," Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, pp. 2428-2431, Sep. 2007.

[16] Y. Huang, A. Pang and H. Hung, "A Comprehensive Analysis of Low-Power Operation for Beacon-Enable IEEE 802.15.4 Wireless Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 8, no. 11, pp. 5601-5611, Nov. 2009.

[17] F. Osterlind and A. Dunkels, "Approaching the maximum 802.15.4 multi-hop throughput," in Proc. 5th ACM Workshop Embedded Netw. Sens., Charlottesville, VA, Jun. 2008.

[18] E. Toscano and L.L. Bello, "Multiple channel Superframe Scheduling for IEEE 802.15.4 Industrial Wireless Sensor Networks," IEEE Trans. on Industrial Informatic, vol. 8, no. 2. pp. 337-350, May 2012.

[19] B.Y. Shih, C.J. Chang, A.W. Chen, and C.Y. Chen, "Enhanced MAC chnnel selection to improve performance of IEEE 802.15.4," International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol. 6, no. 12, pp. 5511-5526, 2010.

[20] F. Zhang, F. Wang, B. Dai, and Y. Li, "Performance Evaluation of IEEE802.15.4 beacon-enable Association Process," in Proc. 22nd Int. Conf.

Adv. Inf. Netw. Appl, pp. 541-546, Mar. 2008.

[21] F. Silva, C. Branquinho, and M. Assumpcao, “Mobility Impact on IEEE 802.15.4 Network through a Simulation Platform,” IEEE Latin America Transaction, vol. 9, no. 5, pp. 655-652, Sep. 2011.

[22] K. Zen, D. Habibi, and I. Ahmad, “Improving Mobile Sensor Connectivity Time in IEEE 802.15.4 Networks,” Proc of Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC), 2008, pp. 317-320. Dec. 2008.

[23] C. Chaabane, C. Pegatoquet, M. Auguin, and M. D. Jemaa, “Energy optimization for mobile nodes in a cluster tree IEEE 802.15.4/Zigbee network,” Proc of IEEE Computing, Communications and Applications Conference (ComComAp), pp. 328-333, Jan. 2012.

[24] F. Bashir, W.S Baek, P. Sthapit, D. Pandey, and J. Y. Pyun, “Coordiator Assisted Passive Discovery for Mobile End Devices in IEEE 802.15.4,” in Proc. of IEEE CCNC, Jan. 2013.

[25] Ns2: http://nsnam.isi.edu/nsma/index.php/main page.