



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

공학석사학위논문

환자 모니터링 시스템에서
에너지 효율적인
이동성 지원 방안 연구

Energy-efficient Mobility Scheme
for Patient Monitoring Systems

2013년 2월

서울대학교 대학원
전기·컴퓨터 공학부
한 영 일

환자 모니터링 시스템에서 에너지 효율적인 이동성 지원 방안 연구

Energy-efficient Mobility Scheme
for Patient Monitoring Systems

지도교수 전 화 속

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2013년 2월

서울대학교 대학원

전기·컴퓨터 공학부

한 영 일

한영일의 공학석사 학위논문을 인준함

2013년 2월

위 원 장 _____ 인

부위원장 _____ 인

위 원 _____ 인

초 록

최근 삶의 질이 향상되면서, 헬스케어 산업에 대한 관심이 증가되고 있다. 이와 더불어 헬스케어 기술의 보급화는 만성적 질병을 가지고 있는 환자나, 노인들에게 간병인의 도움을 최소화할 수 있게 도움을 줄 것으로 전망된다. 헬스케어 시스템 중에서 환자 모니터링 시스템은 응급 상황에 대한 신속한 대처를 위해서 환자의 신체 상태를 유무선 인터페이스를 통해 지속적으로 관찰하는 시스템을 말한다. 환자 모니터링 시스템에서 환자의 신체 정보를 수집하고 전달하는 센서 노드는 잦은 배터리 교체 없이 오랫동안 환자의 몸에 부착되어 지속적으로 환자의 신체정보를 전송해야 하기 때문에 낮은 전력 소모가 필수적이다. 또한 병원에 입원한 환자가 병실 이외의 다른 곳으로 이동하더라도 환자 모니터링은 언제 어디서든 지속되어야 한다.

본 논문은 무선 센서 네트워크의 표준에서 근거리 무선 통신기술 중 가장 낮은 전력으로 통신이 가능한 IEEE 802.15.4 표준을 따르는 환자 모니터링 시스템을 고려한다. IEEE 802.15.4 표준은 낮은 전력 소모와 저렴한 가격 그리고 사용의 편의성을 제공하여 작은 네트워크를 구성하는데 적합한 표준이다. 그러나 이 표준에서는 이동성을 따로 지원하지 않기 때문에 환자 모니터링 시스템에서 이동성을 지원하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 기존의 환자 모니터링 시스템에서의 이동성 지원 연구는 센서 노드의 이동성에 초점을 맞추어 센서 노드의 에너지 소모는 크게 고려하지 않았다.

본 논문에서는 센서 노드의 에너지 소모와 더불어 센서 노드의 이동에 의한 연결 실패 (link failure)를 줄이는 방법으로 AP (access point) 클러스터를 이용하는 방법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 각 AP들을 유선으로 연결하고 각 센서 노드와 AP간에 코디네이터 역

할을 수행하는 코디네이션 노드를 두어 하위 센서 노드들의 이동성을 보장한다. 코디네이션 노드와 무선으로 연결된 AP를 중심으로 주변에 서비스 영역 (coverage)이 겹치는 인접한 AP들을 그룹으로 정의하며 이를 AP 클러스터 (AP cluster)라고 한다. AP 클러스터 내의 AP들은 클러스터에 속한 모든 코디네이션 노드들의 정보를 가지며, 이를 통해 코디네이션 노드가 주기적으로 전송하는 데이터를 클러스터 내의 모든 AP들이 동시 수신 가능하도록 한다. 각 AP들은 수신한 데이터 패킷을 통해 채널의 품질을 측정하고 이 정보들을 비교하여 채널 품질이 더 좋은 AP로 코디네이션 노드의 연결을 직접 갱신할 수 있게 한다. 이로써 이동성 지원을 위해 코디네이션 노드가 AP와 주고 받아야 할 데이터를 줄일 수 있고 이와 더불어 AP와의 데이터 교환으로 소모되는 에너지를 줄일 수 있다. 또한 코디네이션 노드의 이동과 함께 인접 AP들이 코디네이션 노드의 정보를 갱신하여 끊임 없는 이동성을 지원한다.

본 논문에서 제안하는 환자 모니터링 시스템에서 에너지 효율적인 이동성 지원 기법은 모의실험을 통해 성능평가를 수행하였다. 성능평가 결과 제안한 에너지 효율적인 이동성 지원 기법은 AP와 코디네이션 노드간의 불필요한 메시지 교환을 줄임으로써 기존 기법들에 비하여 절반 이하의 전력 소모를 보인다. 더불어 AP 클러스터 내의 인접 AP들이 코디네이션 노드의 데이터를 동시에 수신하여 공유함으로써 서비스 영역이 확장되는 효과를 주어 연결 실패율이 기존 기법에 비하여 현저히 낮음을 확인할 수 있다.

주요어: 환자 모니터링, 헬스케어, 센서 네트워크, 저전력 이동성 기법

학 번: 2009-20916

목 차

1. 서 론.....	1
2. 관련 연구.....	5
2.1 IEEE 802.15.4 표준의 특성.....	5
2.2 IEEE 802.15.4 장치의 결합 및 분리.....	8
2.3 기존 이동성 지원 기법의 문제점 및 한계.....	11
3. 제안하는 에너지 효율적인 이동성 지원 기법.....	15
3.1 시스템 모델.....	15
3.2 제안하는 기법의 전체적인 구조 및 동작방식.....	19
3.3 제안하는 환자 모니터링 시스템.....	23
3.3.1 코디네이션 노드와 AP 클러스터의 이동 과정.....	24
3.3.2 제안하는 기법에서 신호의 수신 이득을 높이기 위한 방법....	28
4. 모의실험.....	31
4.1 실험 환경.....	31
4.2 실험 결과 및 분석.....	33
5. 결 론.....	38
참고 문헌.....	39
Abstract.....	41

표 목차

<표 1> IEEE 802.15.4 표준 물리 계층 정보.....	5
<표 2> IEEE 802.15.4 노드의 상태에 따른 전력 소모량	17
<표 3> 모의실험 파라미터	32
<표 4> 평균 패킷 전송 비율	35

그림 목차

<그림 1> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조	7
<그림 2> IEEE2.15.4의 결합 및 분리 과정	9
<그림 3> 연구 [5]에서 제안된 이동성 기법	13
<그림 4> 제안하는 환자 모니터링 시스템 모델	16
<그림 5> 인접 AP 간의 충돌을 막기 위한 전송 오프셋.....	20
<그림 6> 슈퍼프레임 번호가 추가된 비컨 프레임	22
<그림 7> 제안하는 AP 클러스터 이동(AP cluster moving) 기법.....	24
<그림 8> 코디네이션 노드와 AP 클러스터의 이동 과정.....	25
<그림 9> 제안하는 수신 이득을 높이기 위한 방법	29
<그림 10> 모의실험 환경	31
<그림 11> 비컨 간격에 따른 노드당 평균 전력 소모량	34
<그림 12> 제안한 기법과 기존 기법의 평균 전력 소모량 비교.....	35
<그림 13> 코디네이션 노드의 이동 속도에 따른 연결 실패율	36

1. 서 론

앞으로 약 20년 뒤인 2030년에는 65세 이상 노인 인구가 적어도 200만 명이 넘는 나라가 60개국 이상이 될 것으로 전망되고 있다 [1]. 최근 헬스케어 시스템 (healthcare system)은 노인인구의 증가와 더불어 건강에 대한 관심이 높아지면서 새로운 연구 주제로 관심을 모으고 있다. 헬스케어 시스템이란 사람의 신체에 센서를 부착하고 센서 노드로부터 수집된 정보를 유무선망을 이용하여 의료 서비스 제공자에게 전달하고 관리하는 시스템을 의미한다. 이와 관련하여 무선 센서 네트워크를 이용한 헬스케어 시스템에 관한 연구들이 진행 되고 있다 [2].

헬스케어 시스템 중에서도 병원에 입원한 환자의 신체 정보를 끊임없이 관찰하여 환자의 상태를 살피는 시스템을 환자 모니터링 시스템이라 한다. 이러한 환자 모니터링 시스템은 병원에서 환자들의 건강 상태를 끊임없이 관찰하고 수집하는 일을 유무선망을 통하여 자동으로 할 수 있게 함으로써 환자 관리 인력을 줄이는데 많은 도움을 줄 것으로 전망된다.

환자 모니터링 시스템에서 환자의 신체 정보가 병원 어디서든 지속적으로 전달되기 위해서는 병원 내에서 센서 노드의 자유로운 이동성이 제공되어야 한다. 기존의 헬스케어 시스템에서 이동성을 지원해주기 위한 방법으로는 셀룰러 네트워크 (cellular network)와 같은 기존의 이동 통신 네트워크를 이용하는 방법 등이 제안되었다 [8]. 그러나 병원에서 환자들의 건강 상태를 관찰하는 환자 모니터링 시스템의 경우 병원이라는 특성상 많은 수의 환자들이 모여 있고, 이

환자들로부터 수집된 모니터링 정보가 주기적으로 발생하기 때문에 많은 양의 유무선 통신자원이 끊임없이 요구된다. 이러한 상황에서 모든 환자의 모니터링 정보를 셀룰러 네트워크를 이용하여 전송할 경우, 셀룰러 네트워크에 많은 양의 데이터가 지속적으로 발생하여 신뢰적인 전송이 불가능 할 수도 있다. 이러한 특성으로 셀룰러 네트워크는 모든 환자들로부터 수집된 신체정보를 주기적으로 전달하는데 부적합하다. 이를 해결하기 위해 지속적으로 발생하는 일정한 양의 환자 신체 정보를 처리할 수 있는 전용 무선 센서 네트워크를 이용한 환자 모니터링 시스템이 제안되었다 [5]. 병원 전 지역을 커버하기 위해 여러 AP (access point)들을 설치하여 센서 노드들로부터 지속적으로 수집되는 정보를 각 AP가 분산적으로 처리하게 함으로써 신뢰성 있는 통신을 가능하게 할 수 있다. 그리고 배터리를 사용하는 센서 노드들은 전력 제약적 특성이 있기 때문에 환자 모니터링 시스템에서는 센서 노드의 소모 에너지를 줄이는 이동성 지원 방안이 요구된다. 그러므로 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 환자 모니터링 시스템에서 센서 노드의 에너지 소모를 줄이는 이동성 지원 방법을 제안하고자 한다.

기존의 센서 노드의 이동성과 관련된 초기 연구에서는 에너지 효율보다 센서 노드의 이동성에 초점을 둔 방법이 대부분이다 [3] [4]. 이 방법들은 데이터 전송 이외에 이동성 지원을 위해 각 센서 노드들이 AP로부터 정보를 계속 수신하여 이를 비교하고 결정하기 때문에 센서 노드의 에너지 소모를 증가시키는 문제점들이 남아 있다. 따라서 본 논문에서는 환자 모니터링 시스템에서 센서 노드의 이동으로 발생할 수 있는 연결 실패 (link failure)를 줄이고 센서 노드의 에너지 소모를 줄이는 이동성 지원 방법을 제안 한다.

본 논문에서 제안하는 이동성 지원 방법은 각 AP들이 센서 노드들로부터 데이터를 주기적으로 수신하고 그 신호들의 품질을 비교하여 채널 품질이 더 좋은 AP로 센서 노드의 연결을 갱신한다. 이렇게 AP들이 센서 노드들을 대신해 이동성 보장에 필요한 일을 처리하므로 센서 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 센서 노드와 연결된 AP를 중심으로 서비스 영역 (coverage)이 겹치는 인접한 AP들을 AP 클러스터 (AP cluster)라는 가상의 그룹으로 묶는다. 이 가상 그룹의 AP들은 센서 노드로부터 동시에 측정된 LQI (link quality indicator)¹ 값들을 인접 AP들이 측정된 LQI값과 비교하여 수신 신호 품질이 일정 값 이상인 AP들 중 가장 채널의 상태가 좋은 AP로 센서 노드의 연결을 갱신하여 센서 노드의 이동성을 지원한다. 인접한 AP들이 동시에 센서 노드의 신호를 수신하기 때문에 서비스 영역이 확장되는 효과가 있고, 여러 AP들의 신호를 합성 (combine)하여 수신 데이터의 이득 (gain)을 높일 수 있다. 그리고 센서 노드의 이동과 더불어 AP 클러스터의 정보를 갱신하여 센서 노드와 가상의 AP 클러스터가 함께 이동하는 효과가 있기 때문에 끊임 없는 이동성을 지원한다. 이와 같이 AP가 센서 노드를 대신하여 이동성 보장에 관련된 일을 처리함으로써 센서 노드의 에너지 소모를 최소화 하도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문에서 다루는 시스템인 IEEE 802.15.4 표준에 대한 간략한 설명과 함께 기존에 제안된 무선 센서 네트워크를 이용한 환자 모니터링 시스템에서 센서

¹ LQI (link quality indicator)는 수신된 패킷의 강도 및 품질에 대한 특성이 다. 이 값은 0x00에서 0xff 값을 가지며 수신기 ED (energy detection), SNR (signal-to-noise ratio) 측정, 또는 이 두 가지 방법을 모두 이용하여 구현한다.

노드의 이동성 지원에 관한 연구 및 그 한계점에 대해 알아본다. 이어서 기존 기법들이 가진 문제점을 보완하는 방법을 3장에서 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통해 제안한 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 IEEE 802.15.4 표준에 대해 간략히 설명하며 표준에 나타난 센서 노드의 결합 (association)과 분리 (disassociation)에 대하여 알아본다. 그리고 센서 네트워크에서 센서 노드의 이동성을 지원하기 위한 기존의 기법들을 살펴 본다. 이어서 기존 기법들의 문제점을 파악하고 본 논문에서 제안하는 센서 노드의 소모 에너지를 줄이는 이동성 지원 기법의 필요성을 알아 본다.

2.1 IEEE 802.15.4 표준의 특성

IEEE 802.15.4 표준은 전력 소모와 복잡도가 높지 않은 250kbps 이하의 LR WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) 규격에 대한 표준이다. IEEE 802.15.4 표준은 PHY 계층과 MAC 계층을 설명하고 있다. IEEE 802.15.4 표준은 868MHz, 915MHz 그리고 2.4GHz 대역을 지원하며 자세한 정보는 아래 <표 1>과 같다.

<표 1> IEEE 802.15.4 표준 물리 계층 정보

PHY (MHz)	Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)
868	300	BPSK	20	20
915	600	BPSK	40	40
2450	2000	O-QPSK	250	62.5

IEEE 802.15.4 표준은 슈퍼프레임 구조의 선택적 사용을 허용하며 슈퍼프레임의 포맷은 코디네이터에 의해 정의 된다. 코디네이터는 자신과 연결된 센서 노드들로부터 데이터를 수신하고 그 데이터를 상위 네트워크로 전달하는 역할을 수행한다. 코디네이터가 일정 간격으로 슈퍼프레임 구조 정보가 포함된 비컨 (beacon)을 전송하며 비컨을 수신한 센서 노드는 비컨에 포함된 정보를 통해 슈퍼프레임의 구조를 파악한다. 비컨 수신부터 그 다음 비컨 수신 직전까지의 시간을 비컨 간격 (BI: beacon interval)이라고 하며, 비컨 간격은 다음과 같이 정해진다.

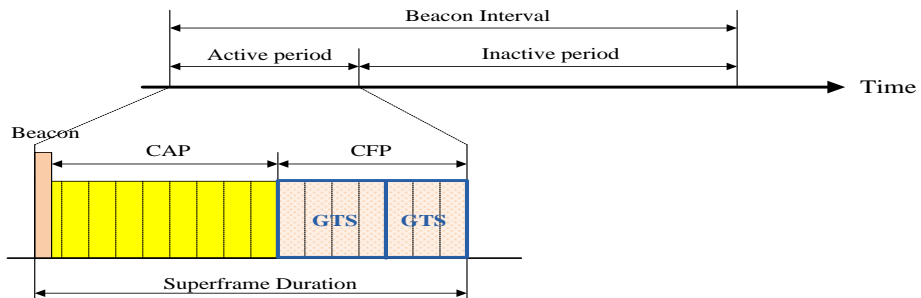
$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{macBeaconOrder} \quad (1)$$

여기서 $aBaseSuperframeDuration$ 은 960이라는 고정된 값을 가지며 이 값은 슈퍼프레임을 구성하는 심벌의 개수를 의미한다. 그리고 $macBeaconOrder$ 는 0에서 14 사이의 값으로 이 값을 이용하여 비컨 간격의 길이를 설정할 수 있다. 이 값은 슈퍼프레임의 시작 위치에서 전송되는 비컨 프레임에 포함되어 전송된다. 즉 IEEE 802.15.4 표준의 PHY에서 제공하는 Symbol rate가 62.5 ksymbols/s인 2.4GHz 대역을 사용한다고 가정하면 하나의 심벌은 16 μ s가 되며 비컨 주기는 최소 15.36 ms 에서 최대 251.65824 초가 된다. 비컨 간격을 기준으로 활성구간 (active)과 비활성구간 (inactive)으로 구분할 수 있으며 비활성구간 동안 코디네이터는 저전력 모드로 들어갈 수 있다. 활성구간은 비컨 간격보다 작거나 같을 수 있고 활성구간이 비컨 간격과 같을 경우 비활성 구간은 존재하지 않는다. 활성 구간인 슈퍼프레임 기간 (SD: superframe

duration)의 길이는 다음과 같다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{macSuperframeOrder} \quad (2)$$

여기서 *macSuperframeOrder*는 0에서 14 사이의 값으로 슈퍼프레임 구간의 길이를 설정할 수 있다. 이 값은 슈퍼프레임의 시작위치에서 전송되는 비컨 프레임에 포함되어 전송된다. <그림 1>은 IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조를 보여준다.



<그림 1> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

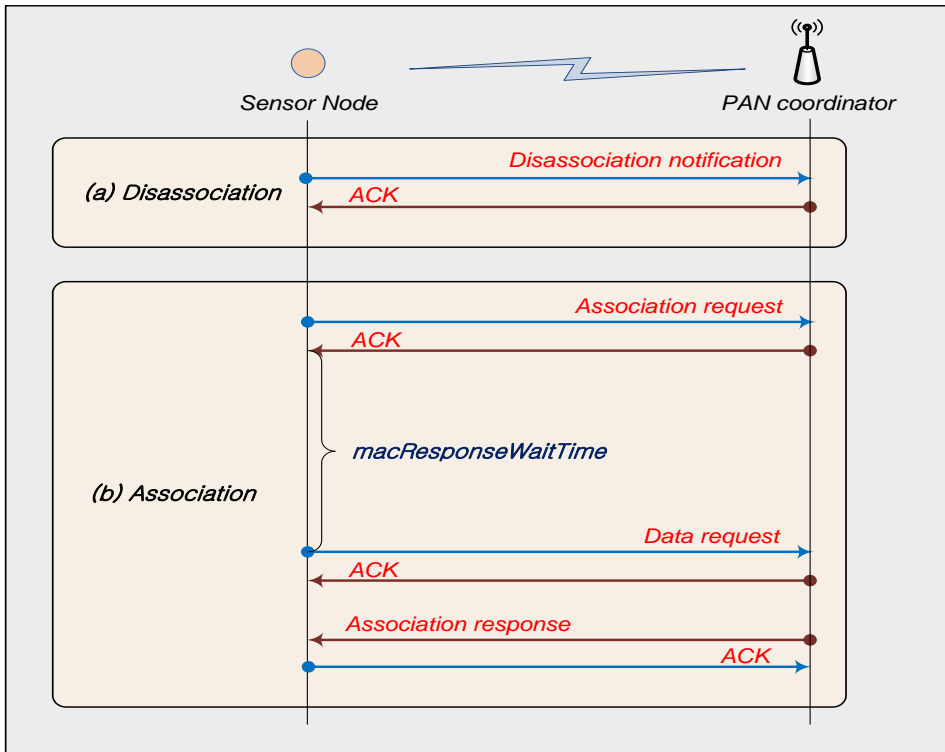
활성구간인 슈퍼프레임 기간은 CAP (contention access period)와 CFP (contention free period)로 다시 나뉘어 진다. CAP는 CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)기반의 경쟁 구간이며 CFP는 경쟁이 없는 통신을 위해 따로 구분하여 사용한다. 즉 이 구간은 코디네이터가 예약한 센서 노드만 사용 가능하다. 시간 할당을 효율적으로 관리하기 위해 슈퍼프레임 기간을 16개의 동일한 크기의 시간 슬롯 (time slot)으로 구분한다.

비컨 프레임은 매 슈퍼프레임의 처음 슬롯의 시작에 전송되며, 이어서 비컨 프레임 다음 슬롯에서부터 CAP구간이 시작된다. 이 CAP구간은 비컨 프레임 다음 슬롯부터 CFP구간이 시작하기 전 슬롯까지 이어진다. 슈퍼프레임 CAP 끝에 바로 CFP구간이 따라오며 활성화구간의 끝까지 CFP구간이 된다. 슈퍼프레임 기간의 16개의 동일한 간격 중 최대 7개의 슬롯을 CFP구간에 할당 가능하며 비컨 전송을 위한 첫 번째 슬롯을 제외하고 CFP구간이 아닌 나머지 구간을 CAP로 사용한다. 또한 센서 노드는 적은 지연 시간과 특정 데이터 밴드를 요구하는 애플리케이션을 위해, PAN 코디네이터로부터 하나 이상의 CFP구간의 시간슬롯을 할당 받을 수 있으며, 이를 GTS (guaranteed time slot)라 부른다. 이 GTS 구간은 센서 노드가 PAN 코디네이터에게 요청 메시지를 통해 요청할 수 있으며 PAN 코디네이터로부터 ACK메시지를 수신한 이후 전송된 비컨을 통해 센서 노드는 자신에게 할당된 GTS를 확인한다. 그리고 비컨 메시지에 자신에게 할당된 GTS가 존재하면 그 슈퍼프레임에서 전송을 한다. 센서 노드는 제거를 원하는 GTS가 있다면 PAN 코디네이터에게 제거 요구 명령을 전송하여 제거를 요구할 수 있다. 또한 센서 노드가 할당된 GTS를 일정 기간 사용하지 않으면 해당 GTS는 PAN 코디네이터에 의해 회수 된다.

2.2 IEEE 802.15.4 장치의 결합 및 분리

IEEE 802.15.4 표준에서는 센서 노드가 다른 네트워크 영역으로 이동할 때 기존 네트워크와 분리하고 다시 새로운 네트워크에 결합하는 과정을 반복한다. <그림 2>는 IEEE 802.15.4 표준에서

센서 노드가 PAN 코디네이터와 결합하는 과정과 분리하는 과정을 보여준다. <그림 2>의 (a)는 센서 노드의 분리과정을 나타내며, (b)는 결합 과정을 나타낸다.



<그림 2> IEEE 802.15.4의 결합 및 분리 과정

센서 노드가 네트워크와 결합하기 위해서는 센서 노드는 결합할 PAN 코디네이터를 찾아야 하며 PAN 코디네이터를 찾기 위해 센서 노드는 채널을 스캔 한다. 이때 채널을 스캔 하는 시간은 다음과 같다.

$$ScanTime = aBaseSuperframeDuration \times (2^n + 1) \quad (3)$$

여기서 n 은 한 채널에서의 스캔 기간 (scan duration)을 조정하는 파라미터이다. 이 값은 0에서 14 사이의 값을 가지며 이 *ScanTime* 심벌 기간 동안 한 채널에서 스캔을 수행한다. 이 과정에서 센서 노드는 주변의 PAN 코디네이터를 찾아 채널을 선택한다. 이때 결합을 원하는 센서 노드는 PAN 코디네이터에게 결합 요구 (association request) 명령을 전송하여 결합 절차를 개시한다. 결합 요구를 받은 코디네이터는 수신 확인을 위한 ACK 프레임을 전송한다. 단, 결합 요구 명령에 대한 ACK는 센서 노드가 결합되었음을 의미하지는 않는다. 코디네이터 상위 계층에서는 현재 PAN의 가용 자원이 충분한지 결정하기 위한 시간을 필요로 한다. 이 결정은 *macResponseWaitTime* 시간 이내에 내려야만 한다. 여기에서 이 응답 대기 시간은 센서 노드가 요구 명령 프레임에 뒤따르는 결합 응답 (association response) 명령 프레임을 기다리는 최대 시간으로, *aBaseSuperframeDuration*의 배수로 표현되며 2에서 64사이의 값을 가진다. 결합 요구 명령에 대한 ACK 프레임을 수신한 센서 노드는 *macResponseWaitTime* 심벌 기간 동안 대기한 후 PAN 코디네이터에게 데이터 요구 (data request) 명령을 보내어 연결 응답 명령 프레임을 요청한다. 이후 PAN 코디네이터로부터 결합 응답 명령을 받으면 센서 노드는 네트워크에 결합하게 된다. 이때 센서 노드는 통신을 위한 16비트 주소를 코디네이터로부터 할당 받는다.

센서 노드가 네트워크에서 분리하는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 코디네이터가 결합된 센서 노드 중 하나를 PAN에서 이탈 시키려면, 분리 통보 (disassociation notification) 명령 프레임을 전달해야만 한다. 그리고 이를 수신한 센서 노드는 ACK 프레임을 전송하여

분리를 확인 한다. 또한 만약 센서 노드가 PAN을 이탈하기 원하면 자신의 코디네이터로 분리 통보 명령을 전송 한다. 분리 통보 명령을 받은 코디네이터는 ACK 프레임을 전송하여 확인해야만 한다. 이때 센서 노드는 채널 액세스 실패 때문에 ACK를 수신하지 못했더라도 스스로 분리되었다고 간주한다.

2.3 기존 이동성 지원 기법의 문제점 및 한계

IEEE 802.15.4 표준에서는 센서 노드의 이동성을 보장해주는 기술이 없으며 센서 노드가 이동함으로써 PAN 코디네이터의 범위를 벗어나 새로운 네트워크 범위에 접근할 때 기존의 네트워크에서 분리하는 과정과 새로운 네트워크로 결합하는 과정을 반복한다. 이 과정에서 센서 노드와 PAN 코디네이터의 연결은 일시적으로 끊어지게 된다.

이러한 이동성 제약 문제를 해결하기 위해서 제안된 이동성 지원 기법을 살펴보면 다음과 같다. [3]에서는 병원에서의 무선 센서 네트워크를 이용한 이동성 지원 기법을 제안한다. 이 기법은 각 병실마다 인터넷과 연결되는 로컬 게이트웨이 (local gateway)가 존재하며 이 로컬 게이트웨이는 다른 병실의 로컬 게이트웨이와 네트워크 백본 (backbone)을 통해 연결된다. 이 기법에서는 각 센서 노드들이 베이스 네트워크 (base network)를 가지고 있으며 방문 네트워크 (visit network)라고 불리는 다른 네트워크로 이동할 수 있다. 센서 노드가 움직여 네트워크 범위를 벗어나기 시작할 때, 센서 노드는 AP와의 링크 품질 (link quality)이 미리 정한 기준 값 이하로 떨어지는지 확인한다. 그리고 센서 노드는 방문한 네트워크에 들어설

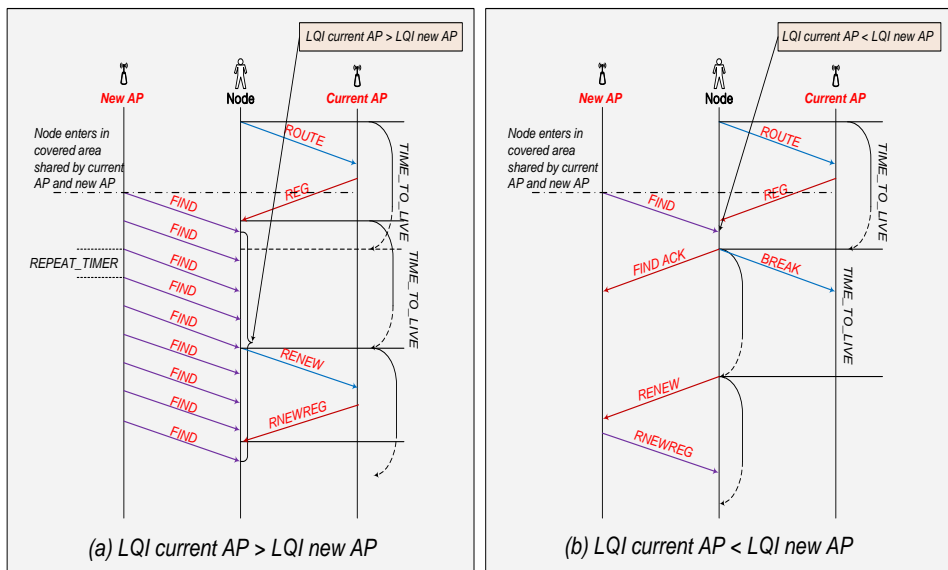
때 방문한 네트워크의 게이트웨이와 통신을 위한 정보를 얻기 위해 비컨 메시지를 수신해 필요한 정보를 얻게 된다.

이 기법에서는 서비스 영역 안에 있는 모든 센서 노드들이 매번 주기적인 메시지를 수신하여 LQI를 측정해서 이동에 의해 네트워크와의 연결이 끊어지는 것을 방지 해야 한다. 그러므로 항상 새로 네트워크에 진입하는 센서 노드 뿐만 아니라 현재 네트워크에 속한 이동하지 않는 다른 센서 노드들 역시 불필요한 비컨 메시지들을 수신하고 처리해야 하므로 센서 노드의 전력 소모를 촉진시키는 단점이 있다.

기법 [4]에서는 RSS (received signal strength)에 기반한 핸드오버 결정 방식을 보여준다. 그 과정은 간략히 다음과 같다. 만약 현재 연결된 AP의 RSS가 정해진 값 이하로 떨어지면, 핸드오버 메커니즘이 초기화 된다. 핸드오버를 결정하기 위해서는 센서 노드와 AP사이의 RSS를 알아야 하며 그러기 위해서는, 센서 노드는 주기적으로 AP에게 메시지를 보내 응답을 요청한다. 그리고 센서 노드가 AP로부터 응답을 수신하면 수신 RSS의 평균을 계산하여 계산된 RSS가 정해진 값보다 작으면 핸드오버 절차를 진행한다. 그러나 만약 이에 대한 응답을 받지 못하면 센서 노드는 즉각 핸드오버 절차를 진행한다. 이 방식 또한 센서 노드와 AP간의 링크 품질 분석을 위하여 지속적인 메시지 교환을 필요로 하며 이로 인한 에너지 소모가 많아진다.

[5]에서 각 AP들은 연결이 끊긴 이전 센서 노드들의 정보를 historic cache에 저장한다. 그리고 이 historic cache 안의 정보들을 이용해 FIND 메시지를 센서 노드들에게 유니캐스트 (unicast)한다. 유니캐스트 한 FIND 메시지는 이동하는 센서 노드와 재 연결을 위해

사용된다. <그림 3>은 [5]에서 제안된 이동성 지원 기법을 보여준다. 만약 센서 노드가 FIND 메시지를 수신하게 되면, 센서 노드는 새 메시지의 LQI가 현재 AP의 마지막 메시지의 LQI보다 큰지 비교한다. 만약 새로운 AP의 LQI가 더 크면 새로운 AP에게 FINDACK 메시지를 보내 새 AP로 연결을 갱신한다. 여기서, 센서 노드는 현재 AP에게 BREAK 메시지도 함께 보낸다. BREAK 메시지를 수신한 AP는 현재 센서 노드의 정보를 historic cache에 저장한다. 만약 그렇지 않다면, 현재의 AP와 통신을 계속 한다.



<그림 3> 연구 [5]에서 제안된 이동성 지원 기법

<그림 3>의 (a)는 새 AP와의 연결이 없음을 보여주고 <그림 3>의 (b)는 새 AP로 연결이 갱신됨을 보여준다. 이 기법에서도 센서 노드가 AP에서 인접한 다른 AP로 이동할 때 주변의 AP들이 전송하는 메시지를 계속 주기적으로 수신하여 새로운 AP 신호의

LQI를 현재 AP의 LQI 값과 비교하고 연결의 갱신을 결정해야 하기 때문에 여전히 주변 AP들의 신호 수신을 위해 불필요한 에너지를 소모하는 단점이 있다. 또한 현재 AP로부터는 한번 신호를 수신하여 측정된 LQI값과 새로운 AP로부터 측정된 LQI값의 측정 시간의 차이로 인한 채널 품질의 변화를 반영하지 못하는 단점도 있다.

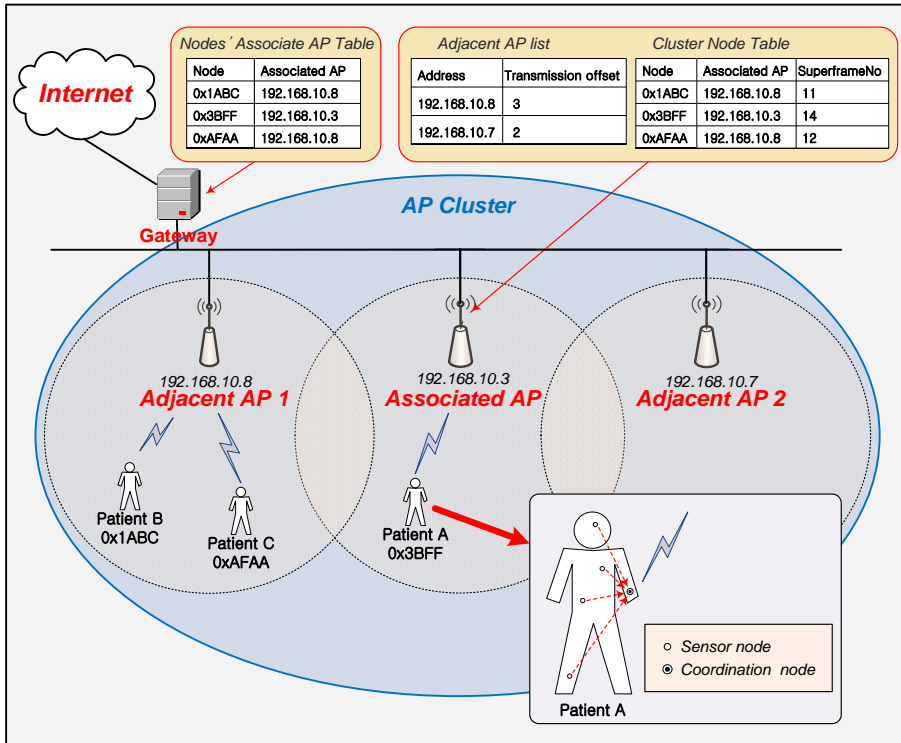
앞서 살펴본 이동성 지원 기법들은 대부분 센서 노드의 에너지 소모를 크게 고려하지 않고 채널의 품질 혹은 센서 노드의 이동을 파악하기 위해 센서 노드와 AP간에 불필요한 메시지를 교환함으로써 센서 노드의 에너지 소모를 증가시켜 센서 노드의 수명을 줄이는 문제점이 있다. 본 논문에서는 센서 노드의 전력 제약적 특성을 고려하여 기존 연구들의 문제점을 보완한 환자 모니터링 시스템에서 센서 노드의 에너지 소비를 줄여주는 이동성 지원 기법을 제안한다.

3. 제안하는 에너지 효율적인 이동성 지원 기법

이 장에서는 기존의 연구들이 센서 노드의 에너지 효율성 측면에서 가지는 문제점을 해결하기 위해 센서 노드의 에너지 소모를 줄이는 이동성 기법을 제안하며 이 기법의 구조와 구체적인 동작 방식을 기술한다.

3.1 시스템 모델

제안하는 환자 모니터링 시스템은 병원과 같은 환자들이 모여있는 의료 기관에 AP들을 설치하고 이를 이용하여 환자의 몸에 부착된 센서 노드로부터 수집된 환자의 신체 정보를 환자의 이동에 제약 없이 적은 전력 소모로 전송하도록 한다. <그림 4>는 제안하는 기법의 시스템 모델을 보여준다. 제안하는 기법의 시스템은 다음과 같이 구성된다. 병원 전 지역을 커버하는 여러 개의 AP들이 존재하며, 이 AP들을 외부 네트워크와 연결해 주는 게이트웨이 (gateway)가 존재한다. 그리고 환자의 몸에는 하나 이상의 센서 노드가 부착된다. 그리고 환자마다 센서 노드로부터 전송되는 데이터를 모아 AP로 전달하는 코디네이터 역할을 담당하는 코디네이션 노드 (coordination node)를 하나씩 몸에 지니게 된다. 코디네이션 노드가 환자의 몸에 부착된 여러 개의 센서 노드들로부터 환자의 신체정보를 수집하고 일정한 전송 간격 (transmission interval)마다 AP로 직접 데이터를 전송 한다. 이때 전송 간격은 [9]에 따라 환자 모니터링에 필요한 QoS (quality of service)인 5초를 넘지 않도록 한다.



<그림 4> 제안하는 환자 모니터링 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 기법은 하나의 AP에 여러 대의 코디네이션 노드가 연결되는 구조를 갖는다. 환자의 몸에 부착된 센서 노드와 코디네이션 노드 사이의 통신은 무선 인체 영역 통신 (WBAN: wireless body area network) 표준인 IEEE 802.15.6 방식으로 동작하며 이동성 지원을 위한 코디네이션 노드와 AP간의 일대일 통신은 저속 근거리 통신 표준인 IEEE 802.15.4 방식으로 동작한다. 본 논문에서 제안하는 코디네이션 노드는 두 가지 표준 방식의 통신을 모두 지원한다고 가정한다. 본 논문에서는 이동성 지원을 위한 IEEE 802.15.4 표준을 이용한 코디네이션 노드와 AP간의 이동성 지원 방법을 제안한다. 본 논문에서 모든 AP들은 유선으로 전원을

공급 받으며, 이에 반해 센서 노드와 코디네이션 노드는 제한된 용량의 배터리 전력을 통해 동작한다. 센서 노드의 상태에 대한 전력 소모량은 <표 2>에 나타나 있다.

<표 2> IEEE 802.15.4 노드의 상태에 따른 전력 소모량 [7]

Action	Power
Device is in sleep	15 μ W
Device is in active mode	3 mW
Device transmits the packets	38 mW
Device receives the packets	35 mW

센서 노드와 AP가 직접 통신을 하지 않고 그 중간에 코디네이션 노드를 따로 두는 이유는 다음과 같다. 환자의 몸에 부착된 센서 노드들은 환자의 이동과 함께 동시에 연결 AP로부터 멀어지거나 새로운 AP와 가까워지게 된다. 때문에 환자의 몸에 부착된 모든 센서 노드들은 동시에 새로운 AP와 연결을 갱신해야 한다. 그러나 여러 센서 노드들을 관리하는 코디네이션 노드를 따로 둬으로써 여러 센서 노드들이 각자 AP와 연결을 갱신할 필요 없이 코디네이션 노드의 갱신만으로 환자의 몸에 부착된 모든 센서 노드의 이동성이 보장된다. 코디네이션 노드가 각 센서 노드들로부터 수집된 환자의 신체 정보를 AP로 전달하며, 이동성을 위한 연결을 갱신하는 일을 맡아서 처리함으로써 각 센서 노드들의 전력 소모를 줄이며 각 센서 노드들의 이동성 지원을 위한 오버헤드를 줄일 수 있다.

각 AP들은 다른 AP들과 유선으로 연결되어 서로 간의 통신이 가능하다. 또한 코디네이션 노드들로부터 환자의 신체 정보를 전달

받은 AP들은 전달 받은 환자의 신체 정보를 병원의 유선망에 연결된 게이트웨이를 통해 외부 네트워크로 전달한다. 모든 AP들은 유선망에 연결된 게이트웨이로부터 주기적으로 전송되는 동기신호를 통해 모두 동기화 된다고 가정한다. 여기서 코디네이션 노드와 무선으로 연결된 AP를 연결 (associated) AP라 하고, 이 연결 AP와 서비스 범위가 겹치는 인접한 AP들을 인접 (adjacent) AP라 한다. 그리고 각 코디네이션 노드는 자신의 연결 AP를 중심으로 그 연결 AP와 서비스 영역이 겹치는 인접 AP들을 그룹으로 정의하며 이를 각 코디네이션 노드의 AP 클러스터 (AP cluster)라 한다.

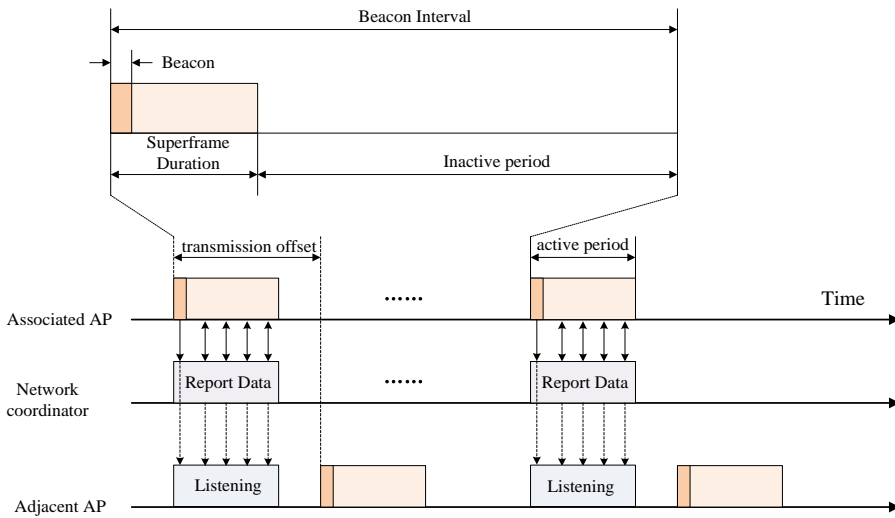
게이트웨이는 병원에서 통신을 하는 모든 코디네이션 노드들의 정보를 각 코디네이션 노드의 연결 AP 정보와 함께 테이블로 저장하며 이 정보들은 각 AP들로부터 유선을 통해 전송되어 업데이트 된다. 각 AP들은 AP 클러스터내의 다른 인접 AP들과의 정보 공유를 위해 인접 AP 목록 (adjacent AP list)이라는 멀티캐스트 (multicast) 통신 목록을 가진다. 여기서 인접 AP 목록은 인접 AP들의 주소정보와 AP들 간의 비컨 충돌을 방지하기 위한 전송 오프셋 (transmission offset)으로 구성된다. 여기에서 이 전송 오프셋은 인접한 AP 사이에 전송 충돌을 막기 위한 전송 시간의 차이로 슈퍼프레임 기간의 배수로 표현된다. 전송 오프셋을 이용한 인접 AP간의 충돌을 막기 위한 자세한 방법은 3.2에서 설명하도록 한다. 또한 각 AP들은 자신이 속한 AP 클러스터 내의 모든 AP들에 연결된 코디네이션 노드들의 목록을 가지고 있으며 이를 클러스터 노드 테이블 (cluster node table)이라고 한다. 클러스터 노드 테이블은 각 센서 노드들의 주소 정보와 연결 AP 주소 그리고 각 센서 노드들에게 할당한 슈퍼프레임 정보로 구성된다. 클러스터 노드

테이블을 통해 AP 클러스터에 속한 AP들에 연결된 모든 코디네이션 노드들을 관리한다. 클러스터 노드 테이블은 코디네이션 노드의 주소 정보와 코디네이션 노드의 연결 AP의 주소 그리고 할당된 시간 정보로 구성된다. 코디네이션 노드가 이동하면서 AP의 서비스 범위를 벗어나거나 AP의 서비스 범위로 새로운 코디네이션 노드가 들어올 때마다 멀티캐스트 메시지에 의해 인접 AP들의 클러스터 노드 테이블을 갱신한다. 이때 코디네이션 노드가 AP의 범위를 벗어나는 것은 측정한 LQI 값으로 추정하며 AP의 범위로 들어오는 것은 코디네이션 노드의 이전 연결 AP가 메시지로 알려준다. 이는 마치 코디네이션 노드가 이동할 때 코디네이션 노드의 연결 AP를 갱신하면서 동시에 AP 클러스터를 같이 갱신하여 AP 클러스터가 코디네이션 노드를 따라 함께 움직이는 것 같은 효과를 보인다. 앞으로 이를 AP 클러스터 무빙 (AP cluster moving)이라고 표현한다.

3.2 제안하는 기법의 전체적인 구조 및 동작 방식

제안하는 기법은 앞장에서 설명한 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임과 동일한 슈퍼프레임 구조를 가진다. 제안 하는 기법에서 모든 AP들은 모두 동일한 물리적 채널을 사용하여 통신을 한다. 모든 AP들이 동일한 채널을 사용하여 통신을 하므로 AP간의 충돌을 막기 위해 AP마다 다른 전송 오프셋 (transmission offset)을 사용하여 동시 전송에 따른 인접 AP간의 충돌을 피하도록 한다. <그림 5>는 인접한 AP들 간의 충돌을 피하기 위한 전송 방식을 보여준다. 이 전송 오프셋을 이용하여 AP는 인접한 AP들이 모두 비활성 구간인 동안

슈퍼프레임을 전송하여 인접 AP들과 충돌을 피한다. 이때 나머지 AP들은 인접 AP 목록에 포함된 각 AP의 전송 오프셋 정보와 클러스터 노드 테이블에 포함된 각 코디네이션 노드들의 연결 AP 정보를 이용하여 비활성 구간 동안 인접 AP들의 비컨과 인접 AP에 연결된 코디네이션 노드들이 전송하는 정보를 수신한다.



<그림 5> 인접 AP간의 충돌을 막기 위한 전송 오프셋

본 논문에서 제안하는 기법에서는 비컨 프레임의 비컨 페이로드 (beacon payload) 시작 위치에 슈퍼프레임을 구분하기 위한 1 byte 크기의 슈퍼프레임 번호 (superframe number) 필드를 추가한다. 슈퍼프레임 번호 필드를 이용하여 각 슈퍼프레임을 0에서 255까지 최대 256개의 슈퍼프레임으로 구분이 가능 하다. 그리고 각 코디네이션 노드는 각자 정해진 슈퍼프레임 번호와 GTS를 AP로부터 할당 받는다. 각 센서 노드는 맨 처음 네트워크에 초기 결합할 때

결합 요구에 대한 ACK를 통해 슈퍼프레임 번호를 할당 받으며 이동으로 인해 연결 AP가 갱신 될 때 재할당 받는다. ACK 메시지에 할당할 슈퍼프레임 번호를 같이 전송할 때는 ACK 프레임 대신 데이터 프레임을 사용하여 연결 AP의 프레임 번호를 페이로드(payload)에 포함하여 전송한다. 이때 코디네이션 노드가 수신하는 프레임이 일반 데이터 프레임인지 혹은 ACK 메시지를 위한 데이터 프레임인지 구분하기 위해 데이터 프레임의 PHY header에 예약된(reserved) 1bit을 사용한다. 또한 할당 받은 GTS 정보는 GTS 요청 후 다음에 수신할 비컨 프레임에 포함되어 전송된다.

이렇게 각 슈퍼프레임을 구분하는 이유는 각 코디네이션 노드마다 독립된 전송 시간을 할당하여 비경쟁 방식으로 전송하게 하기 위함이다. 환자 모니터링 시스템은 항상 주기적으로 정해진 양의 정보가 발생되기 때문에 각 코디네이션 노드가 AP에 데이터를 전송하는 자원을 시간에 따라 구분하여 비경쟁방식으로 사용하는 것이 효율적이다. 그러나 기존의 IEEE 802.15.4 표준에서는 슈퍼프레임이 동일한 크기의 16개의 시간 슬롯으로 구분하며 비경쟁 전송을 위한 CFP구간은 최대 7개의 시간 슬롯을 사용할 수 있기 때문에 그 이상 되는 환자의 정보를 비경쟁 방식으로 전송하기에 충분하지 않다. 따라서 각 코디네이션 노드가 비경쟁 방식으로 동작하기 위해 각 슈퍼프레임에 번호를 할당하여 구분하며 각 코디네이션 노드에게 전송을 위한 슈퍼프레임 번호와 GTS를 할당함으로써 여러 코디네이션 노드가 각각 정해진 시간을 비경쟁적으로 사용할 수 있게 한다.

Octets: 2	1	4/10	0/5/6/10/14	2	variable	variable	1	variable	2/4
Frame Control	Sequence Number	Addressing fields	Auxiliary Security Header	Superframe Specification	GTS fields	Pending address fields	Subframe Number field	Beacon Payload	FCS
MHR				MAC Payload					MFR

<그림 6> 슈퍼프레임 번호가 추가된 비컨 프레임

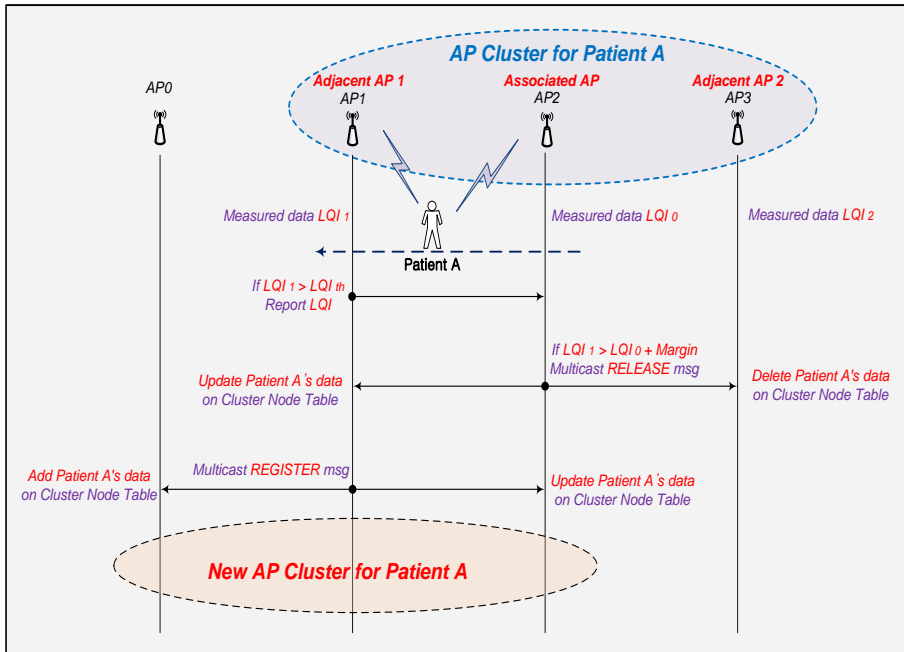
<그림 6>은 슈퍼프레임 번호를 추가한 비컨 프레임 구조를 보여준다. 슈퍼프레임에서 CFP는 각 코디네이션 노드가 AP로 주기적인 데이터 전송을 하기 위해 사용한다. 그리고 그 외의 나머지 경쟁 기반의 액세스인 CAP는 코디네이션 노드가 초기에 네트워크에 결합하거나 심장마비와 같은 우선순위가 높은 응급 상황을 우선적으로 알리기 위해 사용된다. 연결 AP는 코디네이션 노드가 인접 AP 서비스 영역으로 이동할 때 인접 AP 영역의 다른 코디네이션 노드와 충돌을 막기 위해 이동하는 코디네이션 노드에게 인접 AP에서 사용되지 않는 새로운 슈퍼프레임 번호를 할당할 수 있다. 이때 센서 노드가 사용하는 슈퍼프레임 번호가 이동하는 새로운 AP 영역의 센서 노드에 의해 사용되지 않는다면 기존의 번호를 그대로 사용하고, 중복으로 변경이 필요할 경우에는 기존의 슈퍼프레임 번호와 가장 가까운 사용되지 않는 슈퍼프레임 번호를 할당하여 이동에 의한 전송 간격의 변화를 최소화한다. 인접 AP에서 사용되지 않는 슈퍼프레임 번호는 클러스터 노드 테이블을 통해 알 수 있다. 새로 할당된 슈퍼프레임 번호의 전송과 관련된 자세한 설명은 3.3에서 다시 설명 하도록 한다.

3.3 제안하는 환자 모니터링 시스템

기존에 제안된 환자 모니터링 시스템에서의 이동성 지원은 센서 노드가 이동할 때 주변의 AP들의 신호를 듣고 주변 AP들의 LQI를 측정하여 현재 연결된 AP의 LQI와 비교하여 센서 노드가 현재 AP에게 메시지를 보내 연결을 끊고 채널 품질이 더 좋은 새로운 AP로 연결하는 방식이었다 [5]. 그러나 이렇게 센서 노드가 매번 새로운 AP의 신호를 듣고 현재 연결된 AP의 LQI보다 새로운 AP의 LQI가 더 좋은지 비교하기 위해 에너지를 소모하게 된다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 AP 클러스터 내의 AP들이 코디네이션 노드가 주기적으로 전송하는 데이터 패킷을 수신하고 이 패킷을 통해 해당 코디네이션 노드의 LQI를 측정한다.

이를 위해 각 코디네이션 노드는 AP로부터 할당 받은 정해진 시간에 데이터를 전송한다. 이때 AP 클러스터 내의 모든 AP들은 각자의 인접 AP 목록에 포함된 인접 AP들의 전송 오프셋 정보를 이용해 클러스터 내의 모든 AP들이 어느 시간에 비컨을 전송하는지 미리 알 수 있다. 그리고 클러스터 노드 테이블에 포함된 각 코디네이션 노드의 정보를 이용하여 인접한 AP에 속한 코디네이션 노드들의 전송 데이터를 수신하게 된다. 이렇게 AP 클러스터 내의 인접 AP들이 코디네이션 노드로부터 측정한 LQI 값을 연결 AP에게 보고하고, 이를 수신한 연결 AP는 수신 LQI 정보들을 비교하여 코디네이션 노드의 이동에 따른 새로운 연결 AP를 결정하고 새로운 AP로 코디네이션 노드의 연결을 갱신한다. 그리고 코디네이션 노드의 이동과 더불어 AP 클러스터의 정보를 갱신하여 코디네이션 노드와 가상의 AP 클러스터가 함께 이동하는 효과를 주어 끊임 없는

이동성을 지원한다. <그림 7>은 코디네이션 노드의 이동과 함께 AP 클러스터를 갱신하는 AP 클러스터 이동 기법을 보여준다.

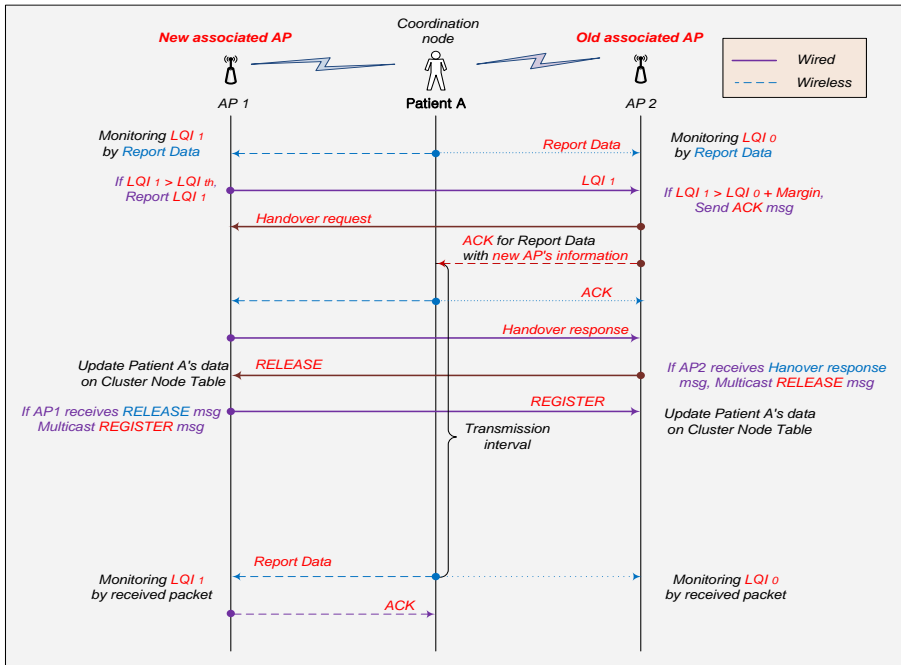


<그림 7> 제안하는 AP 클러스터 이동 (AP cluster moving) 기법

3.3.1 코디네이션 노드와 AP 클러스터의 이동 과정

앞서 설명한 대로 각 AP들은 인접한 AP들과 코디네이션 노드의 정보를 테이블로 가지며 이 정보는 주변 인접 AP들과 공유된다. 이 정보들을 기반으로 가상의 AP 클러스터가 형성되며, 이를 이용하여 센서 노드와 코디네이션 노드의 에너지 소비를 줄이는 이동성을 지원 기법을 제안하고자 한다.

<그림 8>에서는 코디네이션 노드의 이동 과정과 함께 AP 클러스터의 이동 과정을 보여주고 있으며 이 과정을 자세히 기술하면 다음과 같다



<그림 8> 코디네이션 노드와 AP 클러스터의 이동 과정

1. AP 클러스터 내의 모든 AP들은 자신의 클러스터 노드 테이블에 등록된 코디네이션 노드의 신호를 수신하여 LQI를 측정한다. 이때 수신한 LQI 값이 정해진 일정 값 이상이면 이 값을 해당 코디네이션 노드의 연결 AP에 우선으로 보고 한다. 보고 받은 LQI에 대해서 연결 AP는 우선으로 각각 ACK를 전송한다.

2. 인접 AP들로부터 LQI를 보고 받은 연결 AP는 수신된 LQI 정보들 중 가장 큰 값이 자신이 측정한 LQI 값보다 일정 마진 (margin)값 이상 크면 연결 AP는 가장 큰 LQI 정보를 송신한 인접 AP에게 핸드오버 요청 (handover request) 메시지를 전송하여 새로운 코디네이션 노드의 연결을 알려준다.
3. 그리고 연결 AP는 코디네이션 노드의 연결 AP 갱신을 위한 정보를 ACK 메시지와 함께 코디네이션 노드에게 전달한다. ACK 메시지에 새 연결 AP 정보를 같이 전송할 때는 ACK 프레임 대신 데이터 프레임을 사용하여 어드레스 필드에 새 연결 AP의 주소 정보를 넣어 함께 보낸다. 또한 새 연결 AP의 전송 오프셋 정보와 변경된 프레임 번호는 payload에 포함하여 전송한다. 이때 수신 데이터 프레임의 용도는 데이터 프레임의 PHY header에 예약된 1bit을 이용하여 구분 한다.
4. 새 연결 AP 정보가 포함된 ACK를 수신한 코디네이션 노드는 수신 메시지에 대한 ACK를 전송하여 새로운 연결 AP에 대한 정보를 수신하였음을 알린다.
5. 주변 신호를 듣고 있던 새 연결 AP는 코디네이션 노드가 전송한 ACK를 수신하고 핸드오버 메시지를 전송한 기존 연결 AP에게 핸드오버 응답 (handover response) 메시지를 전송하여 코디네이션 노드와 연결이 성공했음을 알린다.

6. 새 연결 AP로부터 핸드오버 응답 메시지를 받은 기존 연결 AP는 자신의 인접 AP들에게 이동한 코디네이션 노드의 ID와 주소가 포함된 release 메시지를 멀티캐스트한다. 그리고 이 메시지를 수신한 인접 AP들은 자신의 클러스터 노드 테이블에 있는 해당 코디네이션 노드의 정보를 삭제한다.
7. 이때 새 연결 AP는 자신의 클러스터 노드 테이블에 있는 해당 코디네이션 노드의 정보를 삭제하지 않고 해당 코디네이션 노드의 클러스터 노드 테이블 정보를 갱신한다. 갱신이 완료되면 코디네이션 노드와 새롭게 연결된 AP는 register 메시지로 자신의 AP 클러스터 리스트에 있는 인접 AP들에게 새로운 코디네이션 노드의 정보를 알린다.
8. register 메시지를 수신한 AP들은 자신의 클러스터 노드 테이블에 코디네이션 노드의 정보를 추가한다.
9. 코디네이션 노드는 정해진 시간 간격으로 새 AP에게 데이터를 전송한다.

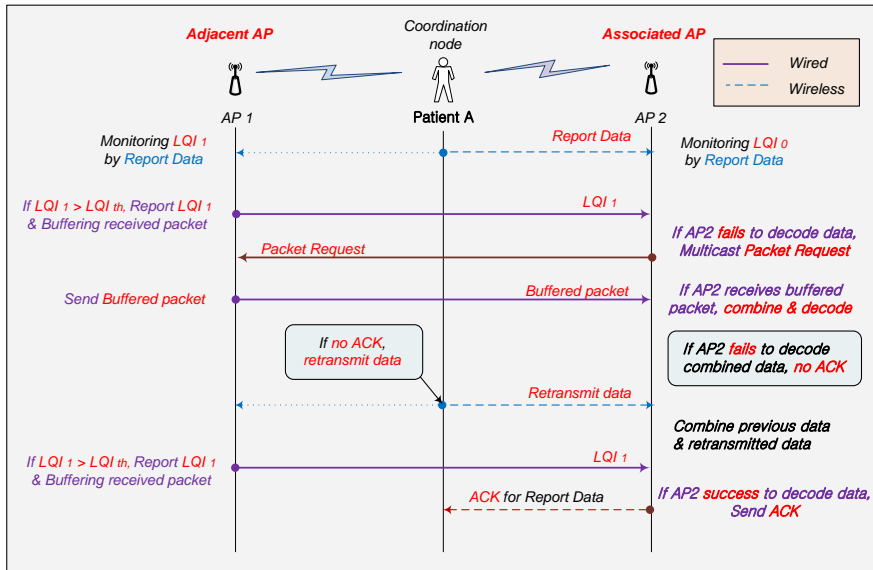
이렇게 환자의 이동과 함께 해당 코디네이션 노드의 정보가 담긴 각 AP들의 클러스터 노드 테이블을 갱신함으로써 가상의 AP 클러스터가 코디네이션 노드와 함께 이동하는 효과를 가져온다. 이를 통하여 센서 네트워크와 같은 서비스 범위 (coverage)가 작아 발생할 수 있는 코디네이션 노드의 이동으로 인한 연결 실패를 줄일 수 있다.

3.3.2 제안하는 기법에서 신호의 수신 이득을 높이기 위한 방법

제안하는 기법에서는 앞서 설명한 대로 코디네이션 노드가 일정 주기로 정해진 시간에 깨어나 AP의 비컨 신호를 듣고, 정해진 시간에 정보를 송신하게 된다. 그리고 정보를 송신하지 않는 기간 동안에는 주변 센서 노드들의 정보를 수신하는 것을 제외하고는 코디네이션 노드는 슬립 (sleep) 상태에서 에너지를 절약한다. 이렇게 코디네이션 노드가 AP와 일정 기간 동안 통신이 지속되지 않는 상태에서 AP의 서비스 영역을 벗어날 수 있다.

본 논문에서는 앞서 제안한 AP 클러스터 기법으로 코디네이션 노드가 인접 AP의 서비스 영역으로 이동하게 되어도 해당 인접 AP가 코디네이션 노드의 데이터를 수신하고 이 신호들을 기반으로 채널 품질을 측정하여 채널 품질이 더 좋은 AP로 연결을 갱신하기 때문에 연결 실패를 줄일 수 있다. 환자 모니터링 시스템에서 요구되는 데이터 전송 간격은 [9]에 따라 환자 모니터링에 필요한 최소 QoS (quality of service)인 5초를 넘지 않아야 한다. 그러므로 환자가 일반적인 보행 속도로 이동한다면 5초 이내에 AP 클러스터의 범위를 벗어날 확률은 매우 낮아지게 된다. 그러나 앞서 제안된 이동성 기법으로도 환자가 여러 AP 사이를 오고 가면서 연결 AP와 이미 멀어져 신호가 약해지고 이로 인해 때로는 수신한 패킷을 디코딩 (decoding)하지 못할 경우가 발생할 수 있다. 이때 인접 AP들로부터 동일한 수신 패킷을 전달 받아 합성 (combining)함으로써 수신 신호의 이득 (gain)을 높이는 효과를 얻을 수 있다. 그리고 코디네이션 노드가 이미 연결 AP의 서비스 영역을 벗어나 인접 AP의 서비스 영역으로 이동하더라도 수신신호의 결합으로 디코딩이 가능해지므로

서비스 영역이 넓어지는 효과를 가지게 된다. <그림 9>는 수신 이득을 높이는 과정을 보여주며 이 기법을 자세히 기술하면 다음과 같다.



<그림 9> 제안하는 수신 이득을 높이기 위한 방법

1. 각 인접한 AP 들은 코디네이션 노드로부터 수신한 패킷의 신호세기가 일정 값 이상이면, 코디네이션 노드의 연결 AP 에게 LQI 를 보고함과 동시에 수신한 데이터 패킷을 버퍼에 저장하여 둔다.
2. 그리고 연결 AP 가 수신 데이터를 디코딩 (decoding) 하지 못하면 연결 AP 는 LQI 를 리포트 한 인접 AP 들에게 패킷 요청 (packet request) 메시지를 멀티캐스트하여 수신한 데이터 패킷을 요청하고 인접 AP 들로부터 수신한 데이터들을 결합 (combine)한 후 다시 디코딩을 시도한다.

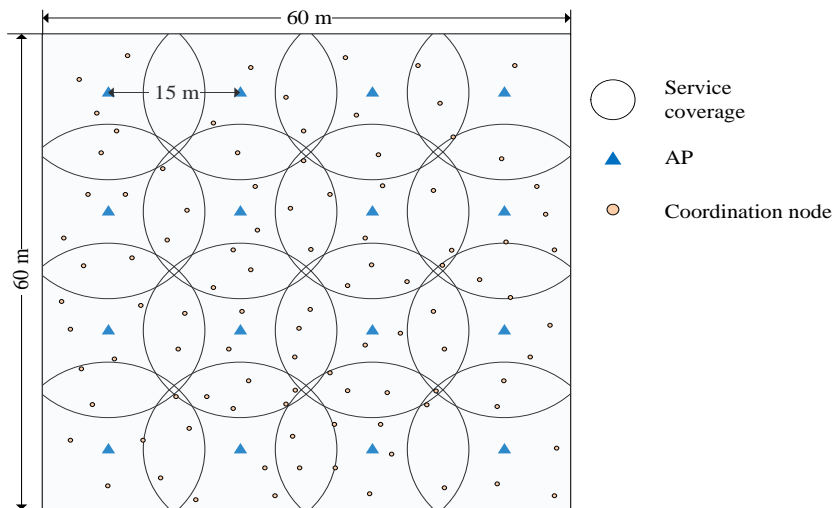
3. 이때 결합 (combine)한 패킷의 디코딩이 성공하면 AP 는 ACK 프레임을 코디네이션 노드에게 전달한다. 만약 디코딩이 실패하면 ACK 를 전달 하지 않는다.
4. ACK 를 수신하지 못한 코디네이션 노드는 데이터 패킷을 CAP 구간 동안 경쟁적으로 재전송 한다.
5. 그리고 연결 AP 는 재전송된 패킷을 이전 패킷과 결합하여 디코딩을 시도한 후 성공하면 연결 AP 는 ACK 메시지를 코디네이션 노드에게 전송한다.
6. 코디네이션 노드는 채널의 변화를 고려하여 재전송을 2 회 반복한다. 그리고 2 회 재전송된 패킷의 디코딩이 모두 실패하면, 코디네이션 노드가 이미 AP 클러스터의 서비스 영역을 벗어 났다고 판단하고 인접 AP 들에게 release 메시지를 멀티캐스트하여 인접 AP 들에게 클러스터 노드 테이블에 있는 해당 코디네이션 노드의 정보를 삭제하도록 한다.
7. 또한 코디네이션 노드는 두 차례 더 재전송 후에도 ACK 응답이 없으면 AP 연결 실패라고 판단하여 다시 네트워크에 진입하기 위한 채널을 스캔한 후 수신한 비컨 메시지 중 LQI 가 가장 좋은 AP 로 CAP 를 이용하여 네트워크 결합 요청 (association request) 메시지를 전송하여 가까운 AP 에 결합을 시도한다.

4. 모의실험

이 장에서는 제안한 환자 모니터링 시스템에서의 이동성 지원 기법의 성능 평가를 위해 기존에 제안된 기법과 본 논문에서 제안하는 기법의 소모 전력량과 연결 실패율²을 중심으로 성능을 분석한다.

4.1 실험 환경

본 실험에서는 병원 로비를 가정하여 <그림 10>에서 보는 바와 같이 가로 60 m, 세로 60 m의 정사각형 영역에 총 16 개의 AP 들을



<그림 10> 모의실험 환경 (대상 영역 및 AP와 노드들의 배치)

² 연결 실패율은 코디네이션 노드가 AP와 연결을 갱신한 횟수에 대한 AP와 연결이 끊어진 횟수의 비율을 나타낸다.

15 m의 동일한 간격으로 배치하고, AP 주변에 100 개의 코디네이션 노드를 랜덤하게 배치한다. 각 AP의 서비스 영역은 반경 12 m의 크기로 가정한다. 각 코디네이션 노드는 100 ms 단위로 위치 정보를 갱신하며, 이동 속력과 방향은 3초를 주기로 갱신한다. 코디네이션 노드의 이동 속력은 0~5 km/h 사이에서 랜덤하게 선택하며, 이동 방향과 속력이 일정한 주기에 따라 변경된다. 속력은 증가, 감소, 변화 없음을 각 1/3확률로 선택한다. 속도 변화 시 0~2 km/h의 범위에서 랜덤하게 선택한 임의의 값을 더하거나 빼준다. 방향 전환은 좌, 우, 직진을 각 1/3확률로 선택하며 방향 변경 시 현재 방향에서 좌, 우로 90도 이내의 범위로 균등분포를 따라서 갱신한 후 이동을 계속한다. 계산한 소모 전력량은 <표 2>를 기준으로 하였으며 본 모의실험에서는 각 코디네이션 노드와 AP간의 통신을 위한 전력 소모만을 고려한다.

<표 3> 모의실험 파라미터

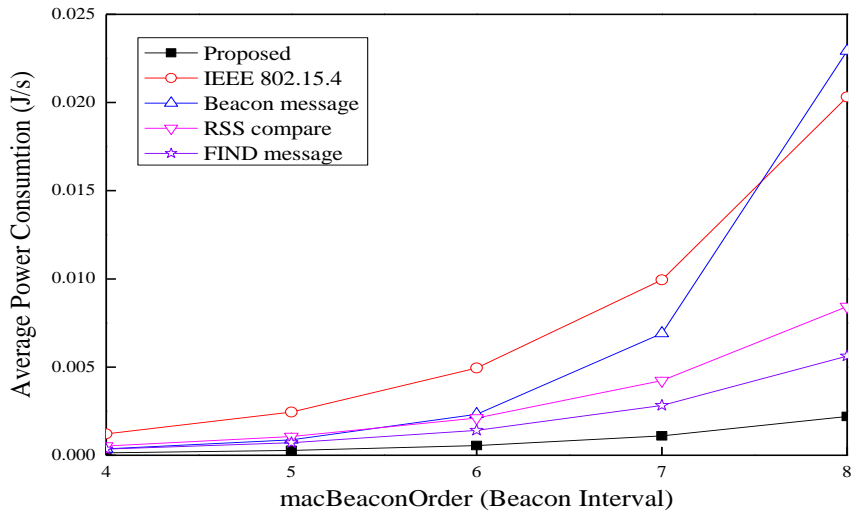
Parameters	Values
PHY Frequency	2.4 GHz
Bandwidth	2 MHz
Coordination node Tx Power	1 mW
AP Tx Power	5 mW
Beacon Interval	245.76 ms (macBeaconOrder = 4)
Superframe Duration	15.36 ms (macSuperframeOrder = 0)
Scan Time for each channel	Superframe Duration x 2 (ScanDuration n=0)
Time Slot length	960 μ s

본 모의실험에서 슈퍼프레임 길이는 15.36 ms 이고, 비컨 간격은 245.76ms 이다.

4.2 실험 결과 및 분석

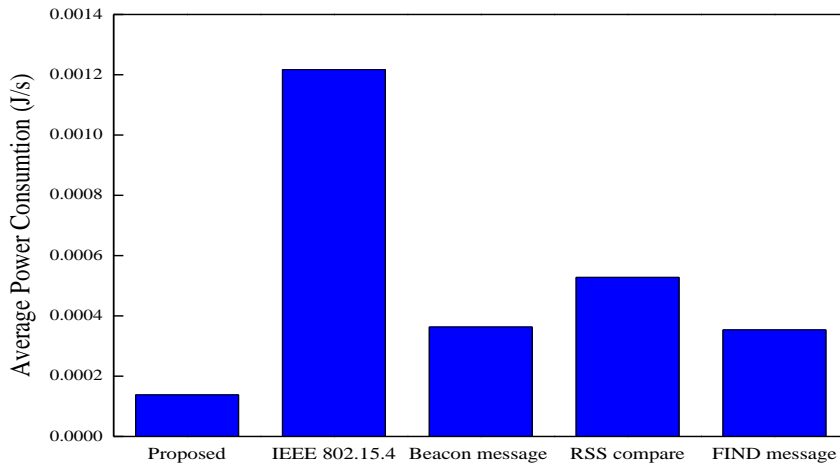
본 논문에서 사용한 성능 지표는 코디네이션 노드당 소모한 평균 전력과 AP와 코디네이션 노드 간의 평균 연결 실패율이다. 노드당 소모한 평균 전력은 노드당 소모하는 전력량을 측정한 값이며 평균 연결 실패율은 코디네이션 노드의 연결 AP가 갱신된 횟수에 대한 코디네이션 노드와 AP간의 연결이 끊어지는 횟수의 비율이다. 본 논문에서는 제안한 기법의 성능을 IEEE 802.15.4 표준 및 [3]-[5]에서 각각 제안한 세 가지 기법들의 성능과 비교한다. 기존에 제안된 기법 [3]을 Beacon message 기법으로 표기하며, [4]에서 제안된 기법은 RSS compare 기법으로 표기한다. 그리고 [5]에서 제안한 기법은 FIND message 기법으로 표기하도록 한다. IEEE 802.15.4 표준 및 기존에 제안된 기법의 동작은 2장 관련 연구를 참고한다.

본 논문에서는 제안하는 기법과 기존 기법의 에너지 소비 성능을 비교하기 위한 지표로서 한 노드가 소모하는 평균 전력에 대하여 비컨 간격에 변화를 주어 실험한다. <그림 11>은 비컨 간격에 따른 평균 전력 소모량을 보여준다. 그림에서는 전체적으로 비컨 간격이 증가함에 따라 소모 전력도 함께 증가함을 보여준다. 비컨 간격은 식 (1)에 따라 *macBeaconOrder* 가 4일 때 245.76 ms, 5일 때 491.52 ms, 6일 때 983.04 ms 그리고 7일 때는 1966.08 ms 가 된다.



<그림 11> 비컨 간격에 따른 노드당 평균 전력 소모량

<그림 11>을 살펴보면 전체적으로 모든 기법들이 비컨 간격에 따라 평균 전력 소모량이 증가함을 볼 수 있다. 환자가 새로운 서비스 영역으로 이동할 때 노드가 수신한 새로운 AP의 비컨 프레임에 기반하여 새로운 AP로 연결을 갱신하는 기법들에서는 비컨 간격이 길어질수록 새 AP의 정보를 수신하기 위한 시간이 길어지게 되므로 이에 따른 소모 전력이 비컨 간격에 비례하여 더 많이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 제안하는 기법은 환자가 새로운 서비스 영역에 진입할 때 비컨 메시지가 아닌 코디네이션 노드가 AP로부터 수신한 응답 메시지를 통해 새로운 AP로 연결이 갱신되므로 새로운 AP로 연결을 갱신하기 위해 소모하는 전력량은 기존 기법들에 비해 상대적으로 비컨 간격에 영향을 덜 받는다. <그림 12>는 슈퍼프레임 길이가 15.36 ms 그리고 비컨 간격이 245.76 ms 일 때 IEEE 802.15.4 표준 및 기존에 제안된 이동성 기법과 본 논문에서 제안한 기법의 노드당 평균 전력 소모량을 비교한 결과를 보여준다.



<그림 12> 제안한 기법과 기존 기법의 평균 전력 소모량 비교

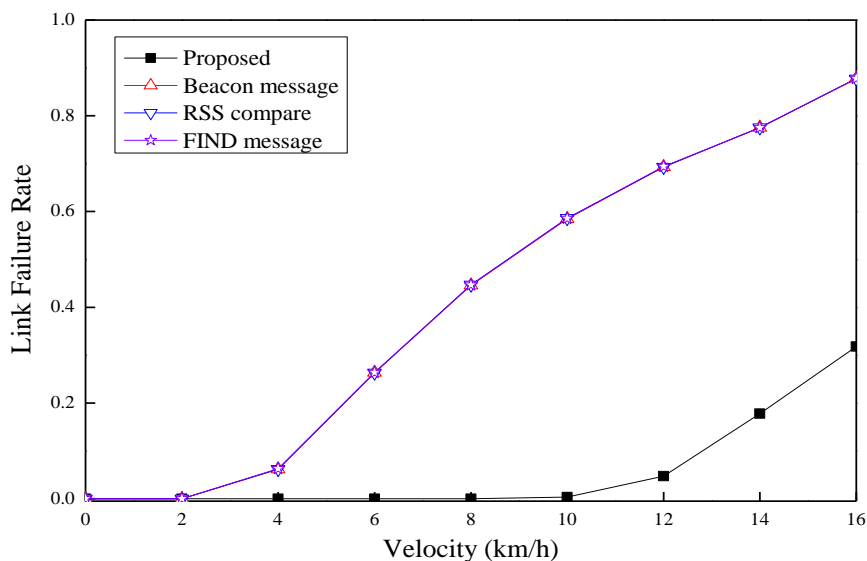
<그림 12>를 살펴보면 본 논문에서 제안하는 기법은 기존에 제안된 기법들과의 전력 소모량에 있어 두 배 이상의 차이를 보이는데, 이는 제안한 기법이 이동성 보장에 필요한 AP와 코디네이션 노드 간의 메시지 교환을 최소화 함으로써 노드의 전력 소모를 줄이기 때문이다.

<표 4> 평균 패킷 전송 비율

Scheme	Tx message	Rx message
Proposed	1	1
IEEE 802.15.4	1.61	1.61
LQI compare	1.60	12.91
RSS compare	16.84	16.84
FIND message	1.32	12.24

<표 4>는 본 논문에서 제안한 기법의 패킷 전송횟수에 대한 기존 기법의 패킷 전송 횟수의 비율을 나타낸다. <그림 12>와 비교해보면

패킷 전송 비율이 높은 기법일수록 전력 소모량은 증가한다. 그러나 IEEE 802.15.4 표준에서는 패킷 전송 비율에 비해 상대적으로 더 많은 전력 소모량을 보인다. 그 이유는 IEEE 802.15.4 표준에서는 코디네이션 노드가 새로운 AP 서비스 영역으로 진입할 때마다 새로운 AP로의 결합을 시도하기 위한 채널 스캔에 소모하는 전력이 많아지기 때문이다.



<그림 13> 코디네이션 노드의 이동 속도에 따른 연결 실패율

<그림 13>은 코디네이션 노드의 이동 속도에 따른 AP 연결 실패율을 보여준다. 연결 실패율은 코디네이션 노드와 AP 간의 연결이 끊어진 횟수를 코디네이션 노드가 새로운 AP로 연결을 갱신하는 횟수로 나눈 값을 나타낸다. <그림 13>에서 보여지듯 기존에 제안된 기법 대부분이 비슷한 성능을 보여주고 있다. 기존의 제안된 기법에서는 코디네이션 노드의 이동 속도가 빨라짐에 따라

연결 실패율 급격히 증가한다. 그 이유는 코디네이션 노드가 AP의 서비스 영역을 빠른 속도로 벗어날 때 코디네이션 노드가 AP로 응답 메시지를 보내기 전에 이미 연결 AP와 거리가 멀어져 연결이 끊어지기 때문이다. 그러나 본 논문에서 제안하는 기법은 이동 속도 증가에 따른 연결 실패율이 기존 기법들에 비해 현저히 낮음을 <그림 13>을 통해 알 수 있다. 이는 제안하는 기법의 경우 가상의 AP 클러스터를 이용하여 코디네이션 노드의 정보를 인접 AP들이 동시에 수신하므로 코디네이션 노드가 연결 AP의 영역을 벗어나더라도 인접 AP에서 코디네이션 노드의 정보를 수신할 수 있어 서비스 영역이 확장되는 효과를 가지기 때문이다.

5. 결 론

환자 모니터링 시스템에서 이동성 지원 기법은 무선 센서 네트워크의 전력 제약적인 특성 때문에 에너지 소비를 효율적으로 하면서 이동성을 보장해 주어야 한다. 이를 위해서는 센서 노드의 이동 중 AP와의 불필요한 메시지 교환을 최소화함으로써 전체적인 센서 노드의 이동 과정에서 소모되는 에너지의 양을 줄이는 것이 필수적이다. 그러나 기존의 제안된 기법에서는 센서 노드가 새로운 서비스 영역으로 이동할 때 가장 좋은 채널 품질을 가진 AP로 연결을 갱신하기 위해 노드가 직접 AP의 정보를 수신하고 비교하므로 이동성 보장을 위한 에너지 소모가 크다. 본 논문에서는 이동성 보장에 에너지 소모를 최소화 하기 위해 AP 클러스터라는 각 AP들과 서비스 영역이 겹치는 인접한 AP들의 그룹을 이용한 기법을 제안한다. 제안한 기법은 AP 클러스터 내의 AP들이 클러스터에 속한 모든 노드들로부터 주기적으로 전송된 데이터를 동시에 수신하여, 채널의 품질을 측정하고 비교해서 채널 품질이 더 좋은 AP로 노드의 연결을 직접 갱신한다. 이로써 이동성 지원에 필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다.

성능을 평가하기 위하여 제안한 기법과 기존에 제안된 기법에 대해 모의실험을 실시하였다. 모의실험 결과 제안한 기법이 기존에 제안된 기법에 비해 더 낮은 전력 소모를 보이는 것을 확인할 수 있다. 더불어 AP 클러스터 내의 인접 AP들이 코디네이션 노드의 데이터를 동시에 수신하여 공유함으로써 서비스 영역이 확장되는 효과를 주어 연결 실패율이 감소함을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] K. Kinsella and D.R. Phillips, "Global aging: the challenge of success," *Population Bulletin*, vol. 60, no. 1, Mar. 2005.
- [2] Hande Alemdar, "Wireless sensor networks for healthcare: A survey," *Int' l J. Comput. and Telecomm. Networking*, vol. 54, pp. 2688–2710, Oct. 2010.
- [3] Antonio J. Jara, Miguel A. Zamora and Antonio F. G. Skarmeta, "An Initial Approach to Support Mobility in Hospital Wireless Sensor Networks Based on 6LoWPAN (HWSN6)," *J. Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Comput. and Dependable Applications*, vol. 1, pp. 107–122. Oct. 2010.
- [4] H. Fotouhi, M. Alves, A. Koubaa and N. Baccour, "On a Reliable Handoff Procedure for Supporting Mobility in Wireless Sensor Networks," *Int' l Workshop on Real-Time Networks in conjunction with the 22nd ECRTS 2010*, Brussels, Belgium, Jul. 2010.
- [5] Caldeira, J.M.L.P., "Toward ubiquitous mobility solutions for body sensor networks on healthcare," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, pp. 108– 115, May 2012.
- [6] IEEE 802.15.4, "Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," Sept. 2011.
- [7] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: Enabling ultra-low power wireless research," *in Proc. IPSN/SPOTS*, Los Angeles, CA, pp. 364–369, Apr. 2005.

- [8] C. Otto, A. Milenkovic, C. Sanders, E. Jovanov, "System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring," *J. Mobile Multimedia*, vol. 1, no. 4, pp. 307–326, Jan. 2005.
- [9] JeongGil Ko, *et.al*, "MEDiSN: Medical emergency detection in sensor networks," *ACM Trans. Embedded Comput. Syst.*, vol. 10, no. 11, Aug. 2010.
- [10] Anas, E.M.A., "Compression of ECG signals exploiting correlation between ECG cycles," *Electr. and Comput. Eng.*, pp. 622–625, Dec. 2010.
- [11] Petajajarvi, J., "Soft Handover Method for Mobile Wireless Sensor Networks Based on 6LoWPAN," *Distributed Comput. in Sensor Syst. and Workshops 2011 Int' l Conf.*, pp. 1–6, Jun. 2011.
- [12] Li-Hsing Yen, "Risk-Aware Distributed Beacon Scheduling for Tree-Based ZigBee Wireless Networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 11, pp. 692–703, Apr. 2012.
- [13] Farahani and Shanin, "DESIGNING ZIGBEE NETWORKS AND TRANSCEIVERS," *ISBN 0750683937*, May 2008.
- [14] IEEE 802.15.4 "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs)," Sept. 2006.
- [15] IEEE 802.15.6, "Wireless Body Area Networks," Feb. 2012.

Abstract

Energy-efficient Mobility Scheme for Patient Monitoring Systems

Young Il Han

Department of Electrical Engineering

and Computer Science

The Graduate School

Seoul National University

Recently, with the improvements to the quality of life, the researchers' interest in healthcare industry has been intensively increasing. The wireless technology for pervasive healthcare is expected to reduce health care costs for the patients with chronic disease and the elderly. The patient monitoring system is one of such healthcare services, which is used to collect and deliver bio-signal data from patients to the healthcare service provider. Since monitoring devices attached to patients' body may keep operating for a long time without battery exchange, low-energy consumption in patient monitoring systems is much demanded.

Moreover, some patients need continuous monitoring of their health conditions while they move. Therefore the mobility support is also demanded in patient monitoring systems.

In this paper, we propose an energy-efficient mobility scheme for patient monitoring systems using IEEE 802.15.4 standard. Since there are many virtues of IEEE 802.15.4 standard technology, such as low power consumption, low cost, small size, free frequency and etc., IEEE 802.15.4 standard technology is considered suitable for patient monitoring system. However, IEEE 802.15.4 standard does not support mobility. Hence additional studies are needed in order to enable the mobility support for patient monitoring system using IEEE 802.15.4 standard. The previous works for solving this mobility problem in patient-monitoring system are only focused on the mobility of the sensor node without any consideration of energy consumption. Therefore in this paper, we propose an energy-efficient mobility scheme jointly considering energy efficiency and mobility for the sensor nodes. To reduce the energy consumption of sensor nodes, the access points (APs) cluster scheme is adopted. All APs are connected to each other by wired cable and each AP maintains a table of adjacent APs whose service coverage is overlapping with it. Each AP has a group record table of adjacent APs whose service coverage is overlapping each other called AP cluster. A special node is employed on the patient's body for communication between the sensor nodes and the AP, so called coordination node.

This coordination node moves with the patient and is capable of performing handoff between two APs. Thus, mobility is supported by updating connection between the coordination node and the AP. All the APs in AP cluster know information of coordination nodes such as node's ID and transmission time. Therefore, the APs within a cluster, can receive data from all the coordination nodes belonging to this AP cluster. Furthermore, by allowing APs in the cluster to update the connection between the associated AP and the coordination node, the number of unnecessary packet exchange between the AP and the coordination node can be reduced. Thus the energy consumption of coordination node and sensor nodes can be reduced. In the aforementioned AP cluster scheme, the information about coordination node would be updated while the patient moves to adjacent AP's service coverage. Therefore the rate of link failure which is caused by the movement of the patient nodes also can be reduced.

Finally, the performance of the proposed scheme is evaluated by simulation. The results show that the proposed scheme has much lower energy consumption and lower link failure rate compared to those of the up-to-date schemes.

Keywords : Patient monitoring, Healthcare, Sensor network, Energy-efficient mobility

Student Number : 2009-20916