

무선 센서네트워크 다중접속 프로토콜 개요 및 표준화 동향

김대영 | Chong Pohkit | 강지훈 | 김태홍 | 유성은 | 윤동희
한국정보통신대학교

요약

U-농촌, U-텔레메딕스, U-헬스케어, U-재난재해감시, U-홈 네트워크 등의 다양한 무선센서네트워크 응용들은 주로 배터리로 동작하기 때문에 저전력 기술은 USN설계에 있어 매우 중요한 요구사항이다. 또한, 응용에 따라서 실시간성을 필요로 하기도 한다. 이러한 요구사항들을 충족시키기 위해서는 다중 접속 프로토콜이 매우 중요한 역할을 하는데, 지금까지 연구개발된 다중접속프로토콜은 경쟁방식, 비경쟁방식, 하이브리드 방식으로 분류될 수 있다. 본고에서는 이들 각 분류에 해당하는 몇몇 대표적인 무선센서네트워크 다중접속 프로토콜을 살펴보고, 무선 센서네트워크를 하나의 주요 응용으로 보고 있는 IEEE 802.15계열의 표준화 동향을 함께 소개한다¹⁾.

1. 서론

센서 네트워크 기술은 최근 기존 PC 중심의 컴퓨팅 패러다임에서 인간과 컴퓨터, 사물과 환경이 유기적으로 연계돼 다양하고 편리한 서비스를 제공해주는 유비쿼터스 컴퓨팅 패러다임으로 전환되면서 전 세계적으로 매우 활발히 연구되고 있는 기술 중의 하나이다. 센서 네트워크의 활용 용도는 매우 다양하여, 적의 침입탐지 및 동태 파악 등의 군용 목

적, 동식물의 생태관리나 화재, 홍수와 같은 재해 관리 등 사람이 직접 측정, 모니터링하기 힘든 지역에 설치되어 활용될 수 있으며, 이 외에도 가정, 물류/유통, 교통, 행정, 보건, 복지 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다. 특히, 스마트 홈과 같이 인간 주거 목적의 아파트 건축에서 표방하는 유비쿼터스 기술 역시 센서 네트워크를 통하여 실현될 수 있다.

센서 네트워크는 응용의 특성상 초소형, 저가격, 저전력이라는 기본 요구사항을 만족시킬 수 있어야 하며, 특히 저전력 기술은 일반적으로 배터리로 동작하는 센서 노드를 고려할 때 매우 중요한 기술이다. 더욱이 배터리의 교체가 용이하지 않은 군 응용, 재난 재해 응용 등의 경우를 고려한다면 센서 노드의 저전력 기술은 더욱 더 절실하다고 할 수 있다. 이러한 이유로 인하여 센서 네트워크의 저전력 기술은 하드웨어 기술 개발, 운영체제, 네트워크 프로토콜 등 센서 네트워크 기술의 거의 모든 분야에서 활발히 연구되고 있다. 이 중 데이터 링크 계층인 다중 접속 프로토콜에서도 저전력 설계는 매우 중요한 요소이며, 이 외에도 데이터 스트림 다중화, 데이터 프레임 검출, 무선매체 접근 제어, 오류 제어, 신뢰성 있는 연결을 보장할 수 있도록 개발되어야 한다. 뿐만 아니라, 다수의 노드들이 무선 자원을 동시에 사용할 때 발생하는 충돌(Collision) 문제, 무선 통신의 특성상 수신할 필요가 없는 메시지를 듣게 되는 오버히어링(Overhearing) 문제, 추후 패킷을 수신할 가능성 때문에 채널이 휴지상태임에도 수신기를 작동시키는 아이들 리스닝(Idle Listening) 문제 등의 다양한 문제들은 저전력 소비를 고려하여 다중

01_ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행 되었음 (IITA-2006-(C1090-0603-0047))

접속 프로토콜에서 해결되어야 한다.

본 고에서는 지금까지 연구되어 온 다양한 센서 네트워크용 다중 접속 프로토콜 및 표준화 동향에 대하여 살펴보기로 한다. 이어지는 II장에서는 센서 네트워크용 다중 접속 프로토콜의 여러 가지 기법에 대하여 소개하고, 그 특성에 따라 분류하여 각 분류에 해당하는 대표적인 몇몇 프로토콜에 대하여 알아본다. III장에서는 무선 개인 네트워크의 기술 표준인 IEEE 802.15를 중심으로 센서 네트워크 다중 접속 프로토콜의 표준화 동향에 대해서 살펴보고, 마지막으로 IV장에서 결론을 내린다.

II. 센서네트워크용 다중접속

무선센서네트워크의 다중접속 접속 프로토콜은 크게 3가지 정도의 범주로 분류될 수 있다. 첫 번째는 CSMA/CA 기법과 같은 경쟁 기반의 MAC 프로토콜로서, 패킷을 전송할 노드들이 경쟁해서 랜덤하게 하나의 노드가 패킷을 전송하는 방식으로 동작한다. 두 번째 부류는 비경쟁방식으로 시간이나 코딩 스페이스를 서로 겹치지 않게 각 부분들로 나뉘어서 각 부분을 각 센서노드에게 나눠줘서 패킷 충돌이 발생하지 않도록 하는 방식을 기본으로 한다. 마지막 부류는 하이브리드 MAC프로토콜로서 경쟁방식과 비경쟁방식을 합성한 방식이다. 하지만, 대부분의 무선센서네트워크 MAC프로토콜이 다양한 기술들로 이루어져 있어서 명확한 분류기준이 없기 때문에 본고에서는 각 프로토콜을 대략적으로 이 세 가지 부류를 기반으로 분류한다.

일반적으로 경쟁방식의 프로토콜은 비교적 간단하며 센서 노드들 사이에 정확한 시각 동기를 필요로 하지는 않기에 제어 패킷 오버헤드가 비교적 크지 않으며 하드웨어 요구사항이 상대적으로 낮다. 하지만 이들 경쟁 방식의 MAC프로토콜은 별도의 자원 예약 기술 없이는 QoS(Quality of Service), 노드들 사이의 공평성(fairness)이나 안정적인 통신을 보장할 수 없다.

특히 무선 센서네트워크에서 에너지 절약은 매우 중요한 이슈이며 패킷을 송수신하는데 소모하는 에너지가 무선 센서네트워크의 전력 소모의 대부분을 차지하기 때문에, 무선

센서네트워크에서의 다중접속 프로토콜은 패킷 송수신 회수를 최소화하는 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서 IEEE802.11과 같은 무선 네트워크와는 달리, 무선 센서네트워크 다중접속 프로토콜에 몇몇 혁신적인 기법들이 소개되고 있다.

본 장에서 각 분류에 속한 몇 가지 MAC 프로토콜을 살펴봄으로써 각 방식의 특성 및 장단점을 설명한다.

1. 경쟁 기반 MAC 프로토콜

가. S-MAC

SMAC[1]은 센서 네트워크를 위해 가장 처음 제안된 다중 접속 프로토콜로 전력 소모를 줄이는 것을 주된 목적으로 개발 되었다. 하지만 SMAC에서는 전력 소모 최소화뿐만 아니라 충돌의 최소화와 시스템 확장성 또한 중요한 시스템 요소로서 다루지고 있다. 그러나 공평성(Fairness), 성능(Throughput), 지연(Latency) 등은 부차적인 요소로 다루고 있다.

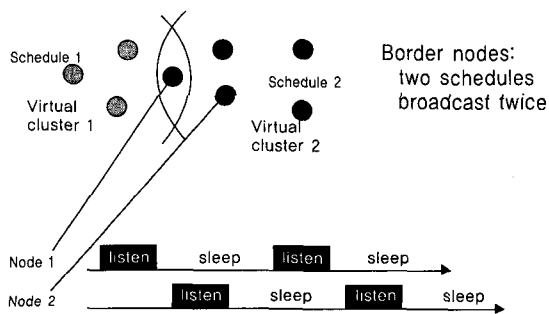
SMAC은 센서 네트워크에서 충돌 (Collision), 오버히어링 (Overhearing), 제어 패킷에 의한 오버헤드, 아이들 리스닝 (Idle Listening)이 주된 전력 소모 요인임을 분석하고 이를 줄이는 방법을 제안하였다.

패킷 충돌은 패킷을 송수신할 때 재전송을 하게 만듦으로써 전력을 낭비하게 하는 동시에 네트워크 지연(Latency)을 증가 시킨다. 임의 접속(random access) 방식의 특성상 모든 센서 노드는 개별 패킷을 수신한 다음 패킷의 수신측 주소와 자신의 주소를 비교한다. 본 과정에서 정상 수신 노드가 아닌 경우, 불필요한 프레임 수신하여 전력 낭비를 초래하는데 이를 오버히어링(Overhearing) 문제라고 한다. 제어 패킷에 의한 오버헤드 문제는 센싱 정보가 아닌 전송경로 셋업을 위한 정보 혹은 다른 제어정보를 포함하는 패킷을 주고받음으로써 전력을 소모하는 것을 의미한다. 아이들 리스닝(Idle Listening) 문제는 무선 채널에 패킷이 송신되고 있는 않은, 즉 유휴(Idle) 상황에서 추후 패킷이 수신될 가능성 때문에 무선 송수신 장치가 켜져 있는 상황을 말한다. 채널이 유휴상황임에도 불구하고 무선 송수신 장치의 전원이 켜져 있으므로 전력을 소모하게 된다.

이러한 주된 전력 소모 요인을 줄이기 위해서 SMAC은 휴간의 공평성과 네트워크 지연을 희생하여 전력 효율을 높이

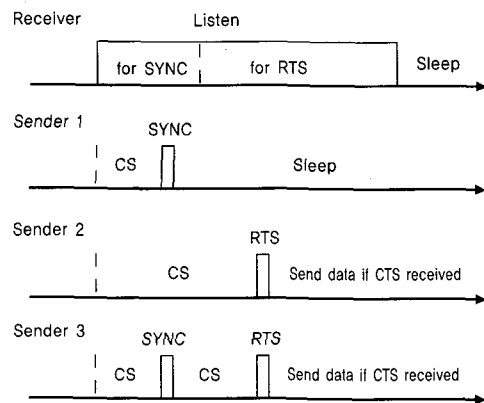
고 있다. SMAC의 제안자들은 공평성과 지연의 희생이 센서 네트워크에서는 크게 문제가 되지 않는다고 판단했다. 왜냐하면 센서 네트워크는 하나의 목표를 이루기 위해서 기본적으로 넓은 지역에 퍼져 있는 하나의 응용이어서, 휴간의 성능은 전체 시스템의 응용 수준에서의 성능만큼 중요하지 않기 때문이다.

SMAC은 주기적인 Listen/Sleep 메커니즘, 충돌 회피, 오버히어링(Overhearing) 방지, 메시지 전달(message passing)의 주된 4가지 기능을 가지고 있다. 주기적인 Listen/Sleep은 센서 노드의 아이들 리스닝(Idle Listening)을 줄이기 위하여 노드가 주기적으로 Sleep 모드에 들어갔다가 일어나 패킷을 수신하는 과정을 말한다. 예를 들어, 만약 Duty Cycle이 10% 라면 2초 간격으로 200ms동안 Listen을 하고 나머지 시간에는 Sleep모드로 들어간다. 그러나 이러한 과정을 반복하기 위해서 노드는 이웃 노드들과 동시에 Sleep 모드에 들어가고 Listen을 하기 위하여 가상 클러스터를 구성할 필요가 있다. 이는 이웃 노드들의 Sleep/Listen 주기에 대한 정보를 테이블에 저장해 두어 이웃 노드들이 Sleep중인데 한 노드만 송신을 하거나, 다른 이웃 노드로부터 패킷을 수신 받아야 하는데 Sleep모드에 들어가 있는 경우를 막기 위함이다. 가상 클러스터는 클러스터 내에 있는 어떤 한 노드의 Sleep/Listen 스케줄을 따르는 노드들의 그룹이다. 만약 한 네트워크 내에 여러 개의 가상 클러스터가 형성되었다면, 한 노드가 두 개의 가상 클러스터에 포함되어 있다면(이 노드를 Border 노드라 한다), 이 노드는 양쪽 모두의 스케줄을 따르게 된다. (그림 1)은 2개의 가상 클러스터와 그 사이에 있는 Border 노드의 경우를 보여준다.



(그림 1) 가상 클러스터와 Border 노드

Clock Drift가 발생 할 수도 있기 때문에 스케줄을 관리하기 위하여 주기적인 동기화가 필요하다. 때문에 Listen 구간에 동기화를 위한 Sync 구간이 정의 되어 있다. Sync 구간에서 노드는 동기화를 위해 SYNC 패킷을 송수신 하게 된다. (그림 2)는 Listen 구간 동안 발생 할 수 있는 다양한 경우를 보여준다. Sender 1은 오직 SYNC 패킷만을 전송하는 반면에 Sender 2는 RTS 패킷만을 전송하고 DATA 패킷도 전송할 수 있다. 그러나 Sender 3은 SYNC와 RTS 패킷을 모두 전송한다.



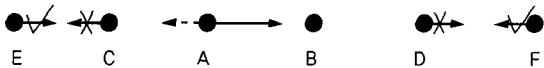
(그림 2) Listen Period 동안의 다양한 시나리오

충돌 회피는 2개 이상의 송신자가 같은 지역에서 동시에 패킷을 전송할 때 생길 수 있는 패킷 손실을 막는데 사용된다. 이러한 상황은 센서 노드가 밀집되어 있는 지역에서 문제가 되며, 2개 이상의 노드가 같은 이벤트를 감지하여 동시에 이웃 노드에게 패킷을 전송하려고 할 때 충돌이 발생한다. SMAC은 이와 같은 패킷 충돌을 방지하기 위해 IEEE 802.11의 가상 및 물리 반송파 감지와 비슷한 방법을 사용한다. 물리 반송파 감지는 채널의 반송파를 물리적으로 감지하는 방법이며, 가상 반송파 감지는 NAV (Network Allocation Vector)를 이용해서 채널이 유희(Idle) 상태가 될 때까지의 시간을 추정하는 방법이다. 패킷을 전송하는 노드는 패킷을 전송할 때 전송될 패킷의 길이와 동일한 값으로 NAV를 설정해서 패킷을 전송함으로써 다른 노드들이 이 전송이 끝날 때까지 패킷을 전송하지 못하도록 한다.

이와 더불어 Request-To-Send(RTS)와 Clear-To-Send(CTS)

는 Hidden Terminal 문제를 해결하기 위하여 사용된다. Hidden Terminal은 송신자의 통신 거리 밖에 있지만 수신자의 통신 거리 안에 있는 노드가 수신자에게 송신자와 동시에 패킷을 전송하려고 할 때 발생한다. RTS/CTS는 송신자와 수신자의 통신 거리 안에 있는 노드들에게 패킷의 전송이 이루어 질 것이라는 것을 미리 알려줌으로써 충돌을 피하게 된다.

오버헤어링 회피는 충돌 회피를 위한 RTS/CTS 기법을 확장 시킨 방법이다. 노드가 RTS/CTS 패킷을 듣게 되면 무선 송수신 장치의 전원을 끄고 NAV 기간 동안 전력 소모를 줄인다. (그림 3)은 A가 패킷을 B에게 전송할 때 Sleep 모드로 들어가야 하는 노드들의 예를 보여준다. E와 F는 A가 B에게 패킷을 전송하는 데 아무런 간섭을 일으키지 않는다. C는 E에게 전송할 수는 있지만 A가 패킷을 송신 중일 때는 C가 E로부터 응답을 받을 수는 없다. 또한 A가 B로부터 ACK를 기다리는 동안 C가 전송할 경우, C의 전송패킷이 B의 ACK와 충돌할 수 있다. 따라서, 송신노드(A)와 수신노드(B)의 모든 단일 홉 이웃노드들은 RTC/CTS를 수신한 후 현재 패킷 송신이 끝날 때까지 슬립모드(X표시)로 들어가야 한다.



(그림 3) A가 B에게 패킷을 전송하고 있는 경우를 슬립모드로 들어가야 하는 노드들

메시지 전달 기법은 응용 계층으로부터 받은 큰 길이의 메시지를 짧은 여러 개의 데이터 패킷으로 분할하여 한 개의 RTS/CTS만으로 채널을 예약한 후 데이터 패킷들을 보내게 된다. 데이터 패킷 교환 과정에서는 다른 노드의 패킷 전송은 허용되지 않는다. ACK 수신을 받지 못한 경우 데이터 패킷은 재전송되며, 채널은 추가 데이터 패킷만큼 더 예약한다. 이로써 제어 패킷에 의한 에너지 소모를 줄일 수 있지만, 다른 노드들이 전체 메시지의 전송이 끝날 때 까지 기다려야 하기 때문에 매체 사용의 공평성 (fairness)에 문제점을 지니고 있다.

SMAC은 공평성과 지연을 희생하여 전력 소모 최소화라는 목적을 달성했다. 하지만 이후 경쟁 기반의 다른 다중 접속 프로토콜이 SMAC을 발전시켜 더 낮은 전력 소모를 달성했

다. 그 예로는 B-MAC, WiseMAC 그리고 T-MAC등이 있으며 아래에서 이들에 대해서 계속 설명한다.

나. T-MAC

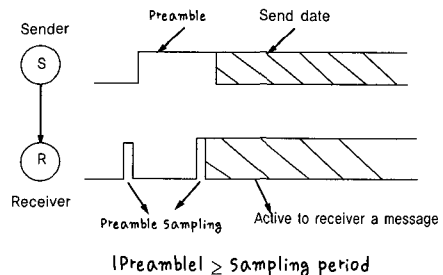
TMAC은 SMAC에 부가적인 기능을 추가한 다중 접속 프로토콜이다. SMAC과는 달리 수신자가 짧은 Listening Period에서 패킷을 수신 받지 못하면 바로 Sleep 모드로 전환할 수 있다. 이는 시스템의 전체적인 Wake-up 시간을 줄여 전력을 보존할 수 있도록 해준다.

다. B-MAC 과 WiseMAC

BMAC과 WiseMAC은 Sleep/Listen방법 보다 더 효율적인 전력 보존을 위해서 Preamble Sampling을 사용한다. Preamble Sampling 기술은 노드가 반송파를 샘플링 할 정도의 아주 짧은 시간동안만 깨어 있다(BMAC에서는 Low Power Listening이라고 함). 만약 반송파가 감지되지 않으면 노드는 바로 Sleep 모드로 전환한다. 만약 반송파가 감지되면 노드는 깨어 있는 상태로 계속 Preamble을 수신 한다. 모든 Preamble이 수신되면 노드는 패킷의 수신자가 자신일 경우 전체 패킷을 수신하기 위해 계속 Listen을 하게 되고 그렇지 않으면 바로 Sleep 모드로 전환을 한다.

이 방법은 주변 노드의 Sleep/Listen 스케줄을 가지고 있을 필요가 없다는 측면에서 앞에서 설명한 방식들에 비해 강점을 가지고 있다. 필요한 것은 이웃 노드의 Wake-up 간격과 노드의 Sleep 간격 보다 길게 Preamble을 전송하는 것뿐이다. 이 방법을 통해 노드가 깨어 있는 동안에 확실하게 패킷을 전송 할 수 있다는 것을 (그림 4)에서 예를 통해서 보여준다.

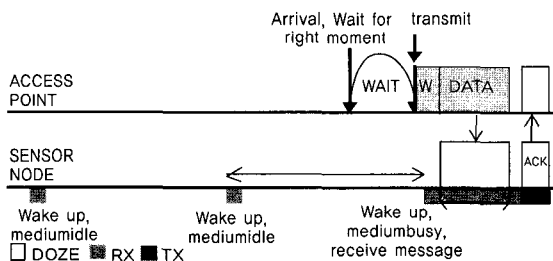
BMAC은 CCA (Clear Channel Assessment)라는 방법을 사



(그림 4) Preamble Sampling 데이터 전송의 예

용한다. CCA는 센서 노드가 채널의 노이즈 레벨을 저장해 두고 그것의 평균을 내서 EMA (Exponentially Weighted Average) 알고리즘을 사용하여 데이터 패킷과 노이즈를 구분하는 방법으로 거짓 양성(False Positive)을 줄이고 정확한 반송파를 감지하는데 사용된다. 이 기능은 선택 적으로 사용 될 수 있어 사용하지 않을 경우는 BMAC은 SMAC처럼 동작하게 된다.

이 프로토콜들은 프리앰블(Preamble)의 길이를 줄이기 위해서 이웃노드들의 Wake-up 시간을 저장하는 것으로 성능을 향상 시킬 수 있다. 클록 드리프트(Clock Drift)에 의해 노드들 사이의 동기화 어긋나는 것을 보정하기 위하여 프리앰블의 길이를 늘이는 방법 또한 적용 되었다. (그림 5)는 프리앰블 길이를 조절하는 예를 보여준다. 높은 트래픽 부하와 지연을 줄이기 위하여 Adaptive Cycle 기술이 제안되기도 하였다.



(그림 5) Preamble 길이의 조절

전력 소모는 듀티 사이클(Duty Cycle)을 낮춤으로써 줄일 수 있지만 Hidden Terminal 문제로부터 발생하는 충돌에 의한 패킷 손실은 이 두 프로토콜에서 여전히 문제의 여지가 있다. 따라서 만약 패킷 충돌이 증가한다면 듀티 사이클을 낮추는 것이 크게 의미가 없게 될 수도 있다.

2. 비경쟁 기반 MAC 프로토콜

가. PEDAMACS

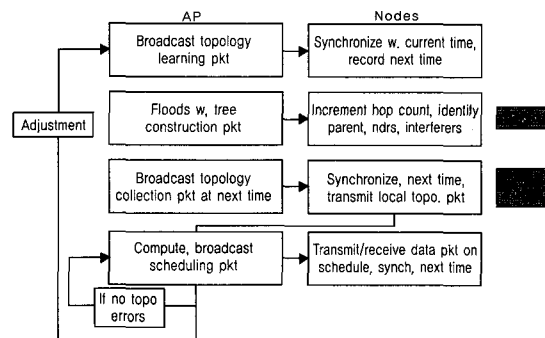
PEDAMACS(Power Efficient and Delay Aware MAC for Sensor networks)는 차량의 수를 세는 센서네트워크 응용을 위해서 특별히 개발된 TDMA기반의 MAC프로토콜이다. 차량의 수를 세는 것을 목표로 한다고 하지만, 그 개념은 모든

비경쟁 방식의 MAC에 적용될 수 있다.

PDEMACS는 해당 네트워크에 대해서 여러 가지 가정을 하고 있다. 액세스 포인트(AP)는 전원이 충분하여 송신 전력이 높으며 모든 노드들은 단일 홉 내에 존재한다고 가정한다. 하지만 센서노드는 저전력으로 동작하며 송신파워가 낮아서 AP까지 멀티 홉으로 통신하기 때문에 네트워크 경로가 비대칭적이다. 또한 센서노드의 위치가 고정되어 있으며 주기적으로 데이터를 AP로 전송하는 것을 가정한다.

PDEMACS는 네 가지 단계로 나뉘질 수 있다. 첫 번째는 토폴로지 학습단계로 이 단계에서 모든 센서노드들은 이웃노드들에 대한 정보를 가능한 많이 모으려고 노력한다. 이 정보는 단일 홉 이웃 노드들에 대한 정보와 패킷을 수신할 수는 없지만 간섭을 주는 범위에 있는 노드들에 대한 정보를 포함한다.

학습단계를 완료한 후 AP로 토폴로지 정보가 수집되며 스케줄링 단계로 넘어간다. 스케줄링은 해당 스케줄에서 패킷 충돌이 발생하지 않도록 그래프 컬러링 알고리즘을 사용해서 수행된다. 그 후 AP는 스케줄을 노드들에게 전송한다. 만약 스케줄에 충돌이 생긴다면, AP는 전체 단계를 다시 시작하며 더 이상 충돌이 발생하지 않을 때까지 계속 이 과정을 반복한다. 일단 충돌이 없는 스케줄이 생성되면, 모든 노드는 각 노드에게 스케줄된 시간에 깨어나서 패킷을 보내고 받는다. (그림 6)은 PEDAMACS 프로토콜 사이클을 설명한다.



(그림 6) PEDAMACS 프로토콜[5]

나. TRAMA

TRAMA(TRAffic Adaptive Medium Access protocol)은 무선 센서네트워크를 위한 보다 일반적인 목적의 TDMA MAC이

다. TRAMA에서 노드들은 동기화되며 채널 시간은 랜덤 접근 구간과 스케줄 접근 구간으로 나뉜다. TRAMA의 개발 목적은 에너지 효율성 증대와 충돌 방지이다. 이는 충돌이 채널 이용률을 떨어뜨릴 수 있으며 많은 에너지 소모로 인해서 네트워크 동작 시간을 줄일 수 있기 때문이다.

TRAMA는 NP(Neighbour Protocol), SEP(Schedule Exchange Protocol), 그리고 AEA(Adaptive Election Algorithm) 이 세 가지로 구성된다. NP는 이웃노드들의 2홉 토폴로지를 얻기 위해서 랜덤 접근 구간에서 사용된다. 노드들은 단일 홉 토폴로지 변화에 대한 정보를 전송하며 만약 토폴로지 변화가 없을 경우 자신이 살아 있음을 알리는 비컨 메시지를 전송한다.

그 후 AEA는 비충돌 전송을 수행하기 위해서 송신노드와 수신노드를 선택하는 데 사용된다. AEA는 또한 "Change of slots"를 통해서 채널 이용률을 증대시키기 위해서 트래픽 정보를 이용한다. 노드의 우선순위는 의사 랜덤 해시로 정의된다.

SEP는 다음 전송 주기를 위한 스케줄이나 트래픽 기반 정보를 교환하기 위해서 노드에 부여된 스케줄 기반 접근 구간의 마지막 슬롯을 이용한다. 노드는 스케줄된 시간에 각 패킷의 수신 노드가 깨어있도록 하기 위해서 SEP를 이용해서 자기의 스케줄을 알린다. 그 스케줄은 비트맵 형식으로 공시된다. 비트맵 값 '0'은 해당 노드가 그 슬롯에서 패킷을 받지 않을 것이라는 의미이다.

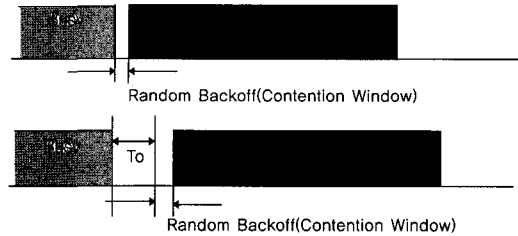
예를 들어 노드 1번 주위에 2, 3, 4번 3개의 이웃노드가 있다고 할 때, 만약 1번 노드가 2번 노드에게만 패킷을 송신하고자 한다면, 1번 노드는 스케줄은 100(첫 번째 비트는 2번 노드, 두 번째 비트는 3번 노드, 세 번째 비트는 4번 노드에 해당)을 전송한다. 만약 1번 노드가 2번, 4번 노드에게만 패킷을 전송하기 원한다면 101이라는 스케줄을 전송하며, 2번, 3번, 4번 모두에게 브로드캐스트하기 원한다면 111이라는 스케줄을 전송한다.

TRAMA와 PEDAMACS의 차이는 PEDMACS는 스케줄을 배포하는 방식이 중앙집중식인데 반해 TRAMA는 분산적이라는 것이다. 중앙집중방식이 보다 최적이지만 네트워크의 사이즈가 증가할 때 문제가 될 수 있다.

3. 하이브리드 MAC 프로토콜

가. Z-MAC

Z-MAC은 B-MAC위에서 동작하는 하이브리드 프로토콜이다. Z-MAC은 경쟁 기반 MAC과 비경쟁 기반 MAC의 장점을 동시에 가지고 있다. 이 프로토콜은 충돌을 방지하기 위해서 2홉까지 떨어져 있는 노드들의 패킷 전송을 스케줄링할 목적으로 DRAND²⁾라 불리는 분산 알고리즘을 이용한다.



(그림 7) Z-MAC 채널 액세스 타이밍

슬롯이 할당된 후, 해당 슬롯의 소유자는 CCA알고리즘을 수행하기 전에 랜덤 백오프(random back-off)를 시작한다. 만약 채널이 다른 노드들에 의해 사용되고 있지 않다면, 그 슬롯의 소유자는 자신의 패킷을 전송한다.

만약 다른 노드들이 자기 소유가 아닌 슬롯에서 패킷을 전송하고자 한다면, 이 노드들은 먼저 일정 시간 기다린다. 이 노드들이 만약 이 시간 동안 패킷이 전송되는 것을 듣지 못한다면, 이 노드들은 랜덤 백오프와 CCA를 수행함으로써 채널을 얻기 위해서 경쟁하게 된다. 경쟁에서 성공한 노드만 다른 노드에게 할당된 슬롯에서 패킷을 전송할 수 있다. (그림 7)은 이 시나리오에 대한 채널 액세스 타이밍을 보여준다. 즉, Z-MAC은 일반적인 TDMA기반 MAC프로토콜에서 나타나는 통신 지연을 줄일 수 있다.

만약 한 노드가 패킷 충돌을 감지하면 그 노드는 ECN(Explicit Contention Notification)메시지를 브로드캐스트한 후 HLC(High Contention Level)모드로 전환되게 된다. 2홉 떨어져 있는 이웃노드로부터 ECN(Explicit Contention Notification)메시지를 받은 노드는 HLC모드로 들어간다. 네트워크에서 패킷 충돌이 발생했기 때문에 이 모드에서 이 노드는 다른 노드 소유의 슬롯을 사용하려고 경쟁하지 않는다.

02. Distributed RAND. RAND란 TDMA/CDMA/FDMA시스템에서 효율적인 멀티홉 채널 할당을 위한 프레임워크에 임의성을 부여한 하나의 변형된 프레임워크이며 DRAND는 RAND의 분산처리 기능을 부여한 것이다.

III. 센서네트워크 표준화 동향

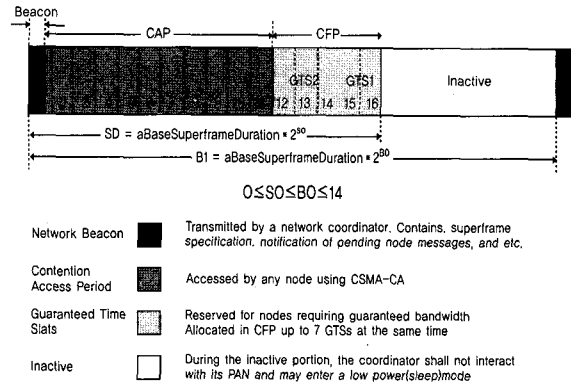
본 장에서는 USN 다중 접속 프로토콜 관련 표준화 동향에 대해 IEEE 802.15.4/4b/4a/5/6을 중심으로 살펴본다.

2003년 10월에 제정된 저속 무선 개인 영역 네트워크(Low Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN)의 PHY 및 MAC 표준인 IEEE 802.15.4-2003은 그 주된 응용 중의 하나로 센서네트워크 분야를 포함하고 있으며 현재 USN 분야에서 광범위하게 활용되고 있다. IEEE 802.15.4b 태스크 그룹은 IEEE 802.15.4-2003 표준의 명료화 및 성능개선을 위해 구성되었는데 2006년 6월 IEEE 802.15.4-2006 표준을 완료했다. IEEE 802.15.4a (Alternative PHY) 태스크 그룹은 전송 속도, 통신 거리 등에 대한 확장성뿐만 아니라 데이터 송수신과 고정밀 거리측정을 동시에 지원, 높은 aggregate throughput, 저비용/초저전력 등을 목표로 IEEE 802.15.4a 표준화 진행 중인데, 이 표준은 2007년 3월 22일 IEEE-SA(Standards Association)에 의해서 IEEE 802.15.4-2006의 새로운 개정표준으로 승인되었으며, 2007년 6월 표준 출판을 목표로 표준화 마무리 중이다. IEEE802.15.5 태스크 그룹은 메시 네트워킹을 가능하게 하기 위해서 WPAN의 MAC 및 PHY에 있어야 할 필요한 메커니즘을 결정하기 위해서 결성되었다. BAN(Body Area Network)을 위해서 IEEE 802.15 워킹 그룹 산하에 스터디 그룹이 결성되어 활동하고 있으며 IEEE 802.15.6으로 표준화할 계획이다.

1. IEEE 802.15.4/IEEE 802.15.4b

IEEE 802.15.4표준은 단거리, 저전력, 저속의 무선 기기에 대한 표준으로 지역에 따라 혹은 국제적으로 사용상 라이선스 제약이 없는 868MHz, 915MHz, 2.4GHz 주파수 대역을 사용한다.

응용 분야로서는 센서, 액츄에이터, 대화형 장난감, 스마트 배지, 건강상태 모니터링, 컴퓨터 주변장치, 원격 제어, 산업 네트워크, 홈 자동화 등이 있다. 표준 단체의 최종적인 목적은 배터리의 수명이 수개월부터 수년까지 가능한 저전력 무선 기기의 PHY 계층 및 MAC 계층을 정의하는 것에 두고 있으며 2003년 10월에 표준 문서가 발표되었으며 IEEE802.15.4-2003으로 지칭되기도 한다[10].



(그림 8) 비컨 기반 수퍼 프레임 구조

IEEE 802.15.4 MAC은 기본적으로 CSMA/CA방식을 사용하며, (그림 8)과 같이 비컨 기반의 수퍼 프레임 구조를 지원한다. 이 수퍼 프레임은 활성 영역(active region)과 비활성 영역(inactive region)으로 나뉜다. 수퍼 프레임 구조에서는 시간 보장 슬롯(GTS)을 이용해서 실시간 통신을 할 수 있으며, 비활성 영역에서 송수신기를 끄으로써 전력 소모를 줄일 수 있다.

<표 1> IEEE802.15.4-2003표준안의 특징

IEEE 802.15.4-2003 표준안의 특징	
데이터 전송률	2.4GHz (250kbps), 915MHz (40kbps), 868MHz (20kbps)
채널수	2.4GHz (16 채널), 915MHz (10 채널), 868MHz (1 채널)
토폴로지	스타, Peer to Peer, 하이브리드
무선 도달 거리	30~70m
MAC	CSMA/CA
실시간 보장	GTS (Guaranteed Time Slot) 제공
주소	64비트 IEEE 주소 또는 16비트 내부 주소

물리계층은 물리계층 데이터 서비스와 물리계층 관리 서비스를 제공한다. 물리계층은 물리적 라디오 채널을 통해 물리 계층 프로토콜 데이터 유닛(PPDU)의 송신과 수신을 가능하도록 하며, 라디오 송수신기의 활성화와 비활성화, 채널 선택, 빈 채널 검출(Clear Channel Assessment), 링크 성능 표시(LQI), 에너지 검출(ED) 등의 기능을 수행한다.

MAC 계층은 물리 계층 데이터 서비스를 통해서 MAC 프로토콜 데이터 유닛(MPDU)의 송신과 수신을 담당하며, 또한 비컨 관리, 채널 접속, 시간 보장 슬롯 관리, 프레임 검증, ACK 프레임 전송, 네트워크 가입 및 탈퇴 등의 기능을 수행한다. <표 1>에 IEEE 802.15.4 표준의 특징을 요약하였다.

IEEE 802.15워킹 그룹의 TG4b 태스크그룹은 IEEE802.15.4-2003과의 호환성을 유지하는 것을 바탕으로 기존의 IEEE802.15.4-2003표준에서 모호성 수정, 불필요한 복잡성 제거, 보안 키 사용에 있어서 유연성 증가, 1GHz미만 주파수 대역에 대한 전송속도 향상 등을 위하여 결성되어 2006년 6월 IEEE 802.15.4-2006 표준(표 2 참조)을 제정하였다.

〈표 2〉 표 IEEE 802.15.4-2006 특성

추가 및 개선사항	변경 및 단순화
데이터 패킷에 타임 스탬프를 추가함으로써 shared time base를 지원	GTS지원을 선택사항으로 변경
1GHz미만 주파수 대역에서 보다 높은 전송속도(100kb/s, 250kb/s)를 지원 가능	수신기를 수동으로 활성화하는데 대한 제한을 없앴
비컨 스케줄링 지원	passive, active scan과정을 단순화
비컨 기반 PAN에서 브로드캐스트 메시지의 동기화 지원	보다 유연한 CSMA/CA알고리즘 지원
보안키 사용 개선	non-비컨 네트워크에서 association시간을 줄임

▷ 1GHz미만 대역에서의 전송속도 향상

현재 1GHz미만 대역에서 20kbps혹은 40kbps를 지원하는 데, 실제로 1GHz미만 대역에서 보다 높은 전송속도를 필요로 한다. 2.4GHz 802.15.4변조 방식을 병렬적으로 재사용하는 PSSS(Parallel Sequence Spread Spectrum)방식을 이용해서 1GHz미만에서 100kbps, 250kbp까지 데이터를 전송할 수 있다.

▷ 브로드캐스트

비컨 기반 네트워크에서 PAN 코디네이터가 디바이스에게 데이터를 전송할 때 간접전송(indirect transmission), 비컨의 pending address list에 디바이스의 지역 주소를 표시함으로써 비컨을 받은 디바이스가 PAN 코디네이터에게 데이터를 요구해서 해당 데이터를 수신하는 방법)만을 사용할 수 있으며 현재 표준은 브로드캐스트를 금하고 있다. 하지만, 실제로 브로드캐스트에 대한 요구가 있기 때문에, beacon-enabled PAN에서 pending address bit을 설정하고 CCA(Clear Channel Assessment)를 사용해서 비컨 패킷 바로 다음에 브로드캐스트 메시지를 전송하는 방안이 도입되었다.

▷ 멀티 홉 비컨 기반 네트워크

비컨 패킷은 네트워크 전체의 동작을 위해서 매우 중요한데 기존의 표준은 비컨 패킷과 데이터 패킷 사이의 충돌이

나 비컨 패킷들 사이의 충돌을 피할 수 있는 어떠한 기법도 제시하지 않고 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 Beacon scheduling 지원할 수 있도록 기존 표준을 수정하였다.

2. IEEE 802.15.4a

IEEE 802.15.4a 표준은 IEEE 802.15.4 표준의 물리 계층 대신 선택적으로 물리 계층을 사용할 수 있도록 새로운 물리 계층과 이에 따른 다중 접속 계층을 정의 하고 있다. IEEE 802.15.4a의 주된 목적은 높은 정밀도의 거리 측정 기능(1m 정도의 정확도)의 제공과 더 높은 데이터 전송 속도, 더 긴 통신 거리, 낮은 전력 소모와 비용이다. 표준화 그룹에서는 이러한 주된 목적 달성을 통해서 중요한 새로운 응용과 시장의 확대를 기대하고 있다.

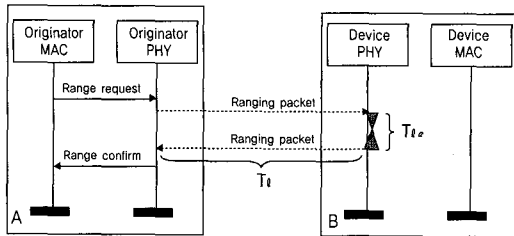
IEEE 802.15.4a는 2004년 3월에 공식으로 Task Group이 되었고, 2005년 3월에 26개의 물리 계층 후보군을 선정 했으며 이중 임펄스 기반 광대역 물리 계층과 CSS 물리 계층 두 가지를 기본으로 정하였다. 2006년 동안 각종 투표를 거쳐 2005년도에 정해진 물리 계층이 확정 되었으며, 2007년 3월에 IEEE-SA 표준 이사회에 의해 새로운 표준으로 승인 받았으며 현재 TG4a는 더 이상의 표준화 작업은 진행되지 않고 있으며 2007년 6월에 표준의 발표를 남겨둔 상태이다[12].

IEEE 802.15.4a에서 정의하고 있는 물리 계층은 임펄스 기반 광대역(Impulse Radio Ultra Wideband: IR-UWB) 물리 계층과 CSS (Chirp Spread Spectrum) 물리 계층 두 가지이다. CSS 물리 계층은 2.4GHz을 사용하며 IR-UWB 대역은 3.1~4.9GHz대역을 사용한다.

다중접속계층은 데이터 전송 속도나 통신 거리 등의 물리 계층의 특징에 따라 약간의 수정이 있으나 IEEE 802.15.4 표준과 거의 흡사하다. 가장 큰 차이점은 바로 거리 측정을 지원하기 위한 거리 측정 프로토콜이다.

앞에서 설명하였듯이 IEEE 802.15.4a의 가장 큰 장점은 정확한 거리 측정에 있다. 기존의 15.4 표준에서 RSS (Received Signal Strength)를 사용하여 거리를 측정할 경우 Multi-path Fading Channel로 인해 정확도와 안정성이 매우 떨어졌다. 하지만 15.4a 표준에서는 라디오 신호의 TOF (Time of Flight)와 광대역 통신을 거리를 측정하는 방식에 사용하여 RSS에 비해 정확하고 안정된 결과를 제공한다.

(그림 9)는 두 장치 사이의 Two-way TOA Ranging을 사용



(그림 9) 기본적인 Two-way TOA Ranging의 메시지 교환[8]

하여 거리를 측정하는 방법을 보여준다. TOA는 Time of Arrival의 약자로 라디오 신호의 TOF를 측정하여 두 장치의 거리를 측정 하는 방법으로 A가 패킷을 보내고 나서 B의 응답을 받는데 까지 걸리는 시간을 T_t 이라고 하면 $T_t = 2T_r + T_{ta}$ 가 된다. A가 T_{ta} 의 시간을 알고 있다면 A는 B와의 거리를 측정할 수 있다.

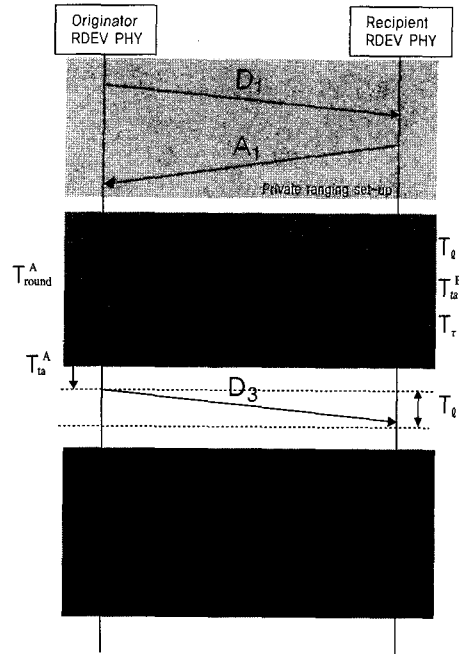
(그림 10)은 IEEE 802.15.4a의 표준에서 사용하고 있는 거리 측정 프로토콜로 앞에서 설명한 Two-way TOA Ranging을 기본으로 송신 장치와 수신 장치가 상호간의 거리를 측정할 수 있도록 설계되어 있다.

거리를 측정하는 프로토콜까지를 IEEE 802.15.4a에서 정의하고 있으며, 측정된 거리를 바탕으로 삼각측량 등의 방법을 통하여 위치 인식을 하는 것은 표준에 포함되어 있지 않다. 위치 인식은 네트워크 계층이나 응용 계층에서 다뤄야 한다.

3. IEEE 802.15.5

IEEE 802.15계열의 WPAN 표준은 물리 계층과 미디어 접근 부 계층의 규격만을 표준화하게 되므로, 아래의 그림 11처럼 멀티 홉 통신을 기반으로 하는 메시 네트워크의 표준을 정의하는 데에 한계가 있다. IEEE 802.15.5 태스크 그룹은 이러한 IEEE 802.15 WPAN의 상위 계층에서 메시 네트워크를 규격화하는 데에 필요한 미디어 접근 계층의 요구사항을 규격화하기 위해 제정된 표준화 그룹이며, 표준화의 주요 범위는 IEEE 802.15.3 HR-WPAN 및 IEEE 802.15.4 LR-WPAN이다.

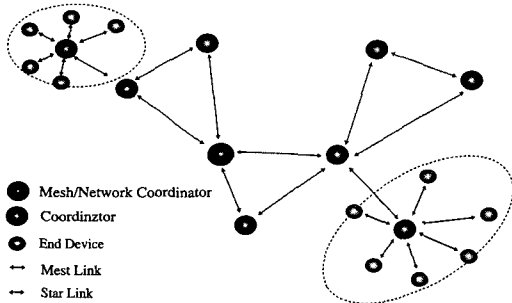
IEEE 802.15.3 표준은 네트워크의 코디네이터 역할을 하는 PNC (Piconet Controller)와 단말 노드인 DEV로 구성되며, QoS를 위해 데이터의 전송 시간을 미리 예약하는 CTA (Channel Time Allocation) 구간과 CSMA/CA 기반의 CAP



(그림 10) IEEE 802.15.4a의 거리 측정 프로토콜[8]

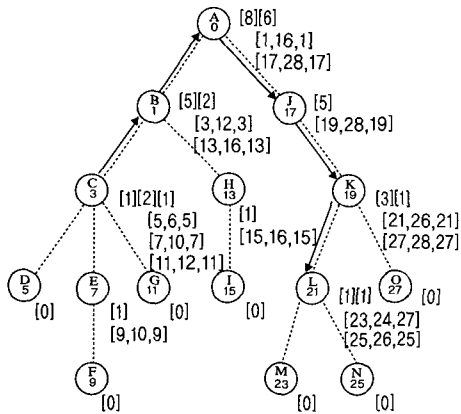
(Contention Access Period) 구간으로 구성된다. IEEE 802.15.3 표준에서는 블루투스와 마찬가지로 Peer-to-Peer 통신만을 지원할 뿐만 아니라 15.3a의 경우 최대 전송 거리가 10미터를 넘지 못하여, 메시 네트워크 기능을 갖추지 못할 경우 응용 분야가 극히 제한적일 수밖에 없다. 이러한 제약 사항을 해결하기 위해 IEEE 802.15.5 표준에서는 PNC 간 메시 네트워크 토폴로지를 구성하고 하나의 슈퍼프레임 구간 내에서 각 PNC가 서로 다른 시간에 비컨을 전송하고 DEV들과 통신하도록 함으로써 충돌을 회피하는 기법을 제안하였다. 즉, 새로운 PNC가 네트워크에 합류하면서 기존의 PNC가 전송하는 비컨을 일정 시간 동안 스캔함으로써 Idle한 구간을 탐색할 수 있다. 이외에도, 소스 노드와 싱크 노드 사이에 자원의 예약을 통해 데이터 전송의 QoS를 보장하는 DRP (Distributed Reservation Protocol)과 현재 합류해 있는 자손 노드들의 수를 파악하고 블록 단위의 아이디를 할당하는 주소 할당 기법이 제안되어 있다.

한편, IEEE 802.15.4 LR-WPAN에서의 메시 네트워크를 위한 연구도 활발히 진행되고 있으며, 미국 CUNY (City University of New York)에서 제안한 ART (Adaptive Robust Tree) 및 이를 메시 토폴로지로 확장한 MART (Meshed



(그림 11) 무선 메쉬 네트워크 구조

ART) 기법을 기본으로 하고 있다. ART에서는 IEEE 802.15.4에서 정의하지 않은 16bit 네트워크 주소 할당 방식 및 트리 라우팅 기법 등을 지원한다. ART 알고리즘은 크게 초기화 단계 및 운영 단계로 구성되며, 초기화 단계에서는 네트워크를 구성한 뒤, 각 노드가 가지는 자식 노드의 수를 트리의 루트 노드인 코디네이터에 보고하면, 코디네이터가 이를 바탕으로 노드들의 네트워크 주소를 할당하는 순서로 이루어진다. 운영 단계에서는 데이터의 교환이 이루어지며, (그림 12)에서 보는 것처럼 자식 노드들이 가지는 네트워크 주소 범위 정보를 활용하여 멀티 홉으로 데이터를 전송하는 라우팅 기법을 제안하였다. MART에서는 자식 노드뿐만 아니라 이웃 노드들이 가지는 네트워크 주소 범위 정보의 활용함으로써 트리 구조를 따라가야 하는 ART 라우팅의 비효율성을 극복하였다. 이 외에도, 멀티캐스트를 위한 알고리즘이 제안되었으며, 향후에는 저전력 통신 기법, IEEE 802 네트워크



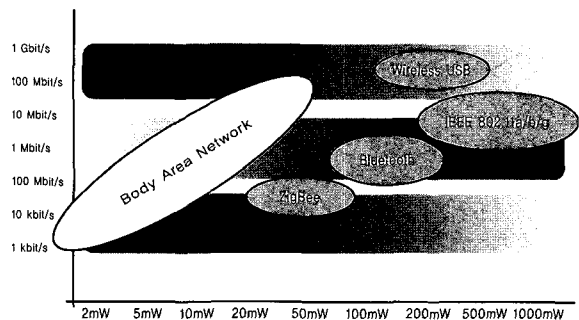
(그림 12) ART 구조 및 트리 라우팅

와의 연동 기법, 이동성 및 QoS 지원을 위한 기술 등의 연구 될 예정이다.

4. Body Area Network

Body Area Networks(BAN)는 체내 혹은 인체의 주변에서 일어나는 근거리 통신을 기반으로 구성된 네트워크로, 웨어러블 컴퓨팅, 센서 네트워크 등의 기술이 복합적으로 적용되어 이루어진 새로운 연구 분야이다. 이는 MP3 플레이어와 헤드셋을 무선으로 연결해주는 것과 같은 비의료(non-medical) 분야와 심전도, 근전도 등의 사람의 생체신호를 측정하여 무선으로 데이터를 전송하는 의료(medical) 분야에 사용될 수 있다. 특히, 의료 분야의 BAN은 Body Sensor Networks(BSN)이라고 명명된 센서 네트워크의 일종으로 연구되어 왔으나 최근에는 학문적 중요성과 다양성을 인정받아 BAN만을 위한 여러 학회가 개최되고 있다. IEEE 802.15 워킹 그룹에서는 BAN 스터디 그룹을 결성하여 BAN표준화를 진행하고 있으며 향후 IEEE 802.15.6 표준으로 정립될 것이다. 또한, BAN은 응용분야가 다양하여 현재 스터디 그룹에서는 비의료 분야를 위한 BAN과 의료분야를 위한 medical BAN(mBAN)으로 나누어 표준화를 진행하고 있다. 하지만, 두 분야 모두 연구가 초기단계에서 진행이 되고 있어서 다중 접속 프로토콜을 위한 표준화는 기술적 요구사항의 정리가 진행되고 있는 수준이다.

두 가지 분야의 요구사항을 살펴보면, BAN은 소리, 영상 등의 전송을 위해 고속의 데이터 전송 속도를 필요로 하고, mBAN은 생체 신호의 전달을 목표로 하여 저속 전송과 전력 소모의 효율성을 요구한다. 다음과 같은 전송속도 및 전력 요구사항은 (그림 13)과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 13) BAN 전송속도 및 전력 요구사항[14]

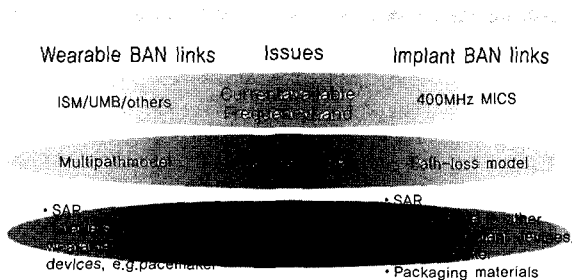
그림을 통해 우리는 BAN이 다른 표준들과 달리 넓은 범위의 전송속도와 전력 요구사항을 갖고 있음을 알 수 있다. BAN의 다중 접속 프로토콜은 다른 WPAN 표준과 다른 특징을 갖고 있으며, 특히 본고에서는 BSN 즉, mBAN의 특징을 중점적으로 살펴보고자 한다.

〈표 3〉 다중 접속 프로토콜의 비교[14]

Range	~30m	<2m
Piconetset	<255nodes, multiple hops	High number of nodes, single/multiple hops
Configuration	Self-configuration	Low complexity MAC layer
Power consumption	Low power consumption	Extremely low power consumption

〈표 3〉에서 볼 수 있듯이 타 WPAN 표준과 BSN의 다중 접속 프로토콜은 네 가지 측면에서 비교될 수 있다. BSN은 2미터 이내의 통신거리를 지원하고, 한 피코넷을 이루는 노드의 개수가 일반적인 WPAN보다 월등히 적다. 그리고 스타 토폴로지와 같은 상대적으로 간단한 토폴로지를 갖는 네트워크를 구성하기 때문에 복잡도가 낮은 MAC 계층과 초저전력 프로토콜을 지원한다. 또한, BSN에서 전송하는 생체신호는 사람의 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에 지연(latency)을 최소화 하고, 데이터 전송 신뢰도를 높이는 기술이 요구된다.

위와 같은 특징을 갖는 BSN의 노드는 장착 형태에 따라 (그림 14)와 같이 장착형(wearable)과 이식형(implant)으로 구분하여 표준화를 하는 방안이 제안되고 있다. 이식형 BSN은 미국, 일본 등지에서 의료용으로 할당된 400MHz 대역의 MICS(Medical Implant Communication Service) 밴드를 사용하고, 이는 특히 배터리 교환의 어려움 때문에 타 센서 네트워크에 비해 월등히 효과적인 저전력 다중 접속 프로토콜



(그림 14) 장착형과 이식형 BAN의 특징[14]

표준의 정립이 필요하다.

IV. 결 론

저전력을 가장 큰 설계목표 중의 하나로 보고 있는 무선센서네트워크에서 다중접속 프로토콜은 저전력을 실현하는 핵심 기술로 평가된다. 본 고에서는 지금까지 무선센서네트워크분야에서 연구되고 있는 대표적인 다중접속 프로토콜들을 비경쟁방식, 경쟁방식, 하이브리드 방식으로 분류하여 살펴보았으며 무선센서네트워크를 주요 응용으로 보고 있는 IEEE802.15계열의 표준화동향을 살펴보았다.



- [1] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated, Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", Technical Report ISI-TR-567, USC/Information Sciences Institute, January, 2003
- [2] T. van Dam and K. Langendoen, "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks." In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Los Angeles, CA, November 2003.
- [3] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. "Versatile low power media access for wireless sensor networks." In Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Baltimore, MD, November 2004.
- [4] El-Hoiydi, J.-D. Decotignie. "WiseMAC: an ultra low power MAC protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks," Ninth IEEE Symposium on Computers and Communications 2004 Volume 1 (ISCC'04) pp. 244-251
- [5] Sinem Coleri and Pravin Varaiya, "PEDAMACS: Power

Efficient and Delay Aware Medium Access Protocol for Sensor Networks "(July 1, 2004). California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH). Working Papers: Paper UCB-ITS-PWP-2004-6. <http://repositories.cdlib.org/its/path/papers/UCB-ITS-PWP-2004-6>

- [6] V. Rajendran, K.Obraczka, J. J. Gracia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks". In Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems,(SensSys) Nov 2003.
- [7] Injong Rhee, Ajit Warrier, Mahesh Aia, Jeongki Min. "Z-MAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks." Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, San Diego, California, USA 2005
- [8] Zafer Sahinoglu, Sinan Gezici "Ranging in the IEEE 802.15.4a Standard", Mitsubishi Electric Research Technical Report TR2006-097
- [9] Ho-in Jeon, "Standard Activities on IEEE 802.15.5 Mesh Network," IT Standard Weekly, TTA, Feb. 2006
- [10] "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)", IEEE Std 802.15.4-2003, IEEE Computer Society, 01 October 2003
- [11] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4b.html>
- [12] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [13] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG5.html>
- [14] <http://www.ieee802.org/15/pub/SGmban.html>

약 력



김 대 영

1990년 부산대학교 전산통계학과 학사
 1992년 부산대학교 전산통계학과 석사
 2001년 University of Florida 컴퓨터공학 박사
 1992년 ~ 1997년 한국전자통신연구원 연구원
 1999년 ~ 1999년 AlliedSignal Aerospace 연구소 방문연구원
 2001년 ~ 2002년 Arizona State University 컴퓨터공학과 연구 조교수
 2002년 ~ 현재 한국정보통신대학교 조교수
 관심 분야 : Sensor Networks, Real-Time and Embedded Systems, Ad-Hoc Networks

약 력



Chong Pohkit

2001년 UMT(말레이시아) 전자공학 학사
 2003년 MMU(말레이시아) 데이터 통신 석사
 2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 박사과정
 2003년 ~ 2005년 INTEL 네트워크 소프트웨어 엔지니어
 관심 분야 : embedded system, sensor network, cross-layer optimization, operation system, robust programming



강 지 훈

2006년 한국정보통신대학교 전자통신 학사
 2007년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 석사
 2007년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사 과정
 관심 분야 : Sensor Networks Localization, Ranging Protocol



김 태 홍

2005년 아주대학교 컴퓨터공학 학사
 2007년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 석사
 2007년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심 분야 : ZigBee, Sensor Networks, Ad Hoc Networks



유 성 은

2003년 한양대학교 전자전기공학부 학사
 2005년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 석사
 2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 박사과정
 1999년 ~ 2002년 (주)파인디지털 근무
 관심분야 : Sensor Networks, WPAN, Real-Time Scheduling



윤 동 희

2006년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학 학사
 2006년 ~ 현재 한국정보통신대학교 석사과정
 관심 분야 : Sensor Networks, Body Sensor Networks