

고속 무선 PAN의 저전력 MAC관리 기법[☆]

이 병 주* 이 승 형* 이 장 연** 조 진 용**

◆ 목 차 ◆

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. 서론 | 4. High-rate WPAN의 Power Saving 모드 |
| 2. IEEE 802.15.3 high-rate WPAN | 5. High-rate WPAN의 성능평가 |
| 3. High-rate WPAN의 Power Control | 6. 결론 |

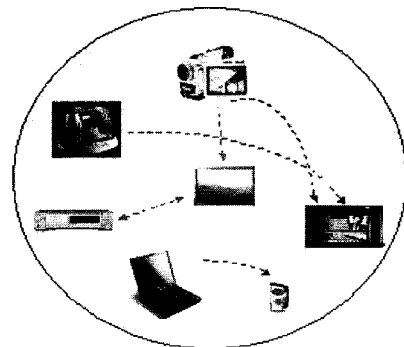
1. 서론

최근 들어 노트북, handheld digital 장치, PDA 등과 같은 이동용 장치들이 널리 보급 되면서 컴퓨팅 환경에 있어 급격한 변화를 가져오게 되었다. 이러한 환경의 변화는 언제, 어디서나 통신이 가능한 기능에 대한 요구로 나타나게 되었고 이를 위하여 무선 통신 기술은 광범위한 분야에서 사용되고 있다. 근거리 무선 통신 네트워크는 IEEE의 무선통신관련 working group의 표준 제정과 여러 상용 기기들의 판매에 의하여 사용이 훨씬 더 증대되었다. 또한 ad hoc 네트워크는 고정된 인프라 구조 없이도 이동 호스트와 같은 무선 기기들끼리의 연결로써도 네트워크가 형성될 수 있는 것으로써, 이런 ad hoc 네트워크에서 사용될 수 있는 응용들은 홈 네트워킹, 개인 영역 네트워크, 센서 네트워크, 유비쿼터스 네트워크, 원거리 지역에서의 탐색 및 구조, 그리고 민간용 및 군용 응용 등 다양하다.

예를 들어, 무선 PAN(personal area network)은 휴대용 가전 및 통신기기들 사이에서, 일반적으로 10m 이내의 단거리 ad hoc 통신을 가능하게 해주는 기술이다. Bluetooth는 무선 PAN을 겨냥하고 개발된 첫 번째 기술로써, 낮은 소비 전력과 소형 및 저가의 특징을 가지고

활발한 연구개발이 추진되어왔으나, 데이터 전송속도가 1Mbps로 제한되고 실제 throughput은 이의 절반가량이며, 세 개의 음성채널이 사용되는 경우에 추가의 데이터 전송이 거의 불가능할 정도로 제한적인 전송률이 단점으로 지적되고 있다. 이는 그림 1에서 나온 바와 같이 앞으로의 휴대용 가전 및 통신기기들이 고화질 비디오 및 오디오, 대량의 음악 및 이미지 파일 전송 등, 대용량의 전송을 필요로 하는 멀티미디어 트래픽을 지원할 것으로 예상되기 때문이다.

이러한 무선 PAN환경에서는 무선 디바이스는 배터리를 주요 전력으로 사용하게 되고, 크기에 제약 때문에 배터리의 용량 또한 제한을 받게 된다. 이렇게 제한된 배터리 에너지를 사용하는 무선 디바이스로 구성되는 무선 ad hoc 네트워크의 수명은 디바이스의 배터리에 의존하게 된다. 이런 환경에서 배터리의 자원을 효율적으로 사



(그림 1) 고속 무선 ad hoc 네트워크의 예

* 광운대학교 무선 네트워크 연구실

** 전자부품연구원 무선 PAN기술 사업단

☆ 본 내용은 유비쿼터스 컴퓨팅 프로티어사업단의 지원에 의한 연구결과입니다.

용하기 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있다. 이를 위해 무선 ad hoc 네트워크에서 중요한 자원인 배터리의 에너지를 효율적으로 사용하는 프로토콜을 연구하고 개발하는 것은 필수적이다.

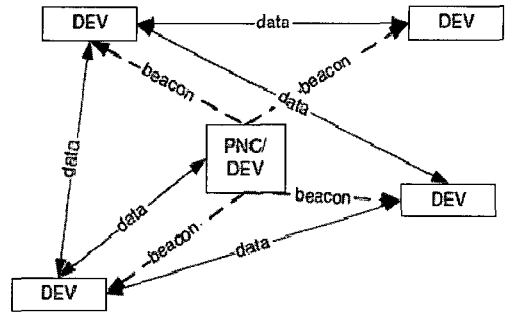
본 논문에서는 WPAN (wireless personal area network)의 MAC (medium access control) 계층에서 에너지 소모를 줄이는 방법을 연구하고 이를 바탕으로 저전력 energy efficient 프로토콜의 개발 방향을 기술한다. 무선 ad hoc 네트워크의 에너지 소모를 줄이기 위한 여러 가지 방안들이 제안되고 있으나, 아직 본격적인 연구가 미비한 실정이다. 이 후 WPAN환경에서 power control 방법과 power management 방법을 설명하고 무선 PAN환경에서 에너지 소비 측정하는 방법과 그 결과에 대해서 설명한다. 마지막으로 에너지 소비를 줄이는 방법에 대해서 설명하고, 끝으로 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.15.3. High-rate WPAN

현재 WPAN에 대한 표준은 IEEE 802.15 committee에서 발표 제정하고 있다. 현재 3종류의 WPAN의 MAC과 PHY에 대한 표준을 발표하였다[1]. 그 첫 번째는 802.15.1로 우리에게 Bluetooth로 더욱 잘 알려진 기술이다. 또 다른 WPAN 기술은 802.15.4로서 Zigbee라는 기술로 알려져 있고 저전력과 저비용을 목표로 비교적 낮은 속도를 지원하도록 디자인 되었다. 마지막으로 802.15.3은 본 논문에서 다룰 기술로서 높은 전송속도와 저전력을 기반으로 디자인되었다.

IEEE 802.15.3 WPAN의 주요한 특징은 다음과 같다. 멀티미디어 트래픽에 대해 QoS를 지원하면서 ad hoc 연결을 지원하다[2,3,4]. 또한 기존의 네트워크(piconet)에 손쉽게 join과 leave할 수 있는 구조를 제공한다. 기본적으로 battery power를 절약하기 위한 여러 가지 power management 방법을 제공한다. 그리고 10m 이하의 단거리통신에 최적화 된 저가격, 저복잡도의 MAC과 PHY를 지원하고 비디오와 고음질 오디오를 위한 55Mbps까지의 고속 전송을 가능케 한다.

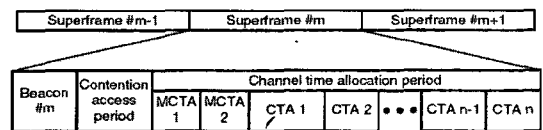
802.15.3 WPAN의 piconet은 그림 2에서와 같이 두 가지의 device로 구성된다. 기본 구성요소인 DEV(device) 중에서 한 DEV는 piconet의 PNC(piconet coordinator) 역할을



(그림 2) 802.15.3 piconet의 구성요소

할 수 있어야 하며, PNC는 beacon 신호를 이용하여 그 piconet의 기본적인 타이밍을 관리한다. 또한 PNC는 QoS와 power save 모드를 관리하며, security가 구현된 경우에 piconet에 대한 access를 제어한다. 또한 piconet에 association한 DEV의 목록을 관리하고, piconet내의 transmit power를 관리한다.

802.15.3 MAC은 처음 단계에서부터 ad hoc 네트워크, 멀티미디어 QoS 및 power management를 고려하여 설계되었다. 802.15.3 piconet에서의 timing은 그림 3과 같은 superframe을 사용하여 제공되는데, 이 superframe은 다음의 세 부분으로 구성된다.



(그림 3) 802.15.3 superframe의 구조

첫 번째는 Beacon 구간으로 piconet의 timing의 할당과 management 정보의 교환하기 위해서 사용된다. Beacon 구간 다음에는 contention access period (CAP)으로 command 혹은 asynchronous data의 전송을 위해서 사용된다. 마지막으로 TDMA 방식으로 Channel Time Allocation period (CTAP)가 위치하는데 이 구간은 command, isochronous stream 및 asynchronous data의 전송에 사용되며, CTA(channel time allocation) 및 MCTA(management CTA)로 구성된다. CAP은 CSMA/CA를 사용하며, CAP의 길이는 PNC가 결정하고 beacon을 통해 DEV에게 알려주며, PNC는 MCTA를 사용하여 CAP의 기능을 대체할 수 있다.

한편 CTAP는 DEV들이 정해진 시간의 window를 갖는 TDMA 프로토콜을 사용한다. 그러므로 802.15.3 piconet에서 DEV들 사이의 peer-to-peer 데이터 전송은 다음 셋 중의 한 방법을 사용한다. CAP이 있는 경우에 이를 통한 asynchronous data의 전송, isochronous stream을 위해 CTAP에 CTA를 할당 받는다. CTAP에 asynchronous한 channel time을 할당 받는다.

802.15.3 MAC의 중요한 목적 중의 하나는 battery powered DEV를 위해 전력 소비를 줄여서 장시간의 operation이 가능하도록 하는 것이다. 현재 표준에 따르면, DEV는 active mode이거나 다음의 세 가지 mode 중의 하나이다. 첫째 PSPS (piconet-synchronized power save) mode - DEV들은 PNC에 의해 정해진 interval에 따라 sleep 상태가 되며, 모든 DEV는 wake beacon을 들어야 한다 둘째로 DSPS (device-synchronized power save) mode 한 DSPS 그룹에 속한 여러 DEV들이 미리 정해진 주기에 따라 sleep을 하고 특정 superframe에 동시에 wake 한다. 셋째로 APS(asynchronous power saving) mode DEV가 원하는 만큼 sleep 할 수 있으며, PNC와는 ATP (association time period) 이전에만 통신을 하여 membership을 유지하면 된다.

3. High-rate WPAN의 Power Control

IEEE 802.15.3 시스템에서 사용 가능한 전송출력제어 (TPC transmit power control) 방식은 채널 구간에 따라 다르게 동작한다. 우선 beacon, CAP, MCTA 구간에서는 최대 출력으로 전송 하고 CTA 내에서 두 DEV가 적절하게 조정된 출력으로 전송한다. CAP 구간 내에서 최대 출력으로 데이터를 전송하는 이유는 전송 범위 내의 다른 모든 DEV들에게 자신의 전송이 전달되도록 하여 더 확실한 channel access를 하기 위함이다. 즉, CAP구간에서 CSMA/CA로 채널 액세스를 할 경우에 collision을 미리 예방하기 위해서이다. 그리고 미리 보장된 채널 타이밍을 할당 받은 DEV는 CTA 구간에서 에너지 소비를 줄이고, 이웃한 piconet내에 속한 DEV에게 간섭을 최대한 줄이기 위해 전송 출력을 적당한 레벨로 조정하여 데이터를 전송한다.

3.1 Beacon, CAP, MCTA 구간에서의 전송

Piconet의 PNC는 beacon 프레임의 전송이나 CAP구간 내에서의 커맨드를 전송과 같이 중요한 정보의 전송을 할 경우 자신의 전송 출력을 최대로 높여서 전송한다. PNC는 이러한 전송 출력 정보를 beacon frame의 Max TX Power Level field를 사용해서 piconet에 속한 DEV들에게 전달하게 한다. 이때 PNC는 항상 자신의 전송 출력을 PHY에서 사용하는 $p_{MinTPCLevel}$ 보다 높게 설정한다. Piconet 내의 모든 DEV들은 CAP의 전송, association MCTA를 제외한 directed MCTA의 전송에서 자신의 전송 출력 레벨이 beacon의 Max TX Power Level field를 넘지 않도록 설정해야 한다. 이를 넘게 되면 이웃한 piconet에 간섭을 줄 영향이 있기 때문이다. DEV는 beacon을 받은 후 PNC의 최대 출력을 확인한 후 $10 \cdot m_{MaxLostBeacon}$ superframe 구간 이내에는 최대 전송 출력에 따라서 동작해야 한다. 이와 마찬가지로 PNC도 자신의 전송 출력을 beacon에서 나타낸 값을 넘지 않도록 근사한 값으로 설정해야 한다. 이렇게 PNC와 DEV들이 출력 레벨을 조정하여 통신을 함으로 같은 장소에 여러 개의 piconet이 존재 할 수 있고, DEV들의 에너지 소비를 줄일 수 있다[9,11].

3.2 CTA 구간에서의 전송

보장된 채널 타이밍을 할당 받은 각 DEV는 target DEV에게 전송 출력 레벨을 증가시키거나 감소시키도록 요청한다. DEV에게 할당된 CTA동안 송신단은 사용할 power level의 설정을 위해 TPC(Transmit Power Change) command를 사용해서 target DEV에게 전송 출력 레벨의 조정을 요청한다. 이 요청을 받은 target DEV는 만약 자신이 출력 레벨 설정이 가능하다면 TPC command에서 요청하는 전송 출력 레벨로 자신의 전송 출력을 변경한다. 만약 target DEV에서 출력 레벨의 조정이 지원되지 DEV라면, 그 DEV는 자신에게 사용 가능하게 허용된 범위 내에서 가장 근접한 전송 출력을 사용하여 통신한다. Target DEV는 자신에게 전송 출력 조정을 요청한 DEV와의 통신에 할당된 모든 CTA동안에 출력 레벨 조정을 적용시켜 통신을 한다. 앞에서 설명한 두 DEV가 전송 출력을 조정하는 방법 외에도 자신이 직접 채널의 상태를 파악해서 자신의

전송 출력 조정하여 통신을 하는 방법도 사용된다.

4. High-rate WPAN의 Power Saving 모드

IEEE 802.15.3 High-rate WPAN에서는 ACTIVE, APS, PSPS, DSPS의 네 종류의 PM (power management) 모드가 있다. 이들 가운데 후자의 세 가지 모드를 PS (power save) 모드라 한다. 각 모드의 DEV는 각각 ACTIVE DEV, APS DEV, PSPS DEV, DSPS DEV라고 표현한다. 위 네 종류의 PM 모드에 속한 DEV는 특정 시간에 AWAKE나 SLEEP state 중 하나에 상태에 있다. 간단하게 AWAKE state는 DEV가 송신이나 수신을 할 수 있는 상태이고 SLEEP state는 DEV가 송수신을 할 수 없는 상태를 말한다[10]. DEV는 어떤 PM 모드에 있던지 자신이 송신자 또는 수신자의 역할을 하지 않는 CTA 구간 동안은 SLEEP 상태에 들어간다. 또한 DEV가 PS모드에 있을 경우 일정시간 동안에 AWAKE 상태로 변경하여 piconet의 association 정보를 유지하여야 한다.

PS모드에서 wake beacon은 두 종류가 있는데, PSPS 모드에 속한 DEV를 위한 PNC-defined system wake beacon이 있고 DSPS 모드에 속한 DEV를 위한 wake beacon이 각각 정의되어 있다. DSPS 모드에서 동기를 맞춰서 sleep과 awake를 하는 DEV들을 DSPS set으로 정의한다. DSPS set에 속한 DEV의 상태는 DEV가 속한 DSPS set을 위한 wake beacon의 정보에 의해 변경된다. 만약 DEV가 여러 개의 DSPS set에 포함된 경우에 그 DEV는 여러 개의 wake beacon을 듣게 된다.. APS 모드에 있는 DEV를 위한 wake beacon은 PNC에 의해 결정되는 것이 아니라 DEV 자신이 결정한다. DSPS와 PSPS와는 다르게 APS 모드에

있는 DEV는 주기를 가지고 awake 상태로 변경하지 않는다. ATP 모드에 속한 DEV는 적어도 ATP(association timeout period)기간 내에 PNC와 통신을 하여 piconet에 연결을 유지해야 한다.

표 1은 네 가지 PM 모드가 어떤 상태로 있는지를 보여준다. 각 표제는 AWAKE나 SLEEP로서 DEV의 상태를 나타낸다. PNC는 APS를 위해 하나의 PS set을, PSPS를 위해 하나의 PS set을 지원한다. DSPS에 대해서는 PS Set Index가 2에서253 사이의 값을 가지는 하나 이상의 PS set을 지원한다.

4.1 PSPS mode

PSPS 모드에 있는 DEV는 PNC에 의해 발생하는 모든 system wake beacon들을 들어야 하며 system wake superframe 동안 AWAKE state로 있어야 한다. PSPS DEV에 대한 wake beacon은 PNC에 의해서 결정되며, PS Set Index는 1로 설정된다. 만약 PSPS 모드에 있는 DEV가 system wake beacon을 정확히 전달받지 못했다면, 그 DEV는 beacon을 정확하게 전달받기 전에는 next beacon의 전달 시간 동안 AWAKE state를 유지하고 있다.

PNC는 beacon내의 PS Set Index field가 1인 PS Status IE(information element)내에 있는 Next Wake Beacon field가 나타내는 system wake beacon을 통해PS set의 정보를 PSPS DEV들에게 알린다. 만약 PSPS 모드의 DEV가 없다면 PNC는 beacon에서 PS Set Index가 1로 설정된 PS Statue IE를 무시하게 된다. 이러한 경우의 모든 beacon은 beacon 정보를 알리기 위한 system wake beacon이 된다.

PSPS 모드를 사용하는 DEV는 sleep state로 들어가기 전에 system wake beacon으로 동기를 맞추는 것이 필요하다. 왜냐하면 PSPS DEV가 PM Mode Change command 같은 command를 PNC에게 보낼 필요가 있는데, CAP구간에 command를 보낼 수 없는 상황이라면 PNC는 MCTA가 할당될 때 DEV가 PNC에 대해 전송할 경우를 고려해야 하기 때문이다.

4.2 DSPS mode

DSDP모드에서는 에너지 소비에 민감한 DEV가 다른

(표 1) Power management 규칙

Superframe portion	ACTIVE	APS	PSPS or DSPS
Beacon	AWAKE	AWAKE	AWAKE
CAP	AWAKE	May SLEEP	AWAKE
CTA	AWAKE	May SLEEP	AWAKE
MCTA	May SLEEP	May SLEEP	May SLEEP
All other CTAs	May SLEEP	May SLEEP	May SLEEP

DEV들과 서로 AWAKE상태를 동기화 한다. DSPTS모드는 자신과 power save 조건이 유사한 DEV끼리 그룹을 이루어 여러 DSPTS set을 형성하는 것을 근간으로 한다. 이러한 DSPTS set은 PNC가 관리하지만 DSPTS set의 여러 조건들은 DEV들이 결정한다. DSPTS모드로 동작하기 원하는 DEV는 우선 DSPTS set에 가입해야 한다. 각 DSPTS set은 Wake Beacon Interval과 Next Wake Beacon이라는 두 개의 중요한 파라미터를 가진다. DSPTS set은 2와 253사이의 값을 DSPTS Set Index로 가진다. DSPTS set이 가지는 Wake Beacon Interval은 전송에 성공한 두 개 wake beacon 사이에 존재하는 superframe의 개수를 의미한다. 이 값은 DEV가 DSPTS set을 형성하면서 정한다. 또 다른 파라미터인 Next Wake Beacon은 DSPD set의 next wake beacon에 해당하는 beacon의 beacon number를 의미한다. 이 값은 DSPTS set이 생성될 때 PNC가 지정한다. 이 두 파라미터들은 PNC에 의해 유지된다.

4.3 APS mode

APS모드는 DEV가 장시간 동안 SLEEP상태를 유지하도록 하여 power를 절약하는 방법이다. APS모드로 동작하는 DEV는 일정시간(ATP)동안 통신이 없어 piconet과 멤버십이 끊어지는 것을 방지하기 위해 ATP구간 안에 PNC와 통신을 해야 한다. APS모드에서 DEV는 자신의 상태가 ACTIVE이거나 혹은 PM Mode Change command를 통해 다른 모드로 전화되기 전에는 어떤 beacon이나 트래픽을 듣지 않는다. APS모드는 다른 power save mode와 함께 사용되지 않는다. DEV는 APS set index를 지정하기 위해 SPS Configuration Request command를 사용하지 않는다. APS모드에 있는 모든 DEV는 piconet으로부터 멤버십이 끊어지는 것을 방지하기 위해서 PNC에게 적어도 하나의 프레임 전송해야 한다. APS DEV가 적어도 ATP 동안에 PNC에게 프레임을 보내야 하기 때문에 PNC는 command를 보내기 위한 CAP를 이용할 수 없는 경우 MCATs를 할당할 때 이러한 전송에 대해 고려해야 한다.

DEV는 APS 모드에 들어가지 전에 PNC에게 PM Mode field를 APS로 세팅한 PM Mode Change command를 보내고 ACK를 받는다. PNC가 command를 받았을 때 PS Status IE의 DEVID Bitmap을 적절하게 지정한다. PNC는 APS

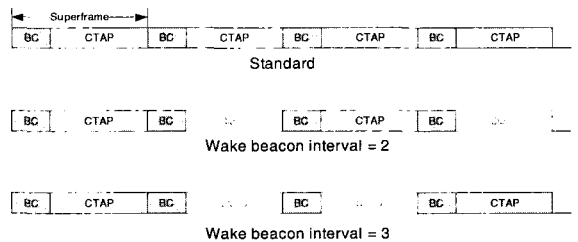
DEV를 송신이나 수신 ID로 가지고 있는 모든 스트림과 asynchronous 데이터의 전송을 중단한다. Beacon 안에 DEV에 대한 DEVID Bitmap의 bit를 가지고 있는 PS Status IE는 DEV가 APS 모드로 전환한 것을 piconet의 다른 DEV에게 알려준다. PS Set ID는 단지 APS DEV를 위해서 0으로 지정된다. 비록 PS Set Index가 APS모드의 DEV에게 할당되었다라도 이 모드 안에 있는 DEV는 다른 PS set의 멤버들과 달리 모두 독립적으로 동작한다.

DEV는 PM Mode가 ACTIVE로 지정된 PM Mode Change command를 전송함으로써 APS모드에서 떠난다. 이 command가 전송되면 DEV는 PNC로부터의 ACK송신 여부와 관계없이 자신을 ACTIVE상태로 생각한다. 만약 PNC가 적절하게 PS Status IE 내의 DEVID Bitmap을 지정하지 않았다면 DEV는 PNC에게 PM Mode Change command를 재전송한다.

5. IEEE 802.15.3의 성능평가

5.1 SPS 모드의 성능 평가

앞장에서 설명한 PS mode 중 DEV들이 synchronous를 맞춰서 sleep가 awake를 하는 PSPS모드나 DSPTS모드와 같은 SPS (synchronous power saving)모드 환경을 디자인하여 성능을 측정하였다. 실험을 위해서 간단한 토폴로지를 구성하고 항상 ACTIVE인 상태와 wake beacon interval을 2 또는 3으로 변경해 가면 DEV들이 소비하는 에너지를 측정하였다. 시뮬레이션을 위한 환경은 아래와 같다 [5,6,7]. 이때 설정한 송수신 출력은 WLAN 카드의 송수신 출력 값을 참고하여 WPAN에 적용하였다. 일반적으로 수신시보다 송신시 더 많은 에너지 소모가 일어난다.



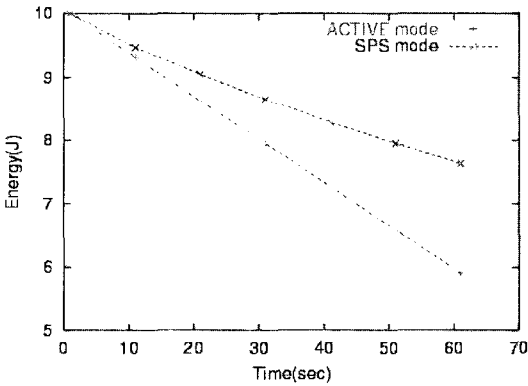
(그림 4) SPS 모드의 동작 예

(표 2) 시뮬레이션 환경

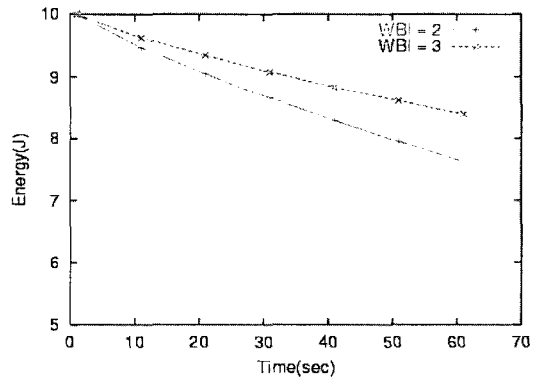
Attribute	Value
Bandwidth	100Mbps
Number of flow	1 flow (2 nodes)
Traffic Type	CBR
CTA duration	2000 μ s
Initial Energy	10 J
TX Power	1.6 W
RX Power	1.2 W
Simulation Tim	60 sec

이렇게 시뮬레이션 환경을 구성 한 후, ns2의 802.15.3 모듈 내에 SPS 모드를 구현하였다. 그리고 sender DEV와 receiver DEV의 에너지 감소를 측정하였다.

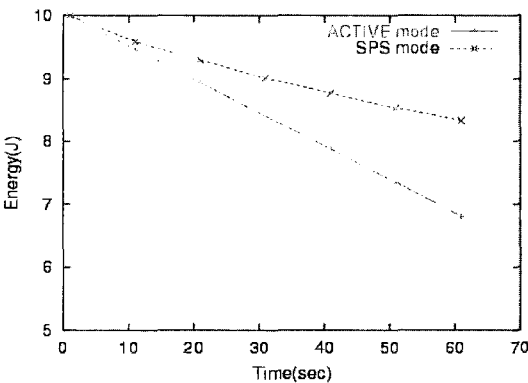
위 그래프에서 보는 것과 같이 기본적으로 통신시스템에서 전파를 발생하는 sender측에 더 많은 에너지 소비가 있다. 위에서 SPS 모드는 wake beacon interval이 2인 경우에 실험한 내용이고 만약 wake beacon interval이 커지는 경우 에너지 소비가 더욱 많아지게 된다. 즉, DEV들이 깨어나는 시간 간격이 커질수록 DEV가 소비하는 에너지의 양은 줄어들게 된다. 아래 그래프는 wake beacon interval이 2인 경우와 3인 경우를 비교한 것이다. 위의 실험과 마찬가지로 sleep하는 시간이 길어지고 active 상태가 줄어들게 되어 WBI=3일 경우에 에너지 소비가 더 적게 된다. 에너지의 소비측면에서만 보면 SLEEP하는 구간이 많아지면 많아질수록 에너지 소비는 줄어든다. 하지만 그림 7의 그래프에서 측정된 aggregate throughput의 경우 ACTIVE 상태가 많을수록 높은 aggregate throughput이 측



(a) sender DEV의 에너지 소비

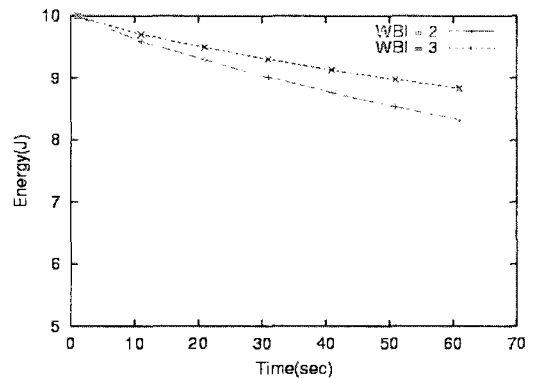


(a) sender DEV의 에너지 소비



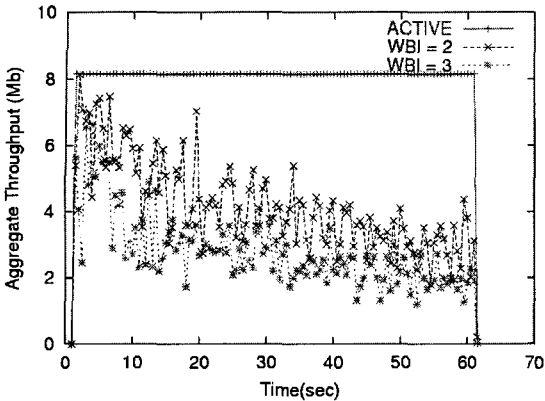
(b) receiver DEV의 에너지 소비

(그림 5) ACTIVE 모드와 SPS모드의 비교



(b) receiver DEV의 에너지 소비

(그림 6) WBI=2인 경우와 WBI=3인 경우의 비교

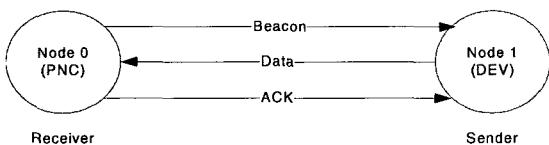


(그림 7) PS mode에 따른 aggregate throughput

정되었다. 이는 sleep 구간이 많아 질수록 DEV가 통신을 할 수 있는 시간이 줄어들기 때문에 같은 시간에 전송한 data의 양이 떨어지는 것을 알 수 있다 이렇게 에너지 소비가 있을 때 sender와 receiver 사이에 전송되는data의 양을 측정하였다. 에너지와 aggregate throughput은 trade off 관계에 있기 때문에 더 많은 에너지를 절약하게 되면 전송되는 data의 양도 그만큼 줄어들게 된다.

5.2 에너지 소비 분석

앞장에서 설명한 실험에서 DEV가 에너지를 소모하는 패턴을 알기 위해서 다음과 같은 실험을 하였다. 전체 네트워크에 돌아다니는 MAC frame을 beacon, data frame, ack frame으로 구분하고 이 프레임들을 송신하고 수신하는 소비되는 energy를 측정하였다. 에너지 측정을 용이하게 하기 위해서 그림 8과 같이 PNC와 DEV로 구성된 간단한 토폴로지를 구성하였다. 그리고 command frame은 제외하고 실험 시작 전에 DEV가 piconet에 association했다고 가정한다. 그리고 DEV는 송수신을 하는 동안은 제외하고 에너지 소비는 없다고 가정한다. 즉, idle time 동안 소비되는 에너지는 제외한다.



(그림 8) 네트워크 토폴로지

(표 3) 시뮬레이션 결과

(j)	Node0	Node1	Sum	%
Total	2.58810	3.891692	6.479812	100
Beacon	0.281417	0.140708	0.422125	6.514464
Data	1.731797	3.463536	5.195333	80.17722
ACK	0.574906	0.287448	0.862354	13.30832

위 결과를 분석할 때 주목해서 볼 사항은 ACK를 송수신하는데 소비되는 에너지이다. 전체 통신에서 약 13.3%의 에너지를 ACK의 송수신을 위해서 사용한다. 이는 immediate ACK policy를 사용할 경우 측정된 데이터이다. 위 3종류의 MAC frame중에 beacon은 네트워크의 관리와 동기를 위해서 반드시 필요한 frame이고 data같은 경우는 실제 전송될 내용이기 때문에 이 숫자를 줄이는 것은 aggregate throughput에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 그러므로 위와 같은 환경에서 에너지 소비를 줄일 수 있는 방법은 ACK frame의 개수를 줄일 수 있는 방법이 필요하다. ACK의 경우 IEEE 802.15.3 WPAN에서는 3종류의 ACK policy를 설명하고 있다. 위 실험에서 사용한 ACK policy는 immediate-ACK로서 모든 MAC frame에 대해서 ACK를 보내주는 방법이다. 이 외에도 no-ACK policy가 있는데 이 방법은 실시간 데이터 전송에 주로 사용하는 방법이고 QoS를 보장할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 마지막으로 delayed-ACK의 경우 트래픽이 isochronous stream에서만 사용이 가능하다는 그 한계가 있다. 위 실험과 같이 immediate-ACK를 사용할 경우 채널의 상태가 좋을 경우 ACK를 굳이 보내지 않아도 throughput에 크게 영향이 없으리라 예상된다. 또한 채널 상태가 좋지 않을 경우 immediate ACK와 같이 매frame에 대해서 ACK를 보내줌으로 throughput을 유지할 수 있다. 이런 방식으로 동작하는 새로운 ACK policy의 개발이 필요하다. 이에 대해서는 현재 연구하고 있는 분야이고 이 외에도 여러 가지 방법을 이용해서 에너지소비를 줄이는 방법에 대해서 연구가 필요하다.

6. 결 론

지금까지 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 WPAN 환경에

서 power control 방법과 power saving 방법들을 알아보았다. 크게 piconet내에 DEV들이 동기를 맞춰서 sleep과 awake를 하는 synchronous PS 모드와 주위 DEV와 asynchronous하게 sleep과 awake하는 APS모드가 존재한다. 본 논문에서는 SPS 모드를 사용하여 통신을 할 경우 에너지 소비와 aggregate throughput의 관계를 실험을 통해서 알아보았다. Aggregate throughput과 에너지의 관계는 서로 trade off관계를 가지고 있고, 에너지 소비를 줄이기 위해서 어느 정도의 전송효율이 떨어질 수 밖에 없다. 최대한 전송효율을 유지하면서 에너지소비를 줄일 수 있는 방법이 필요하다. 논문의 마지막에서는 WPAN 환경에서 에너지 소비 패턴을 알아보고 에너지소비를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다.

IEEE 802.15.3은 표준이 개발된 지 1년여 정도된 기술이다. 현재까지 많은 문제점이 지적되고 있지만 앞으로 네트워크의 변화와 개인통신장비의 보급을 예상하면 반드시 필요한 기술이며 문제점을 해결할 방법에 대해서 많은 연구가 필요한 분야이다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 WPAN의 개발목표인 저전력 통신에 대해서 실험을 통해서 그 패턴을 분석하고 앞으로 에너지 소비를 줄일 수 있는 방향을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN), IEEE standard, Sep. 2003
- [2] S. Rhee et al., "An Application-Aware MAC Scheme for A High-Rate Wireless Personal Area Network," WCNC2004 IEEE, Mar. 22, 2004
- [3] J. Karaoguz, "High-rate Wireless Personal Area Networks," IEEE Communication magazine, pp. 96-102, Dec. 2001
- [4] P. Gandolfo and J. Allen, "802.15.3 Overview/Update," The WiMedia Alliance, Oct. 2002
- [5] R. Managhanram and M. Demirhan, "Performance and simulation analysis of 802.15.3 QoS," IEEE 802.15-02/293, r1 Jul. 2002
- [6] The CMU Monarch Project, "Wireless and mobile extension to ns," Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 5, 1999
- [7] K. Fall and K. Varadhan (Editors), The ns Manual, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, Oct. 2001, Available at <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] A. Chandra, V. Gummalla, and J. Limb, "Wireless medium access control protocols," IEEE Communications Surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, 2nd Qtr, 2000
- [9] J. Monks, V. Bharghavan, and W. Hwu, "A Power Controlled Multiple Access Protocol for Wireless Packet Networks," IEEE INFOCOM, 2001
- [10] Y. Tseng, C. Hsu, and T. Hsieh, "Power-Saving Protocol for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks," IEEE INFOCOM, 2002
- [11] E. Jung and N. Vaidya, "A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks," IEEE INFOCOM, 20020.177225.195333KEMay SLEEP-AWAKE

◎ 저자 소개 ◎



이 병 주

2002년 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
2004년 광운대학교 전파공학과 졸업(석사)
2004년~현재 광운대학교 전파공학과 박사과정



이 승 형

1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)
1990년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(석사)
1999년 2월 The University of Texas at Austin 졸업(공학박사)
2000년~현재 광운대학교 전파공학과 교수
2002년 3월~현재 한국이더넷포럼 무선 TAG 위원장
2003년 1월~현재 정보통신기술협회 표준화 전문가
2004년 1월~현재 OSIA 협동이사



이 장 연

1996년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업(학사)
2002년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 졸업(석사)
1996년~2000년 삼성전자 정보통신본부 주임연구원
2002년~현재 전자부품연구원 무선PAN기술사업단 선임연구원



조 진 응

1986년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(학사)
1988년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(석사)
2001년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(박사)
1989년~1993년 동양정밀(OPC)중앙연구소 주임연구원
1999년 일본 Electrotechnical Lab 초빙연구원
2000년~2003년 디지털 라디오 방송 추진위원회 위원
1993년~현재 전자부품연구원 무선PAN기술사업단 단장