

## 고속 WPAN의 동적 트래픽 성능 개선을 위한 구조 설계

<sup>0</sup>김지은, 이상재, 전영애, 최상성  
한국전자통신연구원  
kje63247@etri.re.kr

### A Design for Improving Performance of Dynamic Traffic in High Rate WPAN

<sup>0</sup>Ji-Eun Kim, Sangjae Lee, Young-Ae Jeon, Sang-Sung Choi  
Electronics and Telecommunications Research Institute

#### Abstract

The High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN) is mainly targeted to consumer electronics and portable communication devices which need high rates and QoS. To achieve these goals, the WPAN provides data rates up to 1Gbps and adopts a Time Division Multiple Access (TDMA) MAC protocol. Since IEEE 802.15.3 MAC is based on TDMA scheme, it has good performance in dealing with real traffics. But it does not give better results for dynamic traffic. For dynamic traffic, IEEE 802.15.3 MAC needs a kind of request and response policy that brings about the degradation of performance in order to adapt to network changes. To overcome this problem and enhance the data throughput, this paper proposes a superframe structure which uses the Enhanced Contention Access Period (ECAP) to transmit data during sleep-CTA in PM mode.

Key words : IEEE 802.15.3, High Rate WPAN, MAC, CTA, 채널 효율

#### I. 서론

IEEE 802.15.3 무선랜은 고속의 데이터 처리를 필요로 하는 통신 디바이스들과 가전을 타겟으로 하고 있다[5]. 무선랜은 무선랜과 달리 짧은 거리, 저전력, 저가의 솔루션을 목표로 하는 규격으로 1Gbps급의 데이터 처리속도, QoS 보장, 전송량의 증대를 위해 TDMA를 기반으로 하고 있다. IEEE 802.15.3 무선랜에서는 할당된 채널 시간 동안 경쟁없이 두 노드 간 직접 통신을 통해 데이터를 전송할 수 있다[2]. 무선랜에 비해 무선랜의 파워관리는 비콘을 통해 수퍼프레임내에 할당채널시간을 정확히 알릴 수 있어서 제어가 편리하다[3]. 하지만, CSMA/CA 기반의 무선랜에 비해 TDMA 방식의 무선랜의 경우 트

래픽 처리를 위해 복잡한 채널 시간 할당과정을 거쳐야 하므로 실시간 트래픽 처리나 QoS 보장을 요구하는 트래픽 처리에 있어서 좋은 성능을 나타내지만, 동적인 트래픽 처리에 있어서는 처리 성능이 떨어진다는 의견이 우세하다[1]. 본 논문에서는 이러한 무선랜의 동적 트래픽 처리 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

#### II. IEEE 802.15.3 규격

IEEE 802.15.3 MAC은 ad-hoc 네트워크를 지원하고 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 그림 1과 같이 피코넷 코디네이터(PNC)와 하나 이상의 디바이스(DEV)로 구성된다. 디바이스들(DEVs)은 서로간의 통신이 가능하며, 피코넷을 구성하는 디바이스들

중 하나의 디바이스는 피코넷 코디네이터의 기능을 수행하게 되는데 이는 비콘 프레임을 이용해서 피코넷 내의 타이밍을 동기화 시키고, 필요 정보를 제공하며, 파워 관리 모드를 제어하게 된다.

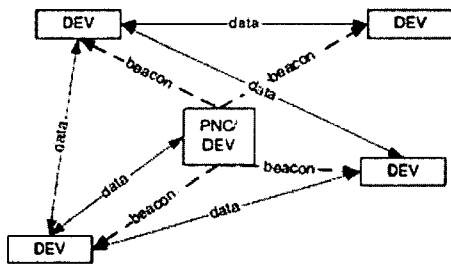


그림 1. IEEE 802.15.3 피코넷 구성도

IEEE 802.15.3 MAC의 수퍼프레임 구조는 비콘 구간(Beacon Period), 경쟁 접근 구간(Contention Access Period), 채널 시간 할당 구간(Channel Time Allocation Period)와 같이 크게 세부분으로 나눌 수 있는데, 비콘 구간은 피코넷 코디네이터가 비콘 프레임을 전송하기 위한 구간으로 모든 디바이스들은 비콘 프레임을 수신함으로써 경쟁 접근 구간과 채널 시간 할당 구간의 해당 정보를 알 수 있으며 피코넷의 구성 정보를 들 수 있다. 경쟁 접근 구간인 CAP은 Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA) 방식으로 채널을 획득하여 프레임을 송신할 수 있는 구간으로 비동기 프레임과 MAC 계층의 커맨드 프레임을 송수신할 수 있고, 이는 피코넷 코디네이터가 비콘 프레임 내에서 전송 프레임 타입을 지정할 수 있도록 하고 있다. 채널 시간 할당 구간인 CTAP는 비경쟁 구간으로써 디바이스들은 피코넷 코디네이터로부터 원하는 시간만큼 채널을 요청하여 승인을 받은 후 사용하는 방식으로 Time Division Multiple Access (TDMA)의 형태를 취한다. 채널 시간 할당 구간은 비동기 프레임과 등시성 프레임을 전송하기 위해 사용되며, 비콘 프레임을 통해 각 디바이스들에게 할당된 채널 시간의 위치와 구간을 알릴 수 있다. 그림 2는 수퍼프레임 구조를 도시한 것이다.

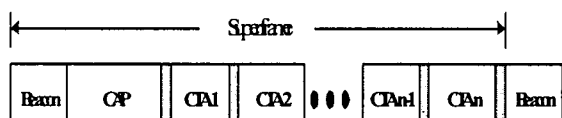


그림 2. IEEE 802.15.3 MAC 수퍼프레임 구조도

### III. 파워관리 모드에서의 채널 시간

IEEE 802.15.3 MAC에서 정의된 파워 관리(Power Management) 모드는 ACTIVE, 비동기 파워 세이브 (Asynchronous Power Save), 피코넷 동기 파워 세이브 (Piconet Synchronized Power Save), 디바이스 동기 파워 세이브 (Device Synchronized Power Save) 네가지로 구성된다. 파워 관리 모드에서 디바이스는 AWAKE 상태와 SLEEP 상태 중 하나의 상태에 머물며 디바이스가 속한 파워 세이브 셋의 wake 비콘을 수신하기 위해 AWAKE 상태가 되며 wake 비콘을 수신한 후 wake 수퍼프레임에서 할당된 채널 시간에 프레임을 송신하고 수신할 수 있다. SLEEP 상태에서 디바이스는 프레임을 송신하지도 수신하지도 않는다.

디바이스는 wake 비콘에서 전송 채널 시간을 할당 받으며 wake 수퍼프레임에서만 할당채널시간(CTA)를 사용한다. 피코넷 동기 파워 세이브 모드는 피코넷 코디네이터에 의해 결정된 wake 비콘 주기 하나로 운영된다. 반면 디바이스 동기 파워 세이브 모드는 피코넷 코디네이터가 지원하는 파워 세이브 셋에 디바이스가 조인함으로써 운용되며, 조인 가능한 wake 비콘 주기 셋은 2의 제곱승으로 결정되는데,  $2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8$ 의 8가지 타입이 가능하다. 파워 관리 모드는 피코넷 코디네이터가 시작 비콘 프레임 번호를 결정해서 알리게 되므로  $2^8$ 을 wake 비콘 주기로 하는 셋에 조인한 디바이스가 AWAKE 상태가 될 때, 비동기 파워 세이브에 있는 디바이스를 제외한 모든 디바이스들이 AWAKE 상태가 된다. 그림 3은 wake 비콘 주기=4인 파워 세이브 셋에 속한 디바이스의 wake 비콘과 wake 수퍼프레임, 할당채널시간에 대한 예를 나타내었다.

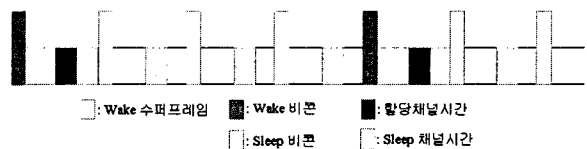


그림 3. 파워 세이브 셋의 수퍼프레임 구조도

wake 비콘 외의 비콘을 편의상 sleep 비콘으로 부르기로 한다. wake 수퍼프레임에서 디바이스에게 할당된 채널 시간은 sleep 비콘에서는 할당하지 않으므로 이 구간을 다른 wake 디바이스에게 할당하거나 비어있는 구간으로 남겨놓게 되는데 이 구간을 sleep 채널 시간 이라고 하자. sleep 채널 시간을 비어있는 구간으로 남겨놓게 되면 채널 효율성이

떨어지므로 이를 효율적으로 이용할 수 있도록 하는 알고리즘이 필요하다.

파워 관리 모드를 사용하는 piconet에서 매 supeframe 마다 이러한 sleep 채널 시간을 계산하기 위하여 wake 비콘 구간별로 각각의 구분된 set에 속한 디바이스들에게 할당된 채널 시간은 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$T_k = \sum_{n=1}^{n_k} (CTA)_n \quad (1)$$

$2^k$  주기를 갖는 파워 세이브 셋에 속한 디바이스들 ( $= n_k$ )에게 할당된 채널 시간을 나타낸 것이다.  $T_0$ 는 ACTIVE 모드로 동작하는 디바이스들에게 할당된 채널 시간을 의미한다. 또한, 비동기 파워 세이브 모드로 동작하는 디바이스는 wake 수퍼프레임이 주기적이지 않으므로 CAP을 이용하도록 하거나 항상 사용할 수 있도록 매 비콘에 할당채널시간을 주어야 하므로  $T_0$ 에 포함시키는 것으로 한다. 식(1)에 의해 수퍼프레임내의 할당채널시간의 총합인 CTAP는 식(2)와 같다.

$$T_{CTAP} = \sum_{k=0}^8 T_k \quad (2)$$

이 중 N번째 수퍼프레임에서 깨어있는 디바이스에게 할당된 채널 시간을 식(3)과 같이 계산할 수 있으므로 파워 세이브 모드로 인해 N번째 수퍼프레임에서 할당하지 않아도 되는 채널 시간인 sleep 채널 시간은 식(4)와 같이 얻을 수 있다.

$$T_{Nassigned} = \sum_{k=0}^8 T_k \left[ \frac{|\text{mod}(n, 2^k) - 2^k|}{2^k} \right] \quad (3)$$

$$T_{Nsleep} = T_{CTAP} - T_{Nassigned} \quad (4)$$

수퍼프레임내에서 sleep 채널 시간은 피코넷에서 이용하는 파워세이브 셋의 종류와 각 셋에 할당된 채널 시간에 따라 달라지는데, 가능한 파워 세이브 셋을 모두 지원하는 피코넷으로 가정하고, 각 셋에 할당된 채널 시간을 균등하게 분배한 경우와 자주 깨어나는 디바이스에게 할당채널시간을 더 많이 주는 경우에 대하여 그림 4와 같이 그래프로 나타내었다. 이 때,  $T_{CTAP}$  값을 '1'로 정규화 하였다.

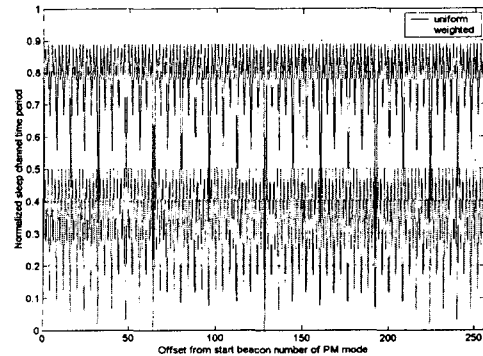


그림 4. 수퍼프레임에 따른 sleep 채널 시간

그림 4에서 보는 바와 같이 파워 세이브 모드로 인해 sleep 상태에 있는 디바이스들에게 할당된 채널 시간이 차지하는 비율이 결코 적다 할 수 없다. 따라서 이 구간을 효율적으로 사용할 수 있는 방안에 대해 다음 장에서 제안하고자 한다.

#### IV. ECAP을 포함한 수퍼프레임 구조

1장에서도 언급한 바와 같이 802.15.3 MAC의 약점으로 꼽히는 dynamic traffic의 처리 문제를 sleep 채널 시간을 이용해 해결하는 방안을 제안한다. 즉, sleep 채널 시간을 특정 DEV에게 할당하는 방식이 아니라 경쟁기반의 채널 사용을 통해 awake 상태에 있는 모든 디바이스들이 이용 가능하도록 하여, 이 구간을 통해 채널 할당을 받지 않고도 트래픽을 처리할 수 있도록 하는 것이다. 이 구간을 확장된 경쟁 접근 구간(Enhanced Contention Access Period)이란 의미의 ECAP이라 정의하고자 한다. ECAP을 포함하는 새로운 수퍼프레임 구조를 그림 5에 도시하였다.

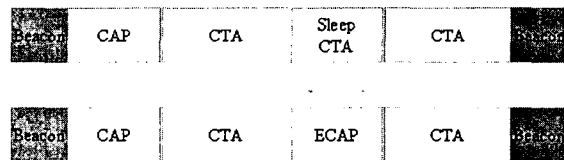
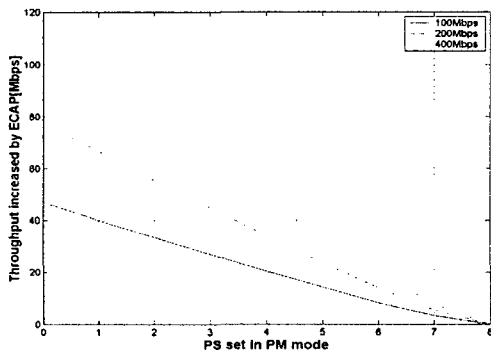


그림 5. 제안된 수퍼프레임 구조

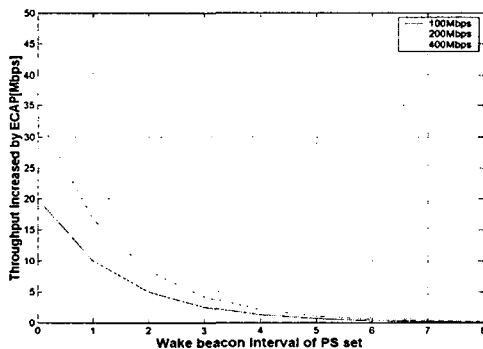
sleep 채널 시간을 ECAP으로 대체시키고 이 구간은 CAP에서와 같이 경쟁적으로 채널을 점유하게 된다. ECAP을 쓰기 위해서 피코넷 코디네이터는 비콘 프레임에 특별히 ECAP에 대한 정보를 알릴 필요는 없다. 비콘프레임에서 할당채널시간 정보를

이용해 수퍼프레임내에 할당된 채널 시간을 알 수 있으므로 전체할당채널시간(CTAP) 중 할당되지 않은 채널 시간도 알 수 있다. 이 구간을 ECAP으로 사용하면 된다. ECAP을 도입함으로써 디바이스는 추가적으로 CAP을 확보하게 된다. 이렇게 확보된 ECAP을 이용해 디바이스는 트래픽의 종류에 따라 CTA를 요청하고 승인받는 복잡한 절차를 거치지 않고 데이터를 전송할 수 있게 된다. 또한, QoS를 요구하지 않는 best effort service의 속도를 높일 수 있게 된다.

[3],[4]에 따르면 경쟁접근구간을 이용한 데이터 처리량은 데이터 속도에 따라 최대 50%에서 최소 35% 정도가 된다고 한다. 이 값을 이용해서 sleep 채널 시간 동안 전송 가능한 데이터 량을 시뮬레이션 하였다. 그 결과 그림 6과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 3장에서와 마찬가지로 각각의 파워세이브 셋에 할당된 채널 시간은 모두 동일하게 분배한 경우와 자주 깨어나는 셋에 속한 디바이스에 더 많은 시간을 할당하는 두 가지 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그래프에서 보는 바와 같이 최대 110Mbps까지 처리량이 늘어나는 것을 알 수 있다.



(a) 할당채널시간 균등분배



(b) 할당채널 시간 차등분배

그림 6. ECAP으로 증가된 데이터 처리량

## V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 MAC에서 파워세이브 모드에서의 채널 할당 시간을 이용해 동적인 트래픽 처리를 높일 수 있는 수퍼프레임 구조를 제안하였다.

## 참고 문헌

- [1] XtremeSpectrum, "Trade-Off Analysis (802.11e versus 802.15.3 QoS Mechanism) White Paper," July 2002.
- [2] IEEE Computer society, "IEEE Standard Part 802.15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2003.
- [3] Xin Wang, Yong Ren, Jun Zhao, Zihua Guo, Richard Yao, "Comparison of IEEE 802.11e and IEEE 802.15.3 MAC," IEEE CAS2004, pp.675-680, May 2004.
- [4] Sunghyun Choi, Javier del Prado, Sai Shankar N and Stefan Mangold, "IEEE 802.11e Contention-Based Channel Access (EDCF) Performance Evaluation," in Proc. IEEE ICC 2003. May 2003.
- [5] Byung-Seo Kim, Yuguang Fang and Tan F. Wong, "Rate-Adaptive MAC Protocol in High-Rate Personal Area Networks," in Proc. WCNC 2004.
- [6] Aurangzaib Kaleem, "Wireless Personal Area Networking Systems: A Comparison of Bluetooth, IrDA Data and HomeRF," ECPE 6504 Spring 2000.