

고속 무선 PAN에서 다중채널 MAC을 이용한 채널 타임 할당

이병주^o 이승형* 현영균** 김용석** 장기수**

*광운대학교 전자공학부, **삼성종합기술원 i-Networking Lab.

{parang, shr}@kw.ac.kr {yg72.hyun, yongsuk, kschang}@samsung.com

Channel Time Allocation Using Multi-Channel MAC In High-Rate Wireless Personal Area Network

Byung Joo Lee^o Seung Hyong Rhee* Young Guen Hyun** Yong Suk Kim** Ki Soo Chang**

*School of Electronics, Kwangwoon University,

**i-Networking Lab, Samsung Advanced Institute of Technology

요 약

IEEE 802.15.3 High-Rate WPAN(Wireless Personal Area Network)은 10m 내외의 무선환경에서 실시간 비디오, 고품질 오디오 및 대용량 파일 전송을 가능케 하는 기술이다. 하나의 네트워크를 piconet 단위로 구성하고 하나의 piconet에는 PNC(piconet coordinator)가 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식으로 DEV(device)들에게 채널타임을 할당한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 High-Rate WPAN 환경에서 하나의 piconet이 형성된 경우 동시에 여러 개의 채널을 최대한 활용하기 위한 다중 채널 MAC을 제안하고 이를 위한 타임 할당 방식을 연구한다.

1. 서 론

IEEE 802.15.3 표준은 개인 주변 영역에서 소비자 가전 또는 통신 디바이스들간에 저소비전력, 저복잡도, 저비용, 고속의 무선 연결을 제공하기 위한 PHY와 MAC의 규격에 관한 것이다. PHY는 2.4GHz에서 3개 혹은 4개의 채널을 지원한다. 높은 채널 밀도를 지원할 때는 4개 채널을 사용하고, IEEE 802.11b와 간섭을 줄이기 위해 때는 3개의 채널을 사용한다. IEEE 802.15.3 표준은 여러 개의 piconet이 동시에 같은 공간에서 서로 다른 채널을 사용해서 통신하는 방법을 기술한다[1].

하지만 MAC은 하나의 채널의 사용을 위해서 디자인 되었다. 현재 표준에서 채널 타임 할당 방법은 piconet이 점유한 오직 하나의 채널에서만 이루어진다. 다수의 piconet이 존재하는 경우 전체 채널의 사용량은 100%에 가까워지겠지만, 하나의 piconet만 존재하는 공간에서는 전체 사용 가능한 채널의 25~33% 밖에 사용하지 못한다. 이로 인해 throughput의 합이 채널 bandwidth로 한정된다. 하나의 채널을 사용할 경우 DEV의 채널 요구가 많을 경우 superframe의 길이가 길어짐으로 큐에서 delay가 커지고 따라서 실제 서비스에 대한 서비스 지연이 발생한다. 또한 대부분 superframe의 앞부분에 위치하는 beacon, CAP(Contention Access Period) 혹은 MCTA(Management Channel Time Allocation)와 같은 command나 control정보가 전달되는 주기가 길어지게 되므로 piconet관리의 지연현상이 일어나게 된다. 따라서 이러한 delay를 줄이고 throughput을 높이기 위해 사용할 수 있는 여러 개의 채널을 최대한 활용하는 다중채널 방법을 사용하여야 한다. 이

에 대한 몇 가지 종래 기술들이 있다. 그 중 IEEE 802.11에서 다중채널을 사용하여 매체에 접근하는 방법을 들 수 있다[2]. 이 기술은 절전 모드에서 사용하는 메시지로 채널에 대한 협상을 하게 된다. 이 협상으로 여러 개의 노드가 서로 다른 다중채널을 사용할 수 있도록 한 방법이다. 이는 기본적으로 CSMA/CA 방식의 MAC을 사용하므로 high-rate WPAN 환경에 적용하기 힘들다. 본 논문에서는 QoS 지원을 위해 채널을 예약하여 고정적으로 할당 받아 고속의 통신을 지원하는 채널할당 방식을 제안한다.

이 후 2장에서는 IEEE 802.15.3 표준의 동작에 대해 설명하고, 3장에서 채널 스케줄러와 beacon IE를 통해 멀티 채널이 동작하는 과정에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 성능평가를 한다. 마지막 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 기술한다.

2. IEEE 802.15.3 High-Rate WPAN

IEEE 802.15.3은 superframe이라는 단위로 주기를 가지고 통신을 하게 된다. Superframe의 구성은 그림 1에서와 같이 처음 beacon frame이 위치하고, 그 뒤로 선택적으로 CAP구간이 위치하는데 CAP 구간은 CSMA/CA 방식으로 통신을 한다. 이 구간에는 비교적 크기가 작은 데이터를 전송하거나 command 메시지 전송이 이루어진다. CAP 다음에는 TDMA 방식으로 통신을 하는 CTA구간이 위치하게 된다. CTA 구간은 MCTA와 CTA로 구성되는데, MCTA는 주로 command 메시지를 전송하고, CTA에는 주로 QoS를 보장 받는 데이터가 전송된다.

IEEE 802.15.3에는 두 가지 종류의 DEV로 구성된다. 하

나는 기본적인 통신 DEV이고, 다른 하나는 이중 piconet의 coordinator 역할을 하는 PNC이다. PNC는 beacon을 통해 piconet의 동기를 맞춰주게 된다. 또한 beacon내에는 CTA에 관한 정보인 CTA IE(Information Element)가 위치하여 통신 DEV가 beacon을 받아보고 자신이 할당 받은 CTA의 위치를 알 수 있다.

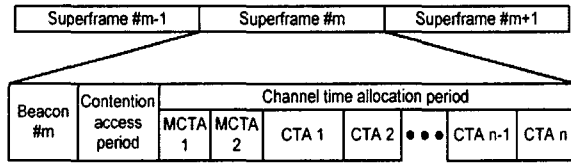


그림 1. Superframe의 구성

3. 다중채널 MAC의 제안

하나의 piconet이 동시에 여러 개의 채널을 사용하기 위해서는 PNC가 사용 가능한 채널의 리스트를 테이블로 가지고 있어야 한다. DEV의 CTA 요청은 이 테이블을 기반으로 한 PNC의 채널 스케줄러에 의해서 할당된다. 할당된 채널 정보는 beacon을 통해서 piconet 내에 모든 DEV에게 알리게 된다.

3.1. 채널 스케줄러

채널 스케줄러는 PNC가 DEV로부터 CTA 요청을 받은 후 자신이 가용한 자원을 참조하여 DEV에게 CTA를 할당해주는 역할을 수행한다. 이 부분에 있어서 고정된 크기의 CTA 요청과 다양한 크기의 CTA 요청 모두를 고려하며 할당방식은 RR(Round-Robin) 방식 또는 SJCF(Small Job Channel First) 방식을 사용하여 다양한 조건에서의 채널할당을 고려하게 된다. 사용 가능한 채널을 검사한 PNC는 채널 테이블을 생성해서 DEV의 CTA 요청을 받았을 때 Channel Time Request의 SrcID와 DestID를 확인하고 자신의 테이블에 SrcID, DestID, Channel index, location과 duration을 기록한다. 새로운 CTA의 요청을 받으면 PNC는 우선 SrcID와 DestID를 자신의 테이블을 검색해서 이전에 CTA를 할당 받은 DEV인지 확인한다. 만약 이전에 CTA를 할당 받은 DEV라면 이전에 할당 받은 CTA와 location과 duration이 중복되지 않도록 CTA를 할당한다.

RR 방식의 채널 스케줄링은 DEV의 요청이 있을 때 마다 단순히 사용 가능한 채널을 round-robin 방식으로 옮겨가며 할당하는 방식이다. 이 스케줄러는 간단하고 구현하기 쉽다는 장점이 있다. 하지만 DEV들이 요청한 CTA의 크기가 다양할 경우에는 채널의 낭비가 발생한다는 단점이 있다. 이를 보완한 스케줄링 방법이 SJCF 스케줄러이다. SJCF 스케줄러는 PNC가 사용 가능한 채널의 리스트와 각 채널에 현재까지 할당된 CTA의 양을 기록한다. DEV의 CTA 요청이 들어왔을 때 PNC는 CTA 할당량이 가장 적은 채널에 CTA를 할당한다. 할당 후 PNC는 채널 리스트에서 할당된 양만큼 더해줌으로 리스트를 업데이트 할 수 있다. 이 스케줄링 방법은 RR 방식 보다 일반적인 CTA의 요구에 적절하게 채널 할당을 할 수 있다. 모든 채널에 할당된 CTA의 양이

비슷하도록 하여 superframe의 길이를 줄일 수 있으므로 RR 방식 보다 좀 더 좋은 성능을 낼 수 있다.

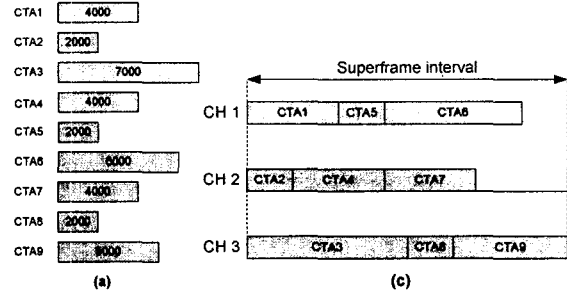
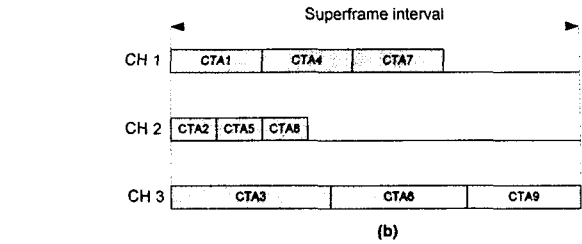


그림 2. (a)요청한 CTA 크기 (b)RR 스케줄러 (c)SJCF 스케줄러

3.2. Beacon CTA IE

현재 표준에서 정의된 CTA IE에는 해당 DEV가 사용할 채널을 알려주기 위한 필드가 존재하지 않는다. 따라서 다중 채널 MAC 방법을 사용하여 CTA를 할당 받는 경우 각 CTA가 할당 받은 채널에 관한 정보를 표시할 필드를 추가해야 한다. PNC가 beacon을 전송할 때 각 CTA의 IE에는 그림 3과 같은 내용들이 포함된다. 이때 채널 index를 추가하여 DEV가 통신할 채널과 CTA의 시작시간과 기간을 DEV가 알 수 있다. 다수의 CTA를 할당 받은 DEV는 자신이 할당 받은 CTA의 channel index와 location을 기억하고, 그 시간이 되면 해당 채널로 이동하여 통신을 하여야 한다. 이렇게 CTA 구간 동안 통신을 마친 DEV는 다음 superframe의 beacon을 받기 위해 PNC가 속한 채널로 복귀하여 beacon을 listen하여야 한다.

Octet: 2	2	1	1	1	1
CTA duration	CTA location	Channel index	Stream index	SrcID	DestID

그림 3. Beacon 내의 CTA IE에 추가된 필드

3.3. 다중채널 MAC 동작 순서

그림 4는 두 DEV가 통신을 하기 위해서 PNC에게 CTA를 요청하는 순서를 나타낸 것이다. 우선 DEV-2는 DEV-3와 통신을 하기 위해 Channel Time Request command를 PNC에게 보낸다. 이를 받은 PNC는 자신의 채널 테이블을 확인하여 할당해줄 채널 자원이 있는지 확인한다. 확인한 결과를 Channel Time Response command를 통해 DEV-2에게 알려준다. 그 후 PNC는 Channel scheduling을 통해 DEV-2에게 할당해줄 CTA가 속한 채널을 결정한다. 스케줄링의 결과를 beacon을 통해

piconet의 모든 DEV에게 알려줌으로 CTA할당이 끝난다.

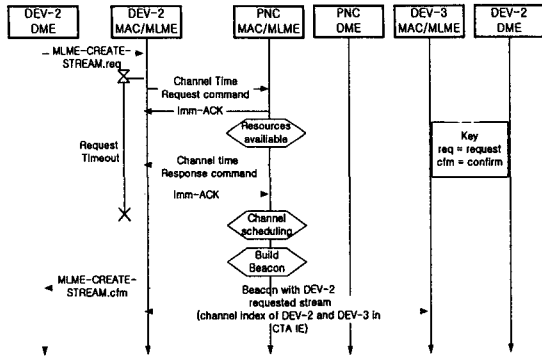


그림 4. CTA request 과정

4. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 ns2 시뮬레이터를 사용하였다[3]. 기존에 ns2.1b9 버전에서 802.15.3 MAC protocol을 추가한 버전을 사용해서 다중채널을 구현하였다[4]. 다중채널을 위해 PNC에 채널 scheduling을 추가하고, CTA IE 부분을 수정하였다. 시뮬레이션을 수행한 환경은 다음 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Attribute	Value
Bandwidth	50 Mbps
Flow 개수	1~12
CBR traffic rate	20 Mbps
CBR packet 크기	10000 byte
Fragmentation 최대 크기	2048 byte
채널 개수	1~4
CTA 요청 크기	4000 μs

하나의 piconet만 존재하는 환경에서 flow의 개수를 1~12까지 증가하면서 throughput의 총합과 평균 delay를 측정하였다. Flow가 하나 증가 할 때마다 sender DEV와 receiver DEV가 한 쌍씩 증가하게 된다.

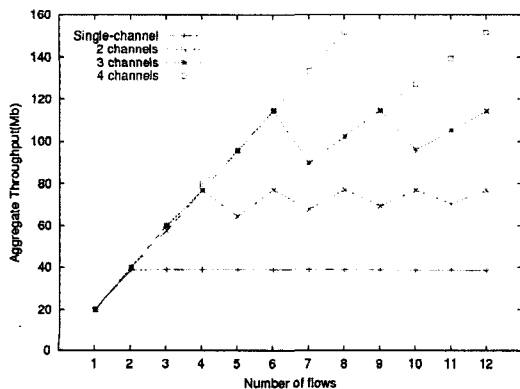


그림 5. 채널 개수와 flow개수에 따른 throughput 총합의 변화

그림 5는 flow 개수의 변화에 따른 throughput의 총합을 측정한 결과이다. Single-channel의 경우는 traffic이 많아 지더라도 throughput이 bandwidth의 한계치인 40Mbps로 수렴한다. 채널의 개수가 늘어남에 따라 throughput의 총합이 더 높은 곳에서 수렴하는 것을 볼 수 있다.

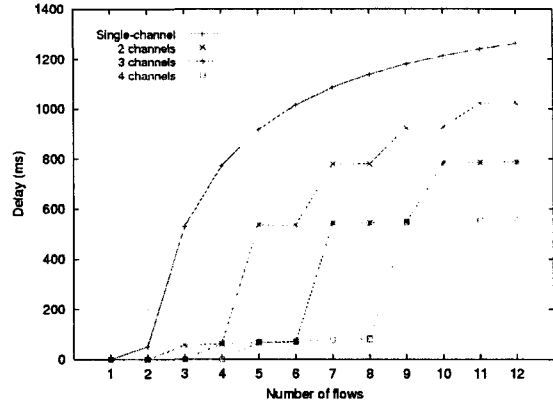


그림 6. 채널 개수와 flow 개수에 따른 평균 delay 변화

그림 6은 위와 동일한 조건에서 평균 delay를 측정한 것이다. Delay는 데이터가 큐에 들어갔을 때부터 완전히 전송될 때까지 걸린 시간에서 이상적인 데이터 전송시간을 뺀 값이 된다. 이 결과 역시 채널을 동시에 많이 사용한 경우에 더 작은 delay로 통신이 가능해진다

5. 결론

본 논문에서는 사용할 수 있는 채널 자원을 최대한 활용할 수 있는 다중채널 MAC 방법을 사용하여 throughput과 delay에서 많은 이득을 얻을 수 있는 MAC을 제안하였다. 현재 high-rate WPAN PHY의 표준인 IEEE 802.15.3a가 진행 중이다. 현재 제안된 방법은 MBOA (Multi-Band OFDM Alliance)의 Multi-band OFDM 방식[5]과 Xtreme Spectrum의 Single-band UWB의 방식이 있다[6]. 이 두 종류의 PHY에 다중채널을 적용하는 방법에 대해서 연구 중이다.

참고문헌

- [1] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless personal Area Networks (WPAN), IEEE, Draft P802.15.3/D15, Oct. 2002
- [2] J. So and N. Vaidya, "A Multi-channel MAC Protocol for Ad Hoc Wireless Networks," Technical report, Jan 2003
- [3] The CMU Monarch Project, "Wireless and mobile extension to ns," Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 5, 1999
- [4] M. Demirhan, <http://www.winlab.rutgers.edu/~demirhan/>
- [5] Anuj Batra et al., "Physical Layer Submission to 802.15 Task Group 3a: Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing," IEEE 802.15 Working Group, Jul. 21, 2003
- [6] R. Roberts, "XtremeSpectrum CFP Document," IEEE 802.15 Working Group, Jul. 2003