

고속 무선 PAN에서의 자원 할당 방식

Resource Allocation Method in High-Rate Wireless Personal Area Networks

김병서*

Byung-Seo Kim*

요 약

IEEE 802.15.3으로 표준화된 고속 무선 Personal Area Network (HR-WPAN)은 등시성 트래픽을 지원하기 위하여 시분할다중접근(TDMA) 방식을 사용하고 있다. 등시성 트래픽은 전송지연에 대한 제한성을 갖는 서비스이다. 그러나 HR-WPAN 표준은 여전히 긴 접근지연과 Association 지연으로 인해 많은 문제점을 보이고 있다. 본 논문에서는 HR-WPAN이 주로 Target으로 하고 있는 등시성 트래픽을 위한 발전된 매체접근제어 (MAC) 프로토콜을 제안하고자 한다. 이 제안된 프로토콜은 각 소속 노드들의 현재의 트래픽에 대한 정보를 얻을 수 있는 방법을 제시한다. 또한 그 정보를 이용하여 데이터 패킷의 전송 시점과 패킷의 도착시점을 동기화 시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘 또한 제안되어진다. 이 프로토콜과 스케줄링 알고리즘을 통해 갖가지 전송 지연의 요소를 제거할 수 있고 결국은 성능의 향상을 가져오게 된다.

Abstract

High-Rate Wireless Personal Area Networks (HR-WPANs) in IEEE 802.15.3 standard use a Time Division Multiple Access (TDMA) protocol to support isochronous traffic. Isochronous traffic requires a delay-bounded service. However, the HR-WPAN standard suffers from long access delay and association delay. In this paper, we propose an enhanced MAC protocol for the delay-bounded traffic. This proposed protocol provides a way that a central node is able to collect traffic status on all member nodes. Furthermore, by utilizing the information, a scheduling algorithm is also proposed in order to synchronize the instant of a packet transmission with that of the packet arrival. With the proposed protocol and algorithm, the delay of access and association can be reduced. Performance analysis is carried out and the significant performance enhancement is observed.

Key Words : WPAN, IEEE 802.15.3, Wireless, MAC

1. 서 론

현 시대의 각종 전자 소비제품들, 홈오토메이션 시스템 그리고 통신장비들 간의 무선 연결에 대

한 요구는 Wireless Personal Area Network (WPAN)의 개발과 표준화로 이끌어 왔다. 기존의 WPAN은 많은 portable 또는 mobile 통신장비들은 근거리 무선 Ad-Hoc 네트워크의 형태로 연결되어 있다. 실시간 비디오, 무선 네트워크 상황에서 고품질의 음성, 그리고 수 메가 바이트 파일들의

*정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 : 2007.11.18, 수정완료일자 : 2008.1.18

전송 등의 필요성은 고속의 전송속도를 요구해 왔다. 이러한 요구들에 맞추기 위해 고속 WPAN(HR-WPAN)이 IEEE 802.15.3 표준화로 탄생하게 되었다[1]-[3].

HR-WPAN의 중점 application들 중, 쌍방향 통신과 게임들과 같은 application들은 Quality of Service (QoS)를 보장하기 위해 매체접근제어 (MAC) 프로토콜의 접근지연에 있어 제한성을 가지게 된다. 특히, 고품질의 음성 데이터와 화상 데이터 간의 동기화를 이루기 위해서는 접근지연이 중요한 요소로 인식되어지고 있다. HR-WPAN 표준화에서는 이러한 제한적 접근지연이라는 QoS를 보장하기 위해 매체접근 방식으로 시분할다중접근 (TDMA) 방식을 사용하고 있다. 비록 IEEE802.15.3 표준화가 가정과 사무실의 network형성과 대용량이며 실시간 서비스를 제공하기 위해 디자인되었다 하더라도 HR-WPAN은 아직 이러한 서비스들의 QoS를 보장하기에는 많은 문제점을 보이고 있으며 그럼에도 불구하고 이에 대한 연구가 그리 활발히 진행되어 오지 못하고 있다. 각 노드들의 Queue 상태를 중앙 노드에 알려주게 함으로써 서비스의 QoS를 보장하는 방법이 제안 되어졌다[4]. 그러나 이 방식은 superframe의 크기의 잦은 변화를 필요로 한다는 것이다. 이것은 각 노드들 간의 시간동기화와 엄격한 지연 제한을 요구하는 Traffic에 대하여는 문제를 야기할 수 있다[5][6].

본 논문에서 우리는 HR-WPAN을 위한 향상된 MAC protocol과 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 자원할당에 필요한 정보들을 중앙노드가 각 소속 노드들로부터 Feedback받을 수 있게 함으로써 지연성을 최대한 줄일 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 HR-WPAN의 MAC protocol에 대해 살펴본다. 3장에서는 제안된 protocol과 scheduling algorithm을 제안하고 그 제안된 방식의 성능을 3장에서 분석한다. 마지막으로 결론을 맺음으로서 논문을 마무리 한다.

II. HR-WPAN MAC Protocol

IEEE 802.15.3 표준으로 대표되는 고속 WPAN의 표준규격에서는 디바이스 (DEV)들이 Piconet이라고 불리는 중앙 집중적이고 접속지향적인 Ad-Hoc 네트워크의 형태로 통신을 하게 된다. 하나의 Piconet을 구성하고 있는 DEV들 중에 반드시 하나의 DEV는 Piconet Coordinator (PNC)로 지정되어 진다. PNC는 Piconet의 원활한 동작을 위해 필요한 기본적인 표준 시간 정보 구성 DEV들에게 제공하며 Piconet에서의 지연에 민감한 Application들을 위한 QoS를 관리하는 역할을 한다. 그림 1은 IEEE 802.15.3에 나타나 있는 MAC의 Superframe의 구조를 보여준다. 각 Superframe의 시작 부분에서 Beacon 프레임이 PNC에 의해 브로드캐스트 되어 진다. DEV들은 Contention Access Period (CAP)라고 불리는 기간 동안에 채널 경쟁 방식을 통해 비동기성 데이터나 Command 또는 Control 형 데이터를 전송한다. Contention Free Period (CFP) 라고 불리는 기간은 Channel Time Allocation (CTA) 기간들로 구성되어 있는데 각각의 CTA의 기간은 변경이 가능하고 다양한 기간으로 될 수 있으며 각 CTA는 PNC에 의해 각 DEV들에게 할당되어진다. 따라서 각 CTA 기간 동안에는 정해진 DEV만이 통신을 하게 됨으로써 다른 전송에 의해 방해 받지 않게 된다. 어떤 DEV가 자신의 데이터 전송을 위해 CTA가 필요하게 되면 그 DEV는 Association Request 패킷을 CAP 기간 동안에 PNC에게 전송한다. PNC는 이러한 request들을 DEV들로부터 받아 Superframe, CAP, CFP등의 길이들을 결정하게 된다. 그러나 IEEE 802.15.3 표준에서는 Beacon, CAP, CFP로 이루어지는 순서를 바꾸지 않도록 하고 있다.

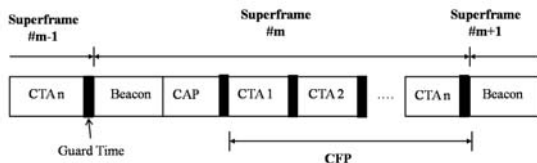


그림 1. IEEE 802.15.3 표준의 superframe 구조
Fig. 1. A Superframe structure in the IEEE 802.15.3

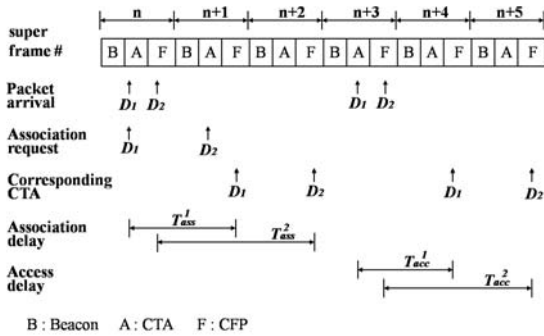


그림 2. Association Delay와 Access Delay의 발생 예
Fig. 2. An Example of the association delay and the access delay

그림 2는 두 개의 DEV들, 즉 D_1 과 D_2 가 같은 도착간 시간 (inter-arrival time)을 가지고 있는 트래픽을 가지고 있을 때 데이터 packet을 전송하는 과정의 예를 시차적으로 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 두 DEV에서 packet의 도착시점들은 다르다. 여기서 우리는 Association Delay를 다음과 같이 정의한다. Association Delay란 하나의 packet이 어느 DEV의 MAC Layer에 도착한 시점에서부터 Corresponding CTA (그림참조)에서 Packet이 전송되어지는 순간까지의 시간으로 정의 한다. Association Delay는 superframe내에서의 packet arrival 시점에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, 그림에서 보듯이 D_2 는 D_1 의 association delay (T_{ass}^1) 보다 더 긴 association delay (T_{ass}^2)를 가지게 된다. 그 이유는 D_2 의 데이터 packet이 도착 시점이 CAP가 아닌 CFP이고 association request packet이 CFP안에서 전송 되

어 질 수 없음으로 인해 다음번 superframe으로 전송이 지연되기 때문이다. Association request packet을 PNC가 받지 못하면 D_2 를 위한 CTA를 할당 할 수가 없다. 따라서 최대 association delay가 superframe의 길이가 길어짐에 따라 길어지게 된다.

Access Delay 또한 정의한다. Access Delay는 첫 번째 데이터 packet을 제외하고 나머지 packet들이 MAC layer와 corresponding CTA에서 전송된 시점들의 차이로서 정의 한다. packet들의 도착 간격과 한 DEV를 위해 지정된 corresponding CTA들의 간격이 같다고 하더라도 packet 도착 시점과 corresponding CTA의 시점들은 다르게 된다. 그래서 이 두 시점들 간의 access delay는 피할 수가 없다, 그림 2에서 보여 지듯이 MAC layer와 corresponding CTA에 packet의 도착 시점들이 일치되어지지 않음으로 인해 D_1 과 D_2 의 access delay가 T_{acc}^1 와 T_{acc}^2 로 나타나게 된다. 여기서 주목할 것은 access delay는 packet inter-arrival time이 증가되어짐에 따라 증가하게 된다.

III. CTA의 동기화

위의 장에서 설명한 두 가지의 지연들에 대한 문제를 해결하기 위해 우리는 Feedback-Assisted WPAN (FA-WPAN) 이라고 명명되어진 고속 WPAN을 위한 CTA와 트래픽 Inter-arrival time과의 동기화 (synchronization) 방법을 제안한다. 이 제안된 방식은 Association delay와 Access delay를 동시에 해결할 수 있다.

먼저 access delay를 줄이기 위해 우리는 한 DEV에게 할당된 CTA의 시작 시점을 packet arrival 시점과 동기화 시킨다. CAP의 기간 동안 DEV들은 IEEE 802.15.3 표준화에서 정의된 Channel Time Request (CTRq) 제어 프레임들을

이용하여 현재의 access delay 정보를 PNC에게 전송한다^[3]. CTRq 제어 프레임의 "reserved bit" 이 1로 설정되어 있다면 CTRq block (CTRqB) field에서 minimum number of TUs octet은 그 access delay 정보를 기록하기 위하여 사용되어진다. PNC가 어느 DEV로부터 그 access delay 정보를 받았을 때 기존에 그 DEV에 할당되어 있던 CTA를 access delay가 최소화 되도록 재배치한다. 그럼으로써 superframe내에서의 CAP와 CFP의 순서와 개수가 경우에 따라 변화할 수 있도록 유연화 된다. 예를 들어 하나의 superframe내에 여러 개의 CTA와 CFP가 존재 할 수 있다. 이러한 목적을 위해 Beacon의 프레임의 구조를 수정할 필요는 없다. 그 이유는 Beacon 프레임에 각 CFP의 위치와 기간에 대한 정보를 기록 할 수 있는 field가 있기 때문이다. 따라서 FA-WPAN은 부가적인 Overhead 없이 실현 될 뿐만 아니라 현재의 IEEE 802.15.3 표준화에도 호환되어진다.

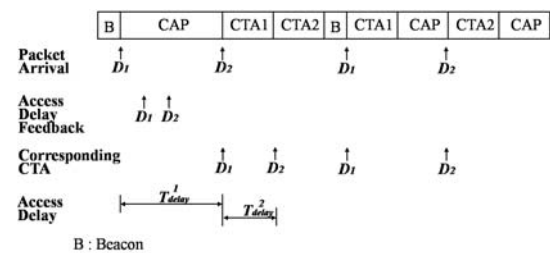


그림 3. CTA와 packet inter-arrival time간의 동기화의 예
 Fig. 3. An Example of the synchronization process

그림 3은 CTA의 동기화 과정을 설명하고 있다. 첫 번째 superframe에서 DEV들, D₁과 D₂의 각각 T_{acc}^1 와 T_{acc}^2 를 가지고 있다. 이러한 현재의 access delay 정보들은 superframe의 CAP 기간 동안에 각 DEV들에 의해 PNC로 전송되어진다. PNC는 그 정보에 의해 이미 각 DEV들에게 정해진 CTA들의 위치와 길이를 access delay를 줄이는 방향으로 수정하게 되고 이러한 수정된 CTA들의 정보는 다음 superframe의 Beacon의

전송에 의해 전달되어진다. 이러한 과정을 통해 두 번째 superframe부터 각 DEV들에게 할당되어지는 CTA들은 packet arrival하는 시점과 동기화되어지게 되고 따라서 access delay를 이상적인 경우에 0으로 줄이는 결과를 낳게 된다.

Association delay 또한 이러한 CTA 동기화를 거쳐 줄어든다. 현 IEEE 802.15.3 표준화에 의하면 어떠한 DEV에 최초의 packet이 CFP 기간 내에 도착되어진다면 다음 superframe의 CAP까지 전송을 지연 시켜야만 한다. 반면에 제안된 FA-WPAN에서는 하나의 superframe안에 여러 개의 CAP가 존재 할 수 있으므로 DEV는 association request packet을 같은 superframe내에서 데이터 packet 도착 시점과 가까운 CAP에서 전송 할 수 있다.

데이터 traffic이 너무 많은 경우에는 하나의 superframe내에서 CFP의 수가 증가 하게 되고 그럼으로 인해 할당 가능한 CPA의 수와 각 CPA들의 기간이 줄어들게 될 수 있다. 이 경우 어느 superframe에서 packet이 도착할 경우 CPA가 부족하여 packet 도착 시점에 association request를 보내기 어려워지게 되고 이것은 association delay를 초래하게 된다. 즉, FA-WPAN이 가지고 있는 다수의 CAP의 장점이 효과를 발휘 할 수 없을 수도 있다. 따라서 이러한 경우를 보완하기 위해 FA-WPAN에서는 항상 superframe의 끝부분에 의무적으로 최소한의 CAP를 할당하게 함으로써 association request의 전송이 다음 superframe으로 넘어가는 것을 방지하게 했다.

만약 어느 DEV의 트래픽의 packet arrival rate가 항상 일정한 경우라면 PNC는 그 DEV를 위해 일정한 기간을 가진 CTA를 할당 하면 된다. 그러나 variable bit rate을 가진 트래픽에 대해서는 경우에 따라 CTA의 기간을 조정해 주어야 할 필요가 있다. 그럼으로써 각 DEV들의 queue에 축적된 packet들이 지연되어 drop되는 것을 막을 수 있다. 이를 위해 FA-WPAN에서는 각 DEV들은 그들의

queue의 상태 또한 PNC에게 CAP 기간 동안 보고하도록 하였다. 이로 인해 PNC가 각 DEV에게 누적된 packet들의 전송을 위한 충분한 시간을 가진 CTA를 할당하게 할 수 있다.

IV. 성능분석

본 장에서는 본 논문에서 제안된 방식을 기존의 IEEE 802.15.3에 기초한 방식과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 분석한다. 시뮬레이션에서는 error가 없는 channel 모델을 사용하였고 슈퍼프레임의 크기는 65ms, 물리계층의 전송속도는 22Mbps, 그리고 반경 10m의 크기를 가진 Piconet을 가정 했다. 본 시뮬레이션에서는 912kb/s의 rate를 가진 Constant Bit Rate (CBR) 트래픽과 580Kbps 평균 rate, 4.4Mbps 최고 rate를 가진 MPEG4 트래픽을 real-time Variable Bit Rate (rt-VBR) 트래픽의 모델로서 사용한다^[7]. 각 DEV들은 CBR 또는 rt-VBR 트래픽을 전송하며 CBR 트래픽을 가진 DEV는 ON과 OFF 모드를 가진다. 각 모드에서의 평균 체류기간은 20.0sec과 0.05sec를 가지며 exponentially distributed 된다.

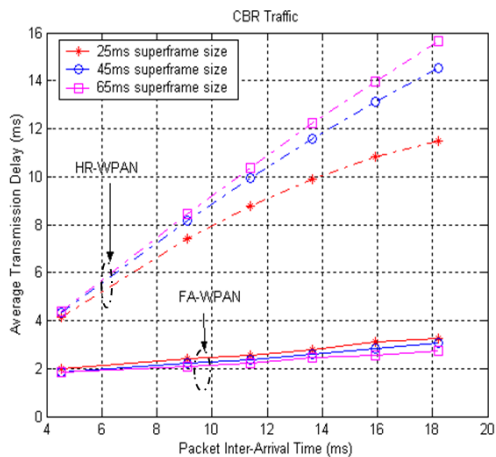


그림 4. CTA와 packet inter-arrival time간의 동기화의 예
 Fig. 4. An Example of the synchronization process

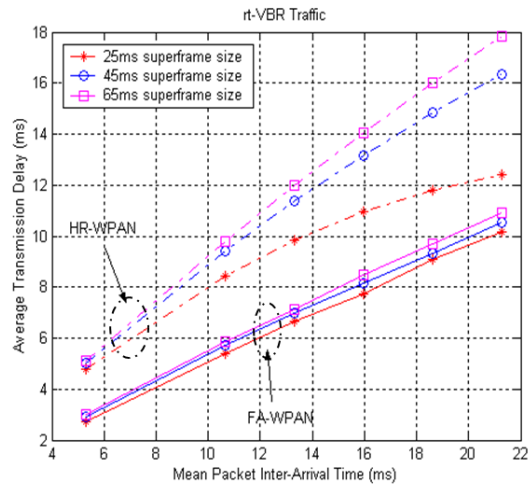


그림 5. CTA와 packet inter-arrival time간의 동기화의 예
 Fig. 5. An Example of the synchronization process

제안된 방식의 성능은 25ms, 45ms, 65ms 등 세 개의 다른 superframe 크기에 대하여 평가되어진다. 사용된 CBR or rt-VBR packet들의 delay bound는 [8][9]에서 사용한 방식과 같이 packet inter-arrival time과 같게 한다. 즉, MAC layer에 도착한 모든 packet들은 다음 packet이 도착하기 전에 전송되어야 한다. 시뮬레이션에 사용된 MAC layer의 parameter들은 [3]에서의 IEEE 802.15.3 표준을 따른다.

그림 4와 5는 CBR과 rt-VBR traffic들에 대한 평균 전송 delay를 보인다. 그림에서 제안된 FA-WPAN의 지연이 HR-WPAN의 delay보다 적게는 한배에서 크게는 4배 이상 줄었음을 보여주고 있다. 또한, HR-WPAN에서의 delay는 앞부분에서 언급하였듯이 superframe의 크기에 따라 Delay성능이 차이를 보이는 반면에 FA-WPAN의 성능은 superframe의 크기에 영향을 받지 않는 것을 그림들에서 보여주고 있다. 이론적으로 HR-WPAN의 평균전송지연은 superframe 크기의 양 반에 해당한다. 이것은 그림 4와 5에서 확인되어지는데 superframe 크기 25ms에서

HR-WPAN의 Delay가 약 12.5, 즉 superframe 크기의 반에서 수렴되어 짐을 보이고 있다.

V. 결론

IEEE 802.15.3 표준으로 대표되는 고속 WPAN에서 access delay와 association delay는 superframe이나 또는 packet inter-arrival time에 의존되는 경향을 보인다. 따라서 실시간 트래픽의 QoS가 superframe이나 또는 packet inter-arrival time에 의해 제한된다고 할 수 있다.

본 논문에서는 HR-WPAN에서 이러한 제한성을 줄이기 위해 packet arrival 시점과 이 packet을 위한 CTA의 위치를 동기 시키기 위한 방법을 제시한다. 다양한 시뮬레이션을 통하여 이 제안된 방법에 대한 성능을 분석하였고 성능의 향상을 증명하였다. 제안된 동기화 방식을 사용하여 access delay는 packet inter-arrival time으로부터 독립적이 되었으며 association delay는 superframe의 기간과 덜 의존적이 되었고 queue 상태에 대한 PNC로의 보고 또한 빠르게 가능해졌다. 결론적으로 제안된 방식은 지연제한적 트래픽에 대해 기존의 IEEE802.15.3에 비하여 적은 packet dropping rate를 보여주고 있다.

참고 문헌

- [1] W.S. Kim, I.W. Kim, S.E. Hong, and C.G. Kang, "A seamless coordinator switching (SCS) scheme for wireless personal area network," IEEE Trans. Consumer Electron., vol.49, no.3, pp.554-560, Aug. 2003.
- [2] J. Karao-guz, "High-rate wireless personal area networks," IEEE Commun. Mag., pp.40-54, Dec. 2001.
- [3] "Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for high rate wireless personal area networks (WPANs)," IEEE Std. 802.15.3, 2003.
- [4] R. Mangharam and M. Demirhan, "Performance and simulation analysis of 802.15.3 QoS," IEEE 802.15-02/297r1, Jul. 2002.
- [5] C. G. Kang, C. W. Ahn, K. H. Jang, and W. S. Kang, "Contention-Free Distributed Dynamic Reservation MAC Protocol with Deterministic Scheduling (C-FD3R MAC) for Wireless ATM Networks," IEEE Journal on Selected Area in Communication, vol. 18, pp.1623-1635, Sep. 2000.
- [6] A. Torok, L. Vajda, K.-J. Youn, and S.-D. June, "Superframe Formation Algorithms in 802.15.3 Networks," . IEEE WCNC'04, pp. 1008-1013, Atlanta, Georgia, Mar. 2004.
- [7] F.H.P. Fitzek and M. Reisslein, "MPEG-4 and H.263 video traces for network performance evaluation," IEEE Network, pp.40-54, Nov./Dec. 2001.
- [8] S.-C. Lo, G. Lee, and W.-T. Chen, "An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs," IEEE Transactions on Computers, pp.764-778, June 2003.
- [9] P. Koutsakis, S. Psychis, and M. Paterakis, "On the Integration of MPEG-4 Video Stream with Voice and E-mail Data Packet Traffic over Wireless Picocellular Networks," Proc. IEEE PIMRC'01, pp. 60-64, October 2001.

※ "본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-(C1090-0801-0003))

— 저 자 소 개 —



김병서(정회원)

- 1998년 인하대학교 전기공학과 공학사.
 - 2001년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering M.S.
 - 2004년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering Ph.D.
 - 1997년 12월~1999년5월 한국 모토롤라, CIM Engineer.
 - 2005년1월~2007년8월 Motorola Inc. Sr. Engineer.
 - 2007년9월~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 전임강사.
- <주관심분야 : 무선통신 네트워크, 프로토콜 디자인, 자원할당, 무선 Multicasting, 무선보안>