

## HR-WPAN에서의 Weighted Fairness를 이용한 Channel Time 스케줄링 기법 연구§

이용석<sup>0\*</sup> 한진우<sup>\*</sup> 최웅철<sup>\*</sup> 이승형<sup>\*\*</sup> 정광수<sup>\*\*</sup>  
광운대학교 컴퓨터과학과<sup>\*</sup> 광운대학교 전자정보공학부<sup>\*\*</sup>

{yslee77<sup>0</sup>, kasinali}@cs.kw.ac.kr wchoi@daisy.kw.ac.kr {rhee, kchung}@kw.ac.kr

### Channel time scheduling scheme using Weighted Fairness for HR-WPAN

Yongsuk Lee<sup>0\*</sup> Jinwoo Han<sup>\*</sup> WoongChul Choi<sup>\*</sup> Seung Hyong Rhee<sup>\*\*</sup> KwangSue Chung<sup>\*\*</sup>  
Department of Computer Science, KwangWoon University<sup>\*</sup>  
Department of Electronics Engineering, KwangWoon University<sup>\*\*</sup>

#### 요 약

HR-WPAN(802.15.3)의 CTAP에는 Time Slot(CTA) 할당 스케줄링 기법이 적용되어 있지 않다. 이에 본 논문에서는 CTAP의 채널 할당 방식에 유선망의 패킷 스케줄링방법인 WFQ(Weighted Fair Queuing)를 적용하고자 한다. 현재 표준에서 TDMA를 적용하기 위한 명확한 스케줄링 기법이 없으며, 대량의 트래픽으로 인해 소량의 트래픽이 기아현상을 겪을 수 있는 공정성(Fairness)의 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 각각의 DEV들에 가중치를 적용하여 공정한 방법으로 채널을 할당 받고자 한다. 이를 통해 HR-WPAN의 채널 할당방식에 있어서의 공정성 문제를 해결하고 delay bound를 제공하는 time slot 스케줄링 기법을 제안한다. 본 논문에서는 Weighted Fairness를 적용한 분산적 스케줄링 방법에 대한 연구를 통해 HR-WPAN에서의 성능 향상을 이루고자 한다.

#### 1. 서 론

무선 개인화 네트워크(WPAN : Wireless Personal Area Network)는 실내, 사무실, 폐쇄된 공공장소등의 환경에서 매우 짧은 거리의 통신서비스를 제공하는 네트워크 기술이다. WPAN은 10m 이내의 짧은 거리에 존재하는 컴퓨터와 주변기기, 휴대폰, 가전제품 등을 무선으로 연결하여 이들 기기 간의 통신을 지원함으로써 다양한 응용서비스를 창출할 수 있다. 특히 최대 1Mbps의 전송률과 세계의 음성 채널로 인해 매우 제한된 데이터 전송을 지원하는 블루투스의 취약점을 극복하고 멀티미디어 전송이 가능한 기기들간의 애드 혹 형태의 연결을 지원하기 위하여 IEEE 802.15.3에서 새로운 표준안인 고속전송 WPAN(High Rate WPAN)이 개발되었다. 우리는 현재 유선 상에서 사용되고 있는 스케줄링 알고리즘 방식을 CTAP에 적용하고자 한다. 적용하고자 하는 스케줄링기법은 다양한 유선 네트워크 flow에서 link로 들어가고자 하는 패킷을 공정하게 스케줄링하는 방법 중에 하나인 WFQ를 적용하고자 한다. WFQ알고리즘은 Priority Queuing 방식에서의 기아 현상을 해결함과 동시에 FairQueuing 방식에서 차별화된 서비스를 제공하지 못하는 현상을 해소하기 위해 제안되었다. 본 논문에서는 WFQ알고리즘을 이용하여 HR-WPAN내에서의 각 DEV간의 공정한 채널 할당을 할 수 있는 방안에 대하여 논하고자 한다.

#### 2. 관련 연구

2.1 HR-WPAN(High Rate Wireless Personal Area Networks) HR-WPAN(802.15.3)에서 통신을 수행하는 각각의 장치들은 DEV(data device)라고 부르며 다수의 DEV들이 모여 통신을 가능하도록 하는 무선 애드혹 형태의 데이터 통신 시스템을 Piconet이라고 부른다.

Piconet은 그림 1에서와 같은 구성 요소를 가진다. 기본적인 구성요소는 DEV이며, 하나의 DEV가 Piconet의 조정자 역할을 수행하는 PNC(Piconet Coordinator)가 된다. PNC는 beacon프레임을 통해 piconet을 위한 기본적인 시간 동기화를 제공한다. 추가적으로 PNC는 QoS(Quality of Service) 요구, Power Save 모드, Piconet에 대한 접근 제어(access control)를 관리한다. HR-WPAN의 Piconet에서 시간은 superframe에 기반한다. superframe은 세 부분으로 나누어진다. Beacon은

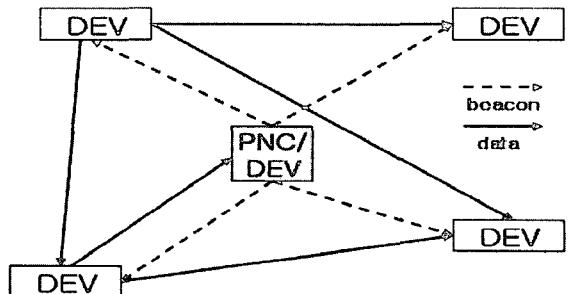
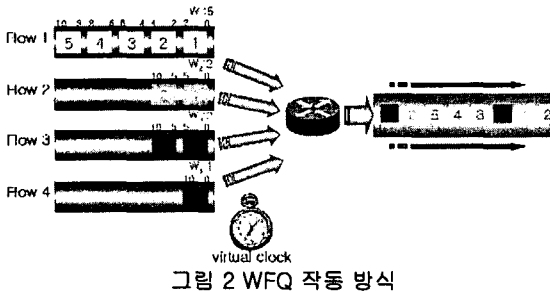


그림 1 HR-WPAN(802.15.3) piconet 구성

시간 할당과 Piconet을 위한 관리 정보의 통신을 위해 사용된다. 경쟁 접근 구간(CAP:Contention Access Period)은 명령 프레임과 비동기 데이터의 통신을 위해 필요하며 선택적으로 존재 할 수 있다. 채널 시간 할당 구간(CTAP:Channel Time Allocation Period)은 관리 CTA(management CTA)를 포함하여 CTA(Channel Time Allocation)로 구성된다. CTA는 명령어, 동시적 스트림, 비동기 데이터의 연결을 위해 사용된다. CTAP에서는 Power Saving 및 QoS를 지원하는 것이 가능하다. CAP의 기본적인 매체 접근 방식은 CSMA/CA이며, CTAP는 TDMA이다. PNC는 CTAP를 CTA들로 나누며, CTA를 할당 받은 DEV는 채널 시간을 보장 받게 된다[1][2].

2.2 WFQ(Weighted Fair Queuing)

WFQ는 패킷 스케줄링 기법의 하나로써 link로 전송하기 위해서 들어오는 패킷들의 경로인 flow들에 각각 다른 가중치(weight)를 두어 각 flow들에 들어오는 패킷들에 virtual clock을 이용 패킷의 종료시간을 정하여 준다. 가중치에 의해서 정해진 패킷의 종료 시간에 따라서 각 flow의 패킷들은 공평하게 스케줄링된다. virtual clock은 실제 시간이 아닌 가상의 시간으로 그림 2에서와 같이 각 flow에 들어오는 패킷의 종료 시간을 정하여 준다. 종료 시간은 flow별 가중치에 따라서 차등적으로 정하여 준다.



Flow에 도착한 패킷은 flow별로 할당 받은 가중치에 의해서 패킷의 종료 시간을 할당 받게 된다. 그 이후 virtual clock의 흐름에 따라서 패킷의 종료시간에 각 flow들은 패킷을 서비스 하게 된다. 만일 서로 다른 flow에 동일 시간의 종료 시간을 가진 패킷이 존재한다면 flow의 가중치 값에 따라서 가중치가 높은 flow의 패킷이 먼저 서비스 된다. WFQ는 패킷 전송이 다른 패킷을 전송하기 위해 인터럽트 되지 않는 사실을 고려하지 않는다. WFQ의 장점으로 모든 flow가 우선 순위를 가지기 때문에 기아 현상이 발생하지 않는다. 그리고 Fair Queuing방식에서의 차등화된 서비스를 제공하지 못하는 현상을 해소하였다. 단점으로는 Event 발생이 빈번할 경우에 virtual time계산이 복잡해 질 수 있고 server의 load가 증가할 수가 있다. 또 Backlogged flow들에 대한 추적이 필요하기 때문에 overhead의 발생이 생길 수 있다[3].

지금 까지 우선 TDMA 네트워크를 위한 스케줄링 알고리즘에 대한 연구를 해온 여러 가지 논문이 발표 되었다[4][5][6]. 본 논문에서는 WPAN에 Weighted Fairness의 개념을 적용한 스케줄링 기법에 대해서 논하고자 한다.

3. 본 론

3.1 WFCTAP(Weighted Fair Channel Time Access Period)  
 HR-WPAN의 CTAP에서는 CTA 할당 스케줄링 기법에 대해서는 언급되지 않는다. 그래서 본 논문에서는 HR-WPAN의 Throughput 및 Delay bound의 보장을 위해서 WFCTAP (Weighted Fair Channel Time Access Period)를 제안한다. WFCTAP는 CTAP에 WFQ스케줄링 기법을 적용한 CTA 할당 스케줄링 기법이다. WFCTAP는 CTAP와 같은 TDMA에 기반한 채널 접근방법을 시도 하고 CTA할당에 있어서는 공평성을 고려한다. 그리고 PNC는 송수신 DEV ID와 가중치를 DEV에게 알려 분산적인 스케줄링이 이루어 지도록 한다.

3.2 동작 방식

PNC는 각 DEV의 요청을 종합하여 가중치를 결정하고 beacon을 통하여 DEV에게 이를 송신한다. CTA의 스케줄링은 각 DEV에서 분산적으로 계산하고 DEV들은 가중치를 바탕으로 virtual clock을 계산한다. 그림 3에서와 같이 위의 사실을 기반으로 DEV들은 CTA의 할당 정보를 가지고 있게 된다. PNC는 모든 DEV들의 virtual clock을 알 수 있고 고정 크기의 CTA를 사용함으로써 할당된 CTA의 시작 시점을 할 수가 있다.

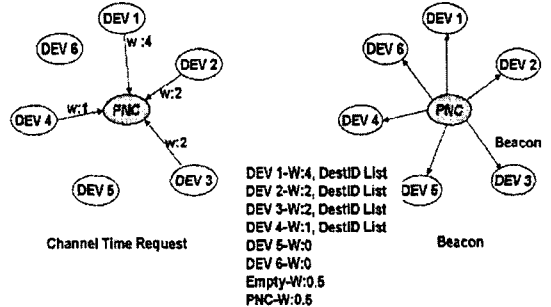


그림 3 WFCTAP 작동 방식

DEV의 채널 요청에 대해 PNC는 가중치를 정하여 다음 beacon에 모든 DEV들에 대한 가중치 정보와 각 세션의 송수신 DEV ID를 포함 시켜 송신한다.

3.3 Virtual clock

Virtual clock은 실제 시간이 아닌 전송 순서와 전송 시점을 정하기 위한 가상의 시간이다.

$$\frac{W_i}{\sum_j W_j} \times C = C_i, \text{ VirtualClock} = \frac{\text{SizeofTimeSlot(bits)}}{C_i}$$

$\sum_j W_j = \text{모든 DEV의 weight 합}$      $W_i = \text{DEV } i\text{의 weight}$

$C = \text{Link capacity}$      $C_i = \text{DEV } i\text{에게 할당되는 Capacity}$   
 위와 같은 virtual clock계산법에 의하여 각 DEV 가중치에 의한 결과값으로 virtual clock값이 정하여 진다. 표 1의 경우에 virtual clock이 계산된 결과가 나타나고 있다. 각 DEV가 사용하는 time slot은 고정된 크기를 가진다. PNC 역시 가중치를 두어서 time slot을 가지며, 이를 이용하여 beacon을 전송하게 된다. 그리고 Open slot이라는 것을 두어서 DEV5, 6 처럼 time slot을 할당 받지 못한

표 1 virtual clock 결과 값

SrcID	Weight	Virtual Clock	DestID List	Active
DEV1	4	2.5		On
DEV2	2	5		On
DEV3	2	5		On
DEV4	1	10		On
DEV5	0	0		Off
DEV6	0	0		Off
Open	0.5	20		
PNC	0.5	20		On

DEV가 channel을 요청하는데 사용된다. Open slot에 대한 매체 접근 방식은 Slotted aloha access방식이 되어 먼저 time slot을 차지하는 DEV가 해당 slot을 사용하게 된다. Virtual clock이 동일한 경우가 발생 할 때는 time slot의 DEV ID가 낮은 것에 높은 우선 순위를 주어서 충돌이 발생하는 것을 방지 한다. 그리고 open slot과 PNC가 가장 낮은 우선순위를 가지도록 스케줄링 한다. 그림 4에서 virtual clock에 의한 DEV들의 스케줄링 방법이 나타나 있다.

3.4 WFCTAP의 특징

WFCTAP에서의 DEV들의 overhearing 문제를 해결하기 위해서 그림 4에서처럼 더 이상 채널 할당을 원하지 않는 DEV1과 새로운 채널할당을 원하는 DEV5의 경우에는 각각 open slot을 통하여 PNC에 이를 통보 한다.

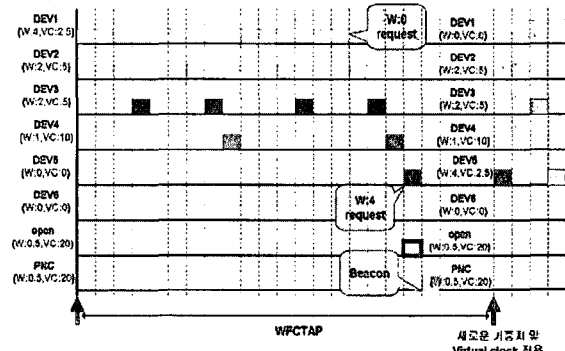


그림 4 WFCTAP의 virtual clock에 의한 스케줄링 과정

PNC는 이 결과를 수신하여 다른 DEV들에게 이를 통보한다. 이후 새로운 가중치와 virtual clock이 적용되어 채널 할당이 이루어 지게 된다. 이를 통해서 DEV 1은 Inactive상태로 전환되고 DEV 5는 active상태로 전환 된다. Control packet overhead의 문제는 CTAP에서 beacon의 모든 CTA에 대한 정보를 포함하도록 하고 WFCTAP에서는 beacon에 가중치, SrcID, DestID에 대한 정보를 포함 시켜서 해결하고 있다.

3.5 CAP, CTAP, WFCTAP

표 2에서는 CAP, CTAP, WFCTAP간의 동작 방식과 각각의 장단점을 비교 하여 나타나고 있다. WFCTAP의 가장 큰 장점은 스케줄링 적용을 통한 공정성 확보에 있다.

표 2 CAP, CTAP, WFCTAP간의 동작 방식 비교

	CAP	CTAP	WFCTAP
동작방식	CSMA/CA	TDMA	Weighted Fairness 이용한 TDMA
형태	Distributed Coordination	Centralized TDMA	Distributed TDMA
장점	Asynchronous Traffic 지원	Asynchronous Traffic 및 Isochronous Stream 지원	Fairness 보장
단점	충돌 발생	Fairness 문제	Isochronous Stream에 약함

4. 결론

본 논문에서는 무선 개인화 네트워크를 위한 IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서의 Weighted Fairness 개념을 적용한 Channel Time 스케줄링 기법을 제안하였다. 기존 CTAP 구간의 공정성 및 스케줄링 기법의 미비에 대한 문제를 해결하고 delay bound를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 또한 Channel 할당을 위해 beacon에 포함되어야 하는 정보는 할당되는 time slot의 수에 관계 없이 DEV의 수에 의해 결정되므로 상대적으로 전달되어야 하는 정보의 양이 줄어든다는 장점이 있다. 반면에 에너지 효율 및 동시적 스트림 지원에 대한 고려가 필요하며, 시뮬레이션을 통한 성능분석을 통해 제안 모델을 좀 더 개선할 필요가 있다.

5. 참고 문헌

- [1] "Draft Standard for Part 15.3: Wireless medium Access Control and Physical Layer Specifications for High rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)," Draft P802.15.3, Nov, 2001
- [2] Karaoguz, J., "High-rate wireless personal area networks", Communications Magazine, IEEE, Dec, 2001
- [3] Zhang L., "Virtual Clock: a new traffic control algorithm for packet switching networks." ACM Trans, Comp Sys, May, 1991
- [4] T.Nandagopal, s. Lu, and V. Bharghavan, "A Unified Architecture for the Design and Evaluation of Wireless Fair Queueing Algorithms," ACM MOBICOM, Aug-1999
- [5] T. S. Ng, I. Stoica, and H. Zhang, "Packet Fair Queueing Algorithms for Wireless Networks with Location-dependent Errors," IEEE INFOCOM, Mar, 1998
- [6] S. Lu, V. Bharghavan, and R. Sirkant, "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks," IEEE/ACM Trans. Net, vol. 7, no. 4, Aug 1999