

碩士學位論文

HR-WPAN에서 채널 상태에 따른  
우회 채널 할당에 관한 연구

濟州大學校 大學院



李 政 潤

2005年 12月

# HR-WPAN에서 채널 상태에 따른 우회 채널 할당에 관한 연구

지도교수 송 왕 철

이 정 윤

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함



이정윤의 공학 석사학위 논문은 인준함

審査 委員長 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

濟州大學校 大學院

2005 年 12 月

*A Study on the Intermediate Channel Assignment  
based on Channel Status in High-rate WPAN*

Jung-Yun Lee

(Supervised by professor Wang-Cheol Song)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF  
ENGINEERING

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2005. 12.

# 목 차

SUMMARY .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 고속 무선 개인망(HR-WPAN) .....	5
1. HR-WPAN 개요 .....	5
2. 채널 타임 할당 스케줄링 기법 .....	13
3. HR-WPAN의 채널 타임 스케줄링 기법의 고려사항 및 해결방안 .....	18
III. 채널 상태에 따른 우회 채널 할당 기법 .....	19
1. 우회 채널 할당 .....	19
2. Header 확장 .....	20
3. 채널 에러율 검출 .....	27
4. 우회 탐색 알고리즘과 채널 에러 상태 테이블 .....	32
IV. 우회 채널 할당 시뮬레이션 .....	36
1. 시뮬레이션 환경 및 설정 .....	36
2. 시뮬레이션 결과 및 고찰 .....	37
V. 결론 및 향후 연구 .....	39
참고문헌 .....	40

## 그림 목 차

Fig.1 Piconet의 구성 .....	9
Fig.2 Superframe의 구조 .....	10
Fig.3 MB-OFDM의 주파수 운용 방식 .....	12
Fig.4 표준 문서의 Channel Time Request Block.....	22
Fig.5 표준 문서의 Channel Time Response Block .....	23
Fig.6 표준 문서의 MAC Header .....	26
Fig.7 Imm-ACK Policy에서 채널 에러 상태 추출 알고리즘.....	29
Fig.8 Dly-ACK Policy에서 채널 에러 상태 추출 알고리즘 .....	31
Fig.9 우회 채널 탐색 알고리즘 .....	33
Fig.10 Piconet .....	34
Fig.11 성능 평가 결과 .....	38

## 표 목 차

표 1 HR-WPAN의 PHY 기술 비교 .....	12
표 2 MB-OFDM에서 channelization 방법 .....	13
표 3 확장된 Channel Time Request Block .....	22
표 4 Channel Time Request Block의 필드 .....	22
표 5 확장된 Channel Time Response Block .....	23
표 6 Channel Time Response Block의 필드 .....	24
표 7 Reason Code .....	24
표 8 확장된 MAC Header .....	26
표 9 확장된 MAC Header의 필드 .....	27
표 10 채널 에러 상태 테이블 .....	32
표 11 우회 채널 탐색 알고리즘에서 단축문자의 의미 .....	34
표 12 시뮬레이션 환경 .....	37

## Summary

### *A Study on the Intermediate Channel Assignment based on Channel Status in High-rate WPAN*

Jung-Yun Lee

Dept. of Computer Engineering

The Graduate School

Cheju National University



Wireless Personal Area Networks(WPANs) are designed for short-range ad hoc connectivity among portable devices. They have gained much attention in the industry since recently. One of them, High-rate WPAN, is designed to support multimedia traffic that requires high data rates. But, High-rate WPAN doesn't define the time slot assignment scheduling method of CAT(Channel Time Allocation). So, there has been many studies regarding time slot assignment scheduling of CAT.

However, present studies involve demerits about not applying various types of errors in air interface or having a starvation of a specific DEV(data device). In this thesis, I propose algorithms about supplying the intermediate channel assignment in order to avoid these demerits.

This method will help other methods that use time slot assignment scheduling of CTA.



## I. 서 론

현재의 컴퓨팅 환경은 휴대용 디지털 장치, 노트북, PDA 등과 같은 이동용 장치들의 광범위한 보급과 유·무선 통신 기술의 발전에 힘입어 급격한 변화를 겪고 있다. 이러한 컴퓨팅 환경의 변화는 언제, 어디서나 통신이 가능한 디지털 환경에 대한 요구로 나타나게 되었고, 이러한 요구는 유비쿼터스(Ubiquitous) 기술 및 홈 네트워크 등에 대한 관심의 증대를 낳게 되었다.

HR-WPAN(High-rate Wireless Personal Area Network)은 유비쿼터스 네트워크와 홈 네트워크를 실현할 수 있는 기술로써 주목을 받고 있다[1]. HR-WPAN은 IEEE 802.15 Working Group의 3번째 Task Group이 발표한 표준으로, 10m 범위의 개인 주변 영역에서 멀티미디어 전송이 가능한 기기들 간의 애드 후(Ad-Hoc) 형태의 연결을 지원하면서 55Mbps 이상의 고속 대용량 멀티미디어 데이터 통신을 가능케 하는 기술이다[2].

현재, HR-WPAN에 대한 연구는 초기 단계에 있고, HR-WPAN 역시 계속 발전을 하고 있는 추세이다.

HR-WPAN은 피코넷(Piconet)이라는 Ad-hoc network를 구성단위로 하여 TDMA 다중화 방식을 사용, 각 DEV(data device)간의 1:1 단방향 통신을 수행한다. 이러한 이유로 채널 타임 할당은 HR-WPAN의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다.

하지만, HR-WPAN에는 채널 시간 할당 스케줄링 기법이 정의 되어 있지 않다. 이러한 이유로 HR-WPAN에 대한 많은 연구들이 채널 시간 할당 스케줄링 방법에 대한 연구로 치중되고 있다. 지금까지 연구되어진 많은 채널 시간 할당 스케줄링 방법은 유선 상황에서의 스케줄링 방법을 적용하거나, 요청된 채널 시간을 모두 수용하면서 스케줄링 방법의 변화를 통해 전체적인 채널 이용률을 높이는 방향으로 연구되었다[3, 4]. 그러나 이러한 방법은 무선

환경에서의 여러 에러 요소를 간과한 면이 있다. 그리고 무선 환경의 에러 요소를 적용하여 스케줄링 하는 방법도 연구 되었으나, 특정 DEV에 대한 기아 현상을 초래할 수 있는 면을 갖고 있다[5].

이에 본 논문에서는 지금까지의 채널 시간 할당 스케줄링 방법을 보완하는 방안으로써 채널 상태에 따라 우회 채널을 제공하여 채널의 전체적인 이용률의 향상과 특정 DEV에 대한 기아 현상을 막을 수 있는 방안을 제시하였다.



## Ⅱ. 고속 무선 개인망(HR-WPAN)

### 1. HR-WPAN 개요

WPAN(Wireless Personal Area Network)은 휴대용 가전 및 통신기기들 사이에서, 일반적으로 10m 이내의 단거리 Ad-hoc 통신을 가능하게 해주는 기술이다. IEEE 802.15 워킹그룹에서 WPAN 기술로 가장 먼저 개발한 802.15.1 기술은 블루투스(Bluetooth)라고 불리며, 이미 가정이나 소규모 사무실에서 여러 기기들을 무선으로 연결하는데 사용되고 있다. 블루투스는 소비 전력이 낮고 크기가 작다는 특징으로 인해 많은 연구가 진행되었지만, 최대 1Mbps미만의 낮은 전송률 때문에 고화질 대용량의 멀티미디어 트래픽을 지원하는 것이 불가능하다[6]. 점차 고속의 대용량 전송을 필요로 하는 멀티미디어 트래픽이 많아짐에 따라 블루투스는 한계에 부딪히게 되었다. 이에 IEEE 802.15 Working Group은 이러한 블루투스의 한계를 극복하기 위해 IEEE 802.15.3 Task Group을 결성하여 고속의 대용량 멀티미디어 전송에 대한 요구를 만족시킬 수 있게 10m 범위의 개인 영역에서 55Mbps 이상의 전송률을 가지는 HR-WPAN을 개발하였다. HR-WPAN은 대용량 데이터의 교환이 많은 Home Network의 Home Entertainment Systems에서 유선 기술을 대체할 수 있는 기술로써 많은 기대를 받고 있다[1, 2].

#### 1) HR-WPAN의 특징

##### (1) 거리 극복

개인 영역에서의 무선 접속을 목표로 하기 때문에 10m 이내의 짧은 거리를

지원한다. 가정이나 소규모 사무실과 같은 좁은 지역의 네트워크를 목표로 개발된 기술이기 때문에 단거리의 무선 네트워크를 구성한다. 그러나 하나의 피코넷에 종속적인 피코넷인 child piconet과 neighbor piconet을 연결함으로써 거리에 따른 제약을 극복할 수 있다.

#### (2) 안정적 데이터 전송과 QoS

대용량의 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 고속의 전송률과 안정적인 전송을 지원한다. HR-WPAN은 1Mbps를 제공하던 블루투스보다 달리 멀티미디어 트래픽을 겨냥하여 55Mbps의 고속 전송이 가능하도록 설계되었다. 또한 멀티미디어의 안정적인 전송을 위해 TDMA 매카니즘을 이용하여 채널 타임을 할당한다. 채널 타임 동안의 트래픽 전송을 보장함으로써 트래픽에 대한 QoS를 보장할 수 있다.

#### (3) Infrastructureless 제주대학교 중앙도서관

HR-WPAN은 ad-hoc 네트워크를 구성한다. 피코넷을 관리하는 PNC는 인프라 네트워크의 관리자와는 달리 독립된 DEV가 PNC의 기능을 추가적으로 수행하는 것이다. 따라서 WPAN에서는 PNC의 기능을 하는 DEV의 상태에 따라 다른 DEV에게 PNC의 기능을 이양할 수 있다. 또한 PNC 역시 하나의 독립된 DEV로서 다른 DEV들과 통신이 가능하고 DEV간에는 peer-to-peer로 통신을 한다.

#### (4) Power Save

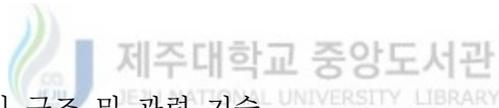
무선 디바이스의 전력은 배터리에 의존하기 때문에 효율적으로 전력을 소모해야 한다. HR-WPAN은 배터리 전력 소모를 줄이기 위해 여러 가지 Power Control 방법과 Power Management 방법을 이용해 전송 전력의 제어 및 절전 모드를 수행한다.

#### (5) 동적 채널 선택

피코넷에서 사용할 채널을 하나로 고정하지 않고 상황에 따라 바꿀 수 있다. PNC는 채널 정보를 통하여 현재 채널이 통신에 적합하지 않다고 판단하면 피코넷에서 사용하는 채널을 바꾼다. 피코넷의 이동이나 새로운 피코넷의 생성으로 인하여 충돌(Collision)이 발생할 수 있는 경우 채널을 변경하게 된다.

#### (6) 보안 모드

보안을 위하여 두 개의 모드를 사용한다. Mode 0는 Membership에 대한 보안이나 payload에 대한 보안이 전혀 이루어지지 않고 단지 DEV의 주소를 통하여 피코넷의 가입 여부를 결정한다. Mode 1에서는 관리키를 이용하여 DEV의 Membership을 관리하고 symmetric key를 이용하여 payload 보안을 구현한다.



#### 2) HR-WPAN의 구조 및 관련 기술

최근 홈 네트워크 및 유비쿼터스 네트워크에 대한 요구가 증대하면서 가정 내 가전기기, 사무기기 및 각종 정보기기들을 근거리에서 배선의 불편 없이 고속으로 연결시켜줄 수 있는 고속 무선 PAN 기술이 주목을 받고 있다. IEEE 802.15.3 Task Group이 개발한 HR-WPAN 기술은 5-55m 정도의 근거리에서 무선 단말들 사이의 초고속 멀티미디어 전송을 목표로 하고 있다. 또 다른 WPAN 기술인 블루투스의 최고 전송속도가 1Mbps 이하인데 비하여 현재 15.3 HR-WPAN은 최고 55Mbps의 전송 속도를 지원하고 있다. 그러나, 동영상 이미지, MP3 파일 등의 대용량 멀티미디어 데이터를 보다 효율적으로 지원하기 위해서 Task Group 3a에서는 새로운 physical layer 기술인 UWB(Ultra-WireBand)를 도입하여 근거리에서 480Mbps 이상의 초고속 전송을 위한 표준 제정을 위해 노력하고 있다[7]. 이 기술 표준이 제정되어 시장이 활성화 되는 경우에는 기존의 WPAN 기술인 블루투스가 사라짐과 동시에

home automation 등의 무선 단말간의 통신에 핵심적인 기술로 떠오를 것이다[1].

HR-WPAN은 멀티미디어와 같은 단방향 트래픽 전송을 기반으로 개발되었다. 그래서, 각 DEV는 전송을 위해 PNC에게 채널 타임을 할당 받고 할당받은 채널 타임 동안 점대점 단방향 통신을 함으로써 데이터를 전송한다.

#### (1) Piconet

HR-WPAN은 Fig.1과 같이 몇 개의 데이터 디바이스들로 이루어진 피코넷을 단위로 구성된다. 피코넷은 각각의 데이터 디바이스들 간에 통신을 할 수 있는 무선 ad-hoc 데이터 통신 시스템이다. 피코넷의 기본적인 구성 요소는 DEV이며 하나의 DEV가 피코넷의 조정자 역할을 하는 PNC가 되어 피코넷의 전송 단위인 슈퍼프레임을 전송함으로써 피코넷이 생성된다.

##### 가) DEV

피코넷의 기본 구성 단위이며, ad-hoc 네트워크에서 통신을 할 수 있는 가전기기, 사무기기 등의 모든 장치들이 될 수 있다.

##### 나) PNC

대체적으로 DEV 중 가장 성능이 우수한 DEV가 PNC 역할을 맡는다. PNC는 피코넷의 전송단위인 슈퍼프레임이 시작될 때마다 비콘(beacon)프레임을 전송하여 피코넷을 관리한다. PNC는 비콘프레임을 통해 각 DEV의 시간 동기화를 제공하고, 채널 타임 할당의 역할을 수행한다. 추가적으로 PNC는 QoS(Quality of Service) 요구, Power Save 모드, 피코넷에 대한 접근 제어(access control)를 관리한다.

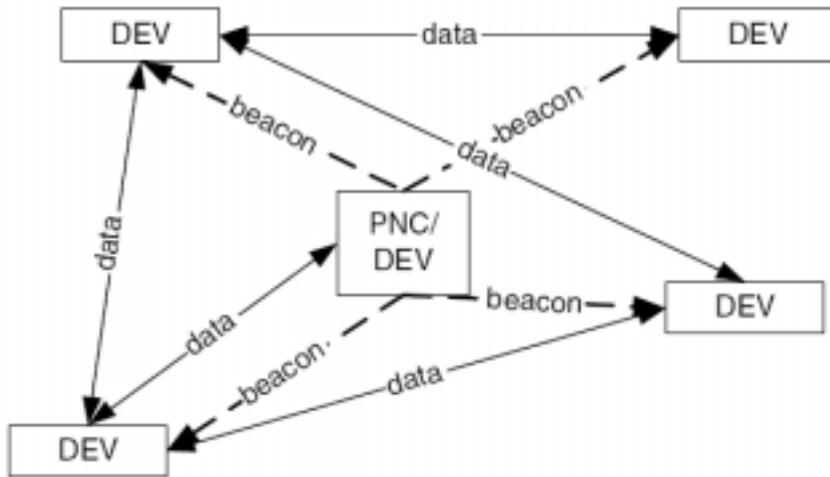


Fig.1 Piconet의 구성

(2) Superframe

슈퍼프레임은 HR-WPAN의 전송 단위로써, 반복적인 시간 주기이다. 슈퍼프레임은 Fig.2와 같이 Beacon, CAP(Contention Access Period), CTAP(Channel Time Allocation Period)의 세부분으로 구성된다.

가) Beacon

비콘구간에 전송되는 비콘 프레임은 피코넷에 대한 정보와 비콘 이후의 구간에 대한 정보들을 싣고 있다. 비콘 프레임을 통해 channel의 상태 정보, channel의 이용 현황, 각 DEV들의 시간 동기화, channel 할당 정보를 얻을 수 있다.

나) CAP

선택적으로 존재할 수 있는 구간인 CAP는 CSMA/CA(Carrier Sence Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 사용하여 데이터 전송을 원하는 DEV가 경쟁을 통해 channel를 획득하고 짧은 데이터를 전송할 수 있다. CAP 구간에서는 데이터 전송뿐만 아니라 명령 프레임과 DEV들의 채널 타임(Channel time) 요청도 이루어진다. 이 구간의 크기는 PNC에 의해 결정되고, 비콘 프레임을 통해 각 DEV에게 알려준다.

### 다) CTAP

채널 시간 할당 구간(CTAP:Channel Time Allocation Period)은 TDMA(Time Division Multiple Access) 매체 접근 방식을 사용하여 각 DEV가 데이터를 전송하기 위한 채널 타임을 할당한다. 이 구간은 다시 MCTA(Management CTA) 구간과 CTA(Channel Time Allocation)구간으로 구성된다. MCTA 구간은 주로 DEV와 PNC 간의 command 전송을 위해 사용되고, CTA 구간은 DEV간에 데이터 전송을 위해 사용된다.

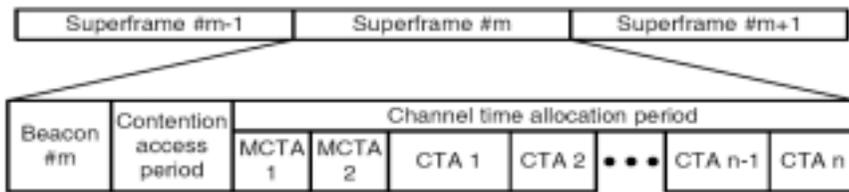


Fig.2 Superframe의 구조



### 3) Ack Policy

HR-WPAN에서는 no acknowledgement(no-ACK), immediate acknowledgement(Imm-ACK), delayed acknowledgement(Dly-ACK) 3가지 타입의 Acknowledgement가 정의되어있다.

#### (1) No-ACK

No-ACK policy는 전송 받은 frame에 대해 Acknowledgement를 전송하지 않는 방식이다. 이 정책은 전송하는 DEV가 모든 프레임에 대해 성공적으로 전송될 것이라고 가정하고, 계속적으로 다음 frame을 스케줄링하는 방식이다. No-ACK 방식은 3가지 타입의 ACK Policy 중 가장 채널 사용률이 높다. 하지만, 에러율이 높은 환경에서는 사용해서는 안된다.

## (2) Immediate ACK

Imm-ACK는 frame을 전송 받으면 즉시 ACK를 보내주는 방식이다. 이 방식은 3가지 타입의 ACK Policy 중 가장 채널 사용률이 낮지만, 가장 신뢰성이 높은 방식이다.

## (3) Delayed ACK

Dly-ACK는 Burst한 데이터를 받을 수 있다. Dly-ACK는 Dly-ACK negotiation할 때 정한 Burst-size만큼의 frame을 받은 후에 ACK를 보내는 방식이다. 이 방식은 No-ACK 방식보다 채널 이용률은 낮지만 신뢰성이 높고, Imm-ACK 방식보다 채널 이용률은 높지만 신뢰성이 낮다.

## 3) PHY Layer

2003년 5월에 미국 Dallas에서 개최되었던 IEEE 802.15 그룹의 Interim meeting에서는 총 23개의 서로 다른 방식의 PHY proposal이 접수되었고 이에 대한 기술 발표 및 질의응답이 진행되었다. 최종안을 결정하기 위한 프로세스는 Down selection과 Conformation vote로 이루어지는데, Down selection에서는 각 proposal에 대한 지지도를 조사하고 Conformation vote에서는 그 중에 가장 지지도가 높은 proposal에 대해서 다시 Roll-call vote를 실시하여 75% 이상의 득표를 하면 결정이 된다. 2003년 7월 회의에서 최종적으로 MB-OFDM(Multi-Band OFDM)[8]과 DSUWB(Direct Sequence UWB)[9]의 두 기술이 경합을 벌였으나 결정이 되지 못하였다. 이후 2달에 한번 개최되는 회의에서 계속하여 6:4 정도의 비율로 MB-OFDM이 우세한 가운데 진행 되었으나, 두 기술 모두 75% 이상의 지지를 얻지 못해 아직까지 표준이 정해지지 못한 상태이다[10].

다음 표 1은 두 가지 기술의 개요를 비교한 것이다.

표 1 HR-WPAN의 PHY 기술 비교

	MB-OFDM	DS-UWB
주파수 운용방식	14개 (대역폭 : 528MHz) -3개(mandatory):3168~4752MHz -11개(optional):4753~1005MHz	-single band : 3.1~4.9GHz -dual band : 3.1~4.9GHz 5.825~106GHz
변조방식	OFDM(128 FFT)/QPSK	CDMA(M-BOK)/BPSK
코딩방식	Viterbi	Viterbi
전송률	55 ~ 480Mbps	28.5Mbps ~ 1.2GHz
Multiple Access	Time/Frequency Hopping	4CDMA code set
회로복잡도	FFT/IFFT 구조	Rake receiver 구조

Fig.3에서와 같이 MB-OFDM 방식은 3.1 ~ 10.6GHz의 대역에서 528MHz의 밴드를 14개 사용하는 방식이다. 이 중에서 밴드 그룹 1을 제외한 나머지 밴드그룹은 선택사항이다. 각 밴드 그룹 내에서는 동시에 운용 가능한 피코넷(SOP : Simultaneously Operating Piconet)의 수를 확보하기 위해 표 2에서 보는 바와 같이 TFC(Time Frequency Code)에 의해 호핑(hopping)을 하도록 되어 있다[8].

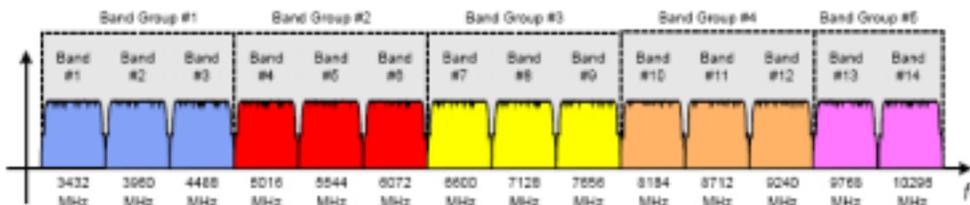


Fig.3 MB-OFDM의 주파수 운용방식

표 2 MB-OFDM에서의 channelization 방법(band group 1~4)

Preamble pattern	TF code length	Time Frequency Code					
		1	2	3	1	2	3
1	6	1	2	3	1	2	3
2	6	1	3	2	1	3	2
3	6	1	1	2	2	3	3
4	6	1	1	3	3	2	2

(1) MB-OFDM과 DS-UWB 기술의 장단점 비교

- a. Complexity와 Power Consumption 면에서는 DS-UWB가 우수함.
- b. Coexistence 측면 및 CMOS Implementation 면은 MB-OFDM이 우수함.
- c. MB-OFDM의 지지도가 6:4 정도로 우수함



2. 채널 타임 할당 스케줄링 기법

HR-WPAN에서 아직 규약으로 명시되지 않은 주제들에 대해 여러 연구가 이뤄지고 있는데, 특히 Power Control과 CTAP에는 CTA를 할당하는 채널 타임 할당 스케줄링 방법에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 지금까지 연구되어진 채널 타임 할당 스케줄링 기법에 대하여 살펴보고, 이러한 채널 타임 할당 스케줄링을 기반으로 하여 고려해야할 점들을 제기하고 해결책을 제시하고자 한다.

1) WFQ을 이용한 채널 타임 스케줄링 기법

WFQ(Weighted Fair Queuing)는 스케줄링 기법의 하나로써 link로 전송하

기 위해서 들어오는 패킷들의 경로인 flow들에 각각 다른 가중치(weight)를 두어 각 flow들에 들어오는 패킷들에 가중치에 따라 패킷의 종료시간을 정하여 준다. 가중치에 의해 정해진 패킷의 종료 시간에 따라서 각 flow의 패킷들은 공평하게 스케줄링된다.

HR-WPAN에서의 CTAP에 WFQ 스케줄링 기법을 적용한 WFCTAP(Weighted Fair Channel Time Allocation Period) CTA 할당 스케줄링 기법을 이용하여 CTA 할당의 공평성을 고려하고, PNC가 송수신 DEV ID와 가중치를 DEV에게 알려 분산적인 스케줄링이 이루어지도록 하는 스케줄링 기법 연구가 있다. 이러한 스케줄링 기법에서 PNC는 각 DEV의 요청을 종합하여 가중치를 결정하고 비콘을 통하여 DEV에게 송신한다. CTA의 스케줄링은 각 DEV에서 분산적으로 계산하고 DEV들은 가중치를 바탕으로 virtual clock을 계산한다. 이렇게 계산된 virtual time을 기반으로 DEV들은 CTA의 할당 정보를 가지고 있게 된다. PNC는 모든 DEV들의 virtual clock을 알 수 있고, 고정 크기의 CTA를 사용함으로써 할당된 CTA의 시작 시점을 알 수 있게 된다[11].

WFQ의 장점으로는 모든 flow가 우선 순위를 가지기 때문에 기아 현상이 발생하지 않는 점과 Fair Queuing 방식에서의 차등화된 서비스를 제공하지 못하는 현상을 해소할 수 있다는 점이다. 단점으로는 Event 발생이 빈번할 경우에 종료 시간 할당을 위한 Virtual time 계산이 복잡해 질 수 있고, server의 load가 증가할 수가 있다. 또 Backlogged flow들에 대한 추적이 필요하기 때문에 overhead의 발생이 생길 수 있다[3, 11].

## 2) RR을 이용한 채널 타임 스케줄링 기법

RR(Round-Robin) 방식의 채널 스케줄링 기법은 DEV의 요청이 있을 때마다 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[4].

### 3) SJCF을 이용한 채널 타임 스케줄링 기법

SJCF(Small Job Channel First) 스케줄러는 RR 방식의 단점을 보완하는 스케줄러이다. 이 스케줄러는 PNC가 사용 가능한 채널의 리스트와 각 채널에 현재까지 할당한 CTA의 양을 기록한다. DEV의 CTA 요청이 들어왔을 때 PNC는 CTA 할당량이 가장 적은 채널에 CTA를 할당한다. 할당 후 PNC는 채널 리스트에서 할당한 양만큼 더해줌으로써 리스트를 업데이트 할 수 있다. 이 스케줄링 방법은 RR 방식 보다 가변적인 CTA의 요구에 적절하게 채널 할당을 할 수 있다. 모든 채널에 할당된 CTA의 양이 비슷하도록 하여 슈퍼프레임의 길이를 줄일 수 있으므로 RR방식 보다 좀 더 좋은 성능을 낼 수 있다[4].

### 4) WRR을 이용한 채널 타임 스케줄링 기법

WRR(Weighted Round Robin) 기법을 이용한 채널 타임 스케줄링 방법은 DEV가 CTA 요청시 PNC가 받은 DEV가 할당 받기를 원하는 CTA의 총 Time Unit 만큼 한 슈퍼프레임의 CTAP 구간을 분할하여 할당하는 방식이다. 한 슈퍼프레임의 CTAP 구간은 할당이 요청된 모든 CTA의 길이의 합이 된다. 이 방법은 같은 특성의 트래픽이 같은 크기의 CTA만 요청하게 되면 CTAP를 공평하게 나누어 쓰게 되어 overload 상황이 아니라면 좋은 성능을 보이게 된다. 하지만 여러 가지 다른 QoS 요구 조건을 가지는 트래픽들이 서로 다른 CTA 크기를 요청하게 되면 그 트래픽이 요구하는 대역폭이나 지연 시간 등의 요구 사항을 반영할 수 없다. 새로운 트래픽에 대해 CTA가 할당 되면 슈퍼프레임의 크기, 즉 CTA 할당 간격이 커지기 때문에 이전에 CTA를 할당 받아 전송 중이던 트래픽들의 사용 가능한 대역폭이 줄어들게 되어 drop율이 증가하거나 지연시간이 길어지는 등 성능 저하가 발생하게 된다. 이 방식은 채널 타임 할당 간격이 전적으로 슈퍼프레임의 길이와 관계되고 슈퍼

프레임의 길이가 가변이기 때문에 트래픽의 특성에 맞는 CTA 크기를 결정하기 어렵다. 그리고, 슈퍼프레임의 길이가 트래픽의 상위 계층의 packet 생성 간격보다 짧을 경우 할당은 되었으나 사용되지 않는 CTA가 발생하여 대역폭을 낭비하는 경우가 발생할 수 있다[12].

#### 5) 동적 버퍼할당

Intel의 Mangharam과 Demirhan은 제한된 시간 내에 전송되어야 하는 멀티미디어 트래픽의 전송 성능을 높일 수 있는 간단한 방법을 제안했다[13]. 이 기법은 MAC 프레임의 헤더에 1바이트의 정보를 추가하여 각 DEV가 PNC에게 자신의 현재 버퍼 상태를 알리도록 하자는 것이다. 따라서 매 패킷마다 PNC는 각 DEV의 순시적인 채널 요구 사항을 파악하여 여러 DEV 사이에 동적으로 타임 슬롯을 할당하거나, 사용되지 않고 있는 대역폭을 트래픽이 많은 다른 플로우에게 추가로 할당하는 것이 가능해진다. 시뮬레이션 결과에 따르면 MPEG-4 트래픽의 전송 실패율(JFR : Job Failure Rate)을 평균 46%, 최대 60%까지 개선하는 것으로 나타났다.[13]

#### 6) 애플리케이션 인지형 스케줄링 기법

애플리케이션 인지형(Application-aware) 스케줄링 방법은 애플리케이션이 MPEG 트래픽인 경우에는 PNC가 미리 알려진 프레임의 크기 정보에 따라 동적으로 CTA를 할당하여 트래픽의 전송 실패율(JFR)을 최대한 낮추도록 하자는데 그 목적이 있다[14, 15]. 이 경우 DEV는 PNC에게 CTA를 요청할 때 추가로 애플리케이션에 대한 정보, 즉 MPEG 트래픽의 I, B, P 프레임의 최대 크기 및 프레임의 순환주기(GOP : Group of Pictures)에 대한 정보를 PNC에게 알려준다. 이 정보에 의하여 PNC는 MPEG 트래픽을 위한 CTA를 동적으로 할당해 준다.

그러나 이 방법은 MPEG 플로우의 개수가 많아지거나 네트워크의 대역폭이 충분하지 못할 경우에 문제가 발생하게 할 수 있으나, 몇몇 확장된 방식은

사용하면 대역폭이 낮거나 트래픽의 전송 속도가 높을 경우에도 성능을 유지할 수 있다[15].

#### 7) 링크상태에 따른 동적 채널 할당

무선 통신에서의 전송 매체인 air interface는 주위의 여러 환경적인 요인에 의해서 다양한 에러가 존재할 수 있다. 이러한 조건에서는 채널에 대한 신뢰도가 유선일 때보다 크게 떨어지며 더욱이 ad hoc 환경인 IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서는 이러한 에러에 대한 의존도가 더욱 클 수 있다. 기존의 채널 시간 할당 방법은 다양한 종류의 stream을 제대로 지원하지 못하는 한계를 지녔다. PNC는 각 DEV들이 필요로 하는 채널 타임을 아무런 여과 없이 그대로 반영한다. 다시 말해서 PNC가 할당한 채널 시간이 할당 받은 DEV가 사용하는 채널의 에러 상태에 따라서 부족할 경우도 있고 적당할 경우도 있다. 특히 채널에 에러 발생이 많아서 할당 받은 채널 시간을 제대로 사용 못하는 경우, DEV가 요구한 양을 그대로 할당하는 것은 비효율적이다. 그러므로 HR-WPAN에서 전송효율을 높이기 위해 각 DEV들이 요구하는 채널 타임을 각 DEV들의 에러 상황에 따라 가감하여 반영, PNC가 동적으로 할당해 준다면 전체적인 효율이 크게 향상될 것이다.

링크 상태에 따른 동적 채널 할당 방법은 각 DEV가 채널 타임을 요청할 때, PNC에게 CTA의 요구량과 함께 링크 상태(채널 에러율)를 같이 보내어 링크 상태에 따라 동적으로 채널의 양을 할당하는 방법이다. 즉, 에러가 존재한다면 할당 받은 채널 타임을 제대로 사용 못할 것으로 판단하여 채널에 에러가 존재하는 DEV에게는 요구한 채널 타임보다 적을 양을 할당하고, 대신 에러가 존재하지 않는 DEV에게는 요구한 채널 타임보다 더 많은 양을 할당해 줌으로써 전체 채널을 효율적으로 사용하고 그로 인한 aggregate throughput을 향상시킨다[5].

하지만 이러한 스케줄링 기법은 링크 상태가 좋지 않은 특정 DEV에게 계속적인 기아현상을 발생 시킬 수 있는 단점을 가지고 있다.

### 3. HR-WPAN의 채널 타임 스케줄링 기법의 고려사항 및 해결방안

피코넷의 제한된 대역폭을 효율적으로 활용하고 멀티미디어 트래픽의 QoS를 보장해 주기 위해서는 CTA를 효율적으로 스케줄링하는 방법이 매우 중요하다. 2장 2절에서 살펴본 바와 같이 기존의 스케줄링 기법들은 각각 장·단점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 기존에 연구되어진 채널 타임 할당 스케줄링 기법을 사용하면서, 이 스케줄링 기법들의 단점을 개선하기 위한 새로운 시도으로써 우회 채널 할당 기법을 제시하고자 한다.

HR-WPAN에서의 채널 타임 할당 기법은 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

첫째, HR-WPAN은 무선 통신 기술이다. 이는 Air-Interface의 여러 에러 요소에 노출되어 있다는 말과 같고, HR-WPAN의 채널 타임 스케줄링 기법은 이러한 에러 요소에 대한 적용이 필요함을 뜻한다. 하지만 지금까지의 채널 타임 스케줄링 기법은 에러 요소에 대한 적용을 고려하지 않는 방법이 대부분이었다. 이에 우회 채널 할당 기법은 각 DEV간의 채널 에러율을 관리하도록 설계 되었고, 이는 기존의 스케줄링 기법에 에러율을 적용할 수 있는 여지가 있음을 말한다.

둘째, 스케줄링 기법은 채널 사용에 있어 공정성을 제공해야 한다. 하지만, 공정성을 위해 채널 활용률을 떨어뜨리는 것은 바람직하지 않다. 이에 공정성을 포기하고 채널 활용률을 높이는 방향으로 많은 연구들이 진행되었는데, DEV의 Queue size 크기에 따라서 Time Slot의 양을 조절하거나[13], 링크 상태에 따라 Time Slot의 양을 조절하는 방법 등이 있다[5]. 하지만 이러한 채널 타임 할당 기법은 특정 DEV의 기아 현상을 초래해 채널 사용의 공정성에 많은 문제를 낳을 수 있다. 이에 우회 채널 할당 기법은 에러율이 높은 DEV에게 우회 채널을 할당함으로써 특정 DEV의 기아 현상을 막을 수 있다.

### Ⅲ. 채널 상태에 따른 우회 채널 할당 기법

본 논문에서는 2장 3절에서 살펴본 바와 같이 기존의 채널 타임 할당 스케줄링 기법의 단점을 보완하기 위해 우회 채널 할당 기법을 제안하였다. 본 단락에서는 우회 채널 할당 기법의 동작 방법과 구현을 위한 몇 가지 제안을 하겠다.

#### 1. 우회 채널 할당

IEEE 802.15.3의 PNC는 피코넷의 모든 채널과 피코넷의 멤버 DEV에 대한 모든 정보를 가지고 있다. 또, PNC의 기능을 다른 DEV에게 양도할 때에는 자신이 가지고 있는 모든 정보를 PNC의 기능을 수행할 DEV에게 전달한다. 이것을 PNC Handover라고 한다.

피코넷의 멤버 DEV는 처음 피코넷에 접속할 때 자신의 정보를 PNC에게 전달하고, 전송하는데 있어 필요한 채널의 할당을 PNC에게 요청하여 할당받은 후 전송을 시작할 수 있다. 그래서 PNC는 피코넷의 모든 채널 할당 정보를 획득할 수 있는 것이다.

이에 본 논문에서 제시하는 우회 채널 할당 방법은 각 DEV들 간의 전송을 위한 채널 할당 요청 시 각 DEV들 간의 채널 에러율을 관리하는 채널 상태 정보 테이블을 PNC가 이용해 특정 에러율 이상의 에러가 채널에 발생할 경우 이에 대한 해결책으로써 우회 채널을 할당하여 전송을 보장하자는데 목적이 있다.

본 논문의 2장 3절에서 언급한 여러 채널 할당 스케줄링 방법의 단점을 보

완하는 방법으로써 우회 채널 할당 방법을 사용하여 더 좋은 성능을 발휘할 수 있을 것이다.

동작은 다음과 같이 이뤄진다. 우선, 전송을 시작하는 DEV는 전송 중 에러율을 체크하고 채널 할당 요청 시 계산된 에러율을 같이 PNC에게 보낸다. PNC는 지금까지의 전송 DEV와 수신 DEV간의 채널 에러 상태에 대한 채널 상태 테이블을 생성한다. 전송 DEV는 지정된 에러율 이상의 에러가 채널에 발생하면 PNC에게 우회 채널 할당을 요청한다.

그러면, PNC는 현재 채널 타임의 여유가 있는지 확인한 후 채널 타임의 여유가 있을 경우 각 DEV들 간의 상태 정보에 기반하여 포워드 DEV를 결정하고 전송 DEV와 포워드 DEV, 포워드 DEV와 수신 DEV간의 채널을 할당하고, 이것을 전송 DEV에게 포워드 DEV의 ID와 함께 통지한다.

전송 DEV는 우회 경로에 대한 응답을 받게 되면 수신 DEV가 아닌 포워드 DEV에게 수신 DEV의 ID와 데이터를 함께 보낸다.

포워드 DEV는 MAC header의 추가된 필드인 포워드 필드의 셋팅 유무에 의해 자신의 데이터인지 다른 수신 DEV가 존재하는지를 확인 할 수 있고, 만약 포워드 필드가 1로 셋팅이 되어 있으면, MAC header의 추가 필드인 FDestID(Final Destination Device ID)의 내용을 SrcID로 변경한 후 수신 DEV에게 전달한다. 이때 추가 필드인 포워드 필드를 0으로 변경하여 보내야 한다.

## 2. Header 확장

본 논문에서 제안하는 우회 채널 할당 방법을 이용하기 위해서는 IEEE Standard에서 제안하는 MAC Header를 확장해야할 필요성이 있다. 기본적으로, DEV가 PNC에게 채널 타임을 요청하는 CTRqB(Channel Time Request

Block)과 PNC가 DEV에게 할당한 채널 타임에 대한 정보를 전달하는 CTRpB(Channel Time Response Block), 그리고, 데이터를 전송하는 MAC Header를 확장함으로써, 본 논문에서 제안한 우회 채널 할당 방법을 적용할 수 있게 된다.

#### 1) CTRqB(Channel Time Request Block) 확장

CTRqB는 DEV가 PNC에게 자신이 사용할 채널 타임을 요청하는 블록으로써 통신에 필요한 여러 정보를 PNC에게 전달함으로써 PNC가 채널 타임 할당을 수행할 수 있도록 하는 블록이다.

##### (1) 확장의 필요성

우회 채널 할당 방법을 사용하기 위해서는 채널의 에러 상태를 표현하는 필드와 우회 채널 할당을 요청하는 필드가 Block 안에 존재해야하지만, 기존의 IEEE Standard 문서에서는 이러한 필드에 대한 정의가 되어 있지 않다.

본 논문에서는 우회 채널 할당 방법을 사용하기 위해 기존의 CTRqB에 두 개의 추가 필드를 추가함으로써 본 논문의 목적을 달성하도록 설계하였다.

##### (2) 필드 확장

본 논문에서는 Fig.4의 표준 CTRqB를 표 3과 같이 두 개의 필드를 추가함으로써 확장을 하였다. 확장된 필드는 Channel Error Rate 필드와 Request Forward DEV 필드이다. Channel Error Rate 필드는 각 DEV가 채널 타임을 요청할 때마다 각 DEV간의 채널 에러 상태를 PNC에게 알려주는 역할을 한다. Request Forward DEV 필드는 송신 DEV가 수신 DEV와의 채널 상태에 따라 포워드 DEV를 요청할 수 있도록 확장된 필드이다. 확장된 이 두 개의 필드를 이용하여 PNC는 각 DEV간의 채널 상태를 알 수 있게 되고, 송신 DEV는 채널 상태에 따라 PNC에게 우회 채널을 할당할 수 있게 된다.

각 필드에 대한 의미는 표 4에 정의되었다.

octets: 1	1	2	2	1	1	1	1	1-127	1
Desired number of TUs	Minimum number of TUs	CTRq TU	CTA rate factor	CTRq control	Stream index	Stream request ID	DSPS set index	Target ID list	Num targets

Fig.4 표준 문서의 Channel Time Request Block

표 3 확장된 Channel Time Request Block

1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1-127	1
DTU	MTU	CTU	CRF	CC	Sidx	SRid	DSPS	Err	RF	Tid	Nt

표 4 Channel Time Request Block의 필드

필드명	의미
Desired number of TUs(DTU)	할당받기를 원하는 Time Unit 수
Minimum number of TUs(MTU)	할당받기를 원하는 최소 Time Unit 수
CTRq TU(CTU)	CTA를 요청하기 위해 사용한 Time Uint
CTA rate factor(CRF)	같은 superframe에서의 CTA의 빈도
CTRq control(CC)	CTA type등 CTRq의 여러 control 필드들
Stream index(Sidx)	스트림의 종류
Stream request ID(SRid)	DEV의 요청 블록의 유니크한 ID
DSPS set index(DSPS)	DEV Synchronized Power Saver
Channel Error Rate(Err)	채널 상태 에러율
Request Forward DEV(RF)	우회 채널 요청 필드
Target ID list(Tid)	PNC와 접속된 DEV의 ID들
Num targets(Nt)	Target ID list중 Target이 될 DEV의 수

### (3) 확장에 따른 성능 변화

2장에서 살펴본바와 같이 채널 타임 할당 요청은 슈퍼프레임의 CAP구간에서 이루어진다. CAP구간은 각 DEV에게 할당된 채널 구간이 아니라, 경쟁에 의해 채널을 사용할 수 있는 구간이다. 그러므로 CTRqB에 두 개의 필드를 추가한다고 하여도 전체적인 성능과는 무관하다고 할 수 있다.

2) CTRpB(Channel Time Response Block) 확장

채널 타임을 요청 받은 PNC는 자신이 관리하고 있는 Channel 할당 상태를 확인한 후 DEV에게 CTRpB(Channel Time Response Block)을 통해 채널의 할당 유·무, 할당 유·무의 이유를 알려주게 된다.

(1) 확장의 필요성

IEEE Standard 문서에서의 CTRpB에는 채널 타임 할당에 대한 유·무와 이에 대한 이유에 대해 Reason Code를 통해 채널 타임을 요청한 DEV에게 알려주도록 설계되어있다. 본 논문에서 제시한 우회 채널 할당 방법을 사용하기 위해서는 할당 유·무뿐만 아니라 우회 채널 할당이 성공 유·무에 대한 정보와 포워드 DEV에 대한 ID도 필요하게 된다. 이에 본 논문에서는 CTRpB에 두 개의 필드를 추가함으로써 본 논문의 목적을 달성하도록 설계하였다.



octets: 1	1	1	1	2	2
Reason code	Available number of TUs	Stream index	Stream request ID	Length (=4)	Command type

Fig.5 표준 문서의 Channel Time Response Block

표 5 확장된 Channel Time Response Block

1	1	1	1	1	1	2	2
RC	ANTU	Sidx	SRid	RF	FID	Length	CT

표 6 Channel Time Response Block의 필드

필드명	의미
Reason code(RC)	채널 타임 할당 성공 여부 표시
Available number of TUs(ANTU)	CTA rate에 따른 할당된 Time Unit 수
Stream index(Sidx)	스트림의 종류
Stream request ID(SRid)	DEV의 요청 블록의 유니크한 ID
Response Forward DEV(RF)	우회 채널 요청에 따른 응답
Forward DEV ID(FID)	우회 채널이 할당된 포워드 DEV의 ID
Length	응답 블록의 크기
Command type	명령 타입

표 7 Reason Code

Code 값	의미
0	Success
1	Success, DEV in PS mode
2	Target DEV unassociated
3	Target DEV not a member
4	Priority unsupported
5	Stream terminated by PNC
6	Stream terminated by target DEV
7	Channel time unavailable
8	Destination DEV in power save mode
9	Unable to allocate as pseudo-static CTA
10	Superframe overloading
11	Requested super-rate or sub-rate unsupported
12	Request denied
13	Reserved

(2) 필드 확장

본 논문에서는 Fig.5의 표준 CTRpB을 표 5와 같이 두 개의 필드를 추가함으로써 확장을 하였다. 확장된 필드는 Response Forward DEV 필드와 Forward DEV ID 필드이다. Response Forward DEV 필드는 이 CTRpB이 정상적인 채널 할당의 응답인지, 우회 채널 할당의 응답인지에 대한 구분을 위

한 필드로써, 이 필드가 있으므로 Forward DEV ID 필드가 의미를 갖게 되는 것이다. 만약 CTRpB가 우회 채널 할당에 대한 응답일 경우, Forward DEV ID는 포워드 DEV의 ID가 될 것이고, 그렇지 않을 경우, 의미 없는 값이 되는 것이다. 이러한 확장을 통해 송신 DEV는 포워드 DEV의 ID를 알 수 있게 되고, PNC는 우회 채널 할당 유·무를 송신 DEV에게 전달할 수 있게 된다.

CTRpB의 각 필드의 의미는 표 6과 같이 정의하였고, 채널 할당 유·무에 관한 이유인 Reason Code의 의미 표 7과 같다.

### (3) 확장에 따른 성능 변화

이미 살펴본바와 CTRpB는 CTRqB와 같이 슈퍼프레임의 CAP구간에서 송수신이 이루어진다. CAP구간은 각 DEV에게 할당된 채널 구간이 아니라, 경쟁에 의해 채널을 사용할 수 있는 구간이므로 CTRqB에 두 개의 필드를 추가한다고 하여도 전체적인 성능과는 무관하다고 할 수 있다.

## 3) MAC Header 확장

무선 개인망에서 모든 데이터 MAC의 payload부분을 이용해서 송수신 된다. 각 DEV는 MAC Header의 DestID를 확인하여 자신이 수신해야할 데이터 인지를 구분하게 된다.

### (1) 확장의 필요성

본 논문에서 제안한 우회 채널 할당 방법에서는 MAC 프레임의 payload부분이 DestID 필드에 표시된 DEV가 수신해야하는 데이터라는 보장이 없다. 우회 채널이 할당된 경우 DestID의 DEV는 수신 DEV일 수도 있고, 포워드 DEV일 수도 있으므로 이러한 사실을 표현하는 새로운 필드가 필요하게 된다. 이에 본 논문에서는 MAC Header에 두 개의 필드를 추가함으로써 본 논

문의 목적을 달성할 수 있도록 설계하였다.

(2) 필드 확장

본 논문에서는 Fig.6의 표준 MAC Header를 표 8과 같이 두개의 필드를 추가함으로써 확장을 하였다. 확장된 필드는 Final Destination 필드와 Forward Frame 필드이다. Final Destination 필드는 이 프레임을 수신해야 하는 최종 수신 DEV의 ID를 표시하기 위한 필드이고, Forward Frame 필드는 이 프레임이 포워드할 프레임인지, 혹은 수신을 해야할 프레임인지 나타내는 필드이다. DestID의 DEV가 프레임을 수신하면, Forward Frame 필드를 보고 자신의 프레임인지, 포워드할 프레임인지를 확인한다. 만약 포워드할 프레임일 경우, Final Destination 필드의 DEV에게 이 프레임을 포워드한다.

확장된 MAC Header의 필드의 의미는 표 9와 같이 정의하였다.

1	3	1	1	2	2
Stream index	Fragmentation control	SrcID	DestID	PNID	Frame control

Fig.6 표준 문서의 MAC Header

표 8 확장된 MAC Header

1	3	1	1	1	1	2	2
Sidx	FragC	ScrID	DestID	FDestID	FF	PNID	FC

표 9 MAC Header의 필드

필드명	의미
Stream index(Sidx)	스트림의 종류
Fragmentation control(FragC)	Fragment number등의 단편화에 관련된 정보
ScrID	전송 DEV의 ID
DestID	수신 DEV의 ID
Final Destination(FDestID)	최종 수신 DEV의 ID
Forward Frame(FF)	포워드 프레임의 가·부
PNID	이 Packet이 전송되고 있는 Piconet ID
Frame control	ACK Policy, More data등 프레임 관련 정보

### (3) 확장에 따른 성능 변화

MAC Header에 두 개의 필드를 추가한 것은 매 패킷마다 2바이트의 정보가 추가된다는 의미이다. 이것은 데이터의 송수신이 경쟁 구간이 CAP구간에서 이루어질 때는 전체적인 성능과 무관하다고 할 수 있지만, 각 DEV에게 할당된 CTAP구간에서는 전체적인 성능에 영향을 줄 수 있다.

멀티미디어 트래픽의 전송 성능을 높일 수 있게 MAC Header에 1바이트의 추가 정보를 추가한 Intel에서는 패킷 당 1바이트의 추가 정보는 PHY Header의 프리앰블(preamble) 크기에 비해 매우 적은 양이므로 전체적인 성능에 대해 무시할 수 있을 정도라고 하고 있다[13].

본 논문에서 확장한 MAC Header의 2바이트 추가 정보도 전체적인 성능에 대해 무시할 수 있을 정도라고 할 수 있다.

## 3. 채널 에러율 검출

본 논문의 2장 1절에서 HR-WPAN의 Acknowledgement Policy에 대해 알아보았다. 여기서는 Imm-ACK와 Dly-ACK 방식을 이용하여 각 DEV들 간의 채널 에러 상태 정보를 얻을 수 있는 방법에 대해 알아보겠다.

### 1) Imm-ACK Policy를 이용한 채널 에러 상태

Imm-ACK Policy는 앞에서 살펴본 바와 같이 수신 DEV의 MAC 계층에서 데이터를 받는 즉시, ACK를 송신 DEV에게 전송하는 방식이다. 이러한 Imm-ACK Policy의 성질을 이용하여 각 DEV들 간의 채널 에러 상태 정보를 얻을 수 있다.

각 DEV는 채널 타임 할당을 받기 위해 PNC로 CTRqB을 보낼 때 Fig.7과 같은 방법으로 송신 DEV와 수신 DEV간의 채널 에러 상태를 획득할 수 있다.



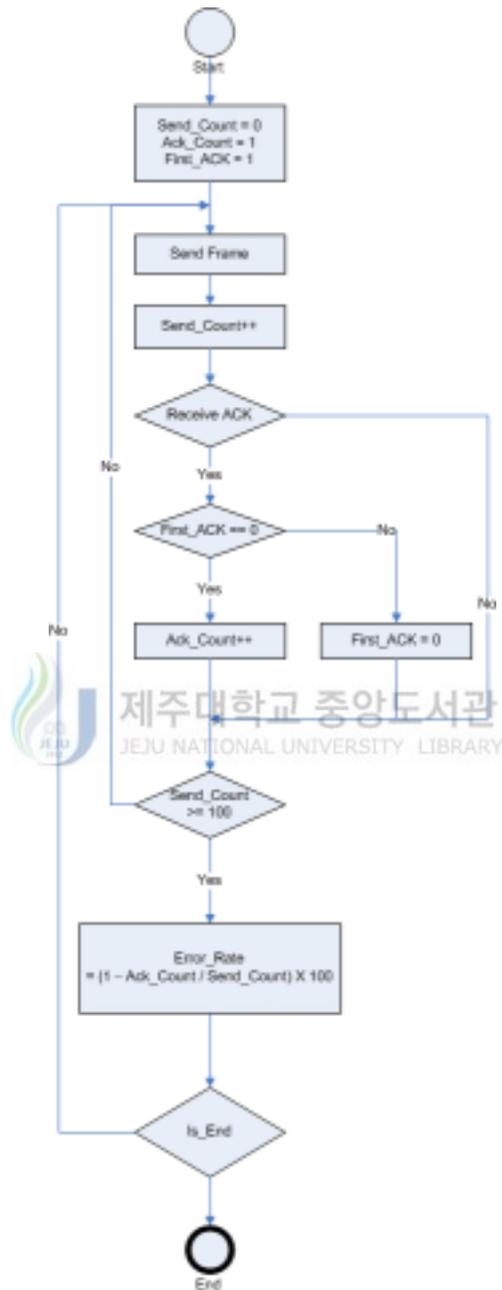


Fig.7 Imm-ACK Policy에서 채널 에러 상태 추출 알고리즘

Fig.7에서와 같이 각 DEV는 Send\_Count가 100 이상이 되지 않았을 경우에는 채널 에러를 검사하지 않고 Send\_Count와 Ack\_Count만을 증가시킨다. 이것은 에러율의 신뢰성을 높이기 위한 방안이다. Send\_Count가 100 이상이 되면, 채널 에러율을 계산하여 Channel Time Request Block에 채널 에러율을 넣어 PNC에게 채널 타임을 요청한다. PNC는 이러한 메카니즘으로 각 DEV 들 간의 채널 에러 상태를 알 수 있게 되는 것이다.

## 2) Dly-ACK Policy를 이용한 채널 에러 상태

Dly-ACK Policy는 II. 1. 2)에서 살펴본 바와 같이 Burst한 데이터를 전송하기 위해 사용된다. Dly-ACK Policy를 이용한 채널 에러 상태 획득 방법은 Imm-ACK Policy 방법과 매우 유사한다.

Fig.8에서 보는 바와 같이 Dly-ACK Policy 방법은 Send\_Count를 이용해 에러율을 획득하는 것이 아니라, ACK Policy negotiation에서 정한 burst-size를 이용해 Burst-Count의 수를 얻어 에러율을 계산한다.

Dly-ACK Policy의 ACK는 burst-size만큼의 프레임이 수신 DEV에 도착했을 때 송신 DEV로 ACK를 전송하므로 burst-size만큼의 프레임이 몇 번 수신됐는지가 중요하다.

에러율의 신뢰성을 위해 Imm-ACK Policy 방법은 Send\_Count가 100 이상일 때부터 에러율을 계산하지만, Dly-ACK Policy에서의 Burst\_Count는 burst-size에 의존적이므로, Burst\_Count가 10 이상일 경우 에러율을 계산하도록 설계했다.

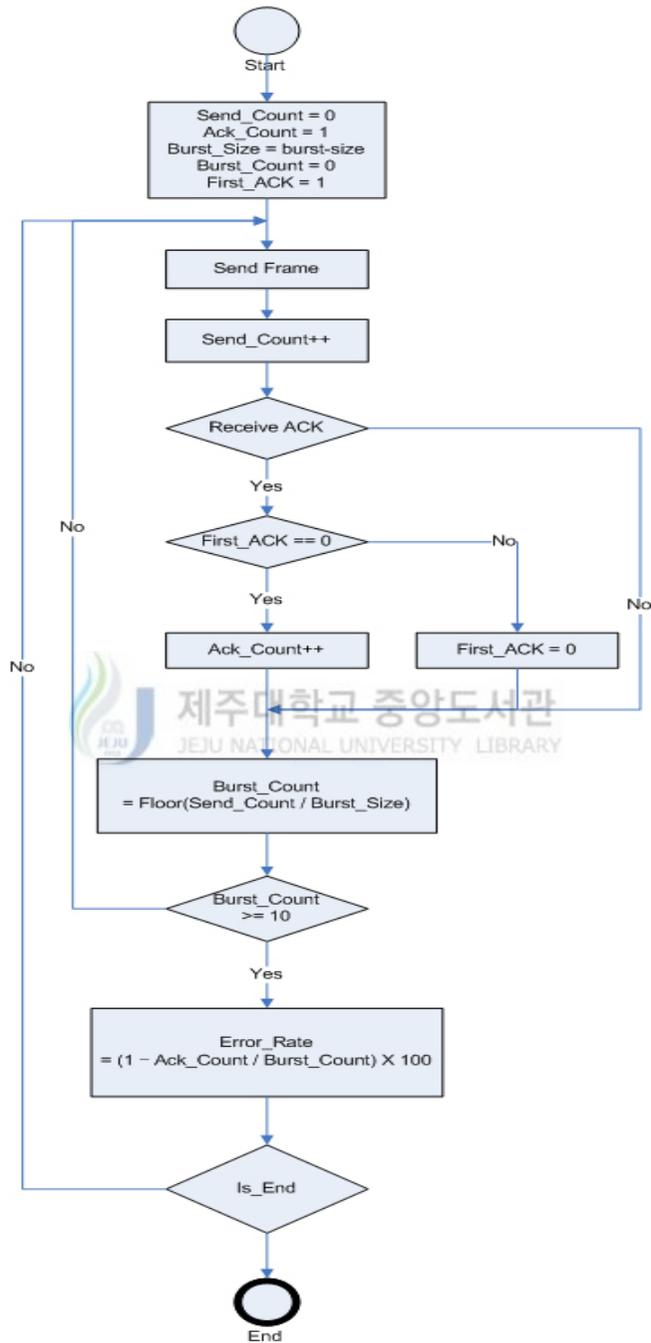


Fig.8 Dly-ACK Policy에서 채널 에러 상태 추출 알고리즘

#### 4. 우회 채널 탐색 알고리즘과 채널 에러 상태 테이블

본 논문에서 제시하는 우회 채널 할당 방법에서의 PNC는 각 DEV가 CTRqB으로 채널을 요청할 때마다 CTRqB의 Channel Error Rate 필드의 내용과 타겟 DEV의 ID, 그리고 요청 DEV의 ID로 채널 상태 테이블을 만들어 관리한다. 채널 상태 테이블은 표 10 과 같이 소스 DEV ID, 타겟 DEV ID, 그리고 두 DEV간의 채널 에러율을 필드로 가지고 있게 된다.

표 10 채널 에러 상태 테이블

소스DEV	타겟DEV	에러율	소스DEV	타겟DEV	에러율	소스DEV	타겟DEV	에러율
PNC	A	15%	A	PNC	10	B	PNC	8%
PNC	B	8%	A	B	50%	B	A	50%

피코넷은 최대 32개의 멤버 DEV를 수용할 수 있다[13]. 상태 테이블의 Record는 노드의 수가 n일 경우,  $n \times (n - 1)$ 개이므로 최악의 경우  $32 \times 31$ 개 즉, 992개의 Record 수를 가질 수 있다. 이러한 문제점은 Child Piconet을 이용해 몇 개의 클러스터를 만들어 해결할 수 있을 것이다.

만약 소스 DEV가 우회 채널 할당을 요청하게 되면 PNC는 Fig.9와 같은 방법으로 채널 에러 상태 테이블을 탐색하면서 가장 적당한 포워드 DEV를 선정하여 송신 DEV와 포워드 DEV, 포워드 DEV와 수신 DEV 사이에 채널을 할당하여 CTRpB으로 송신 DEV와 포워드 DEV에게 우회 채널 할당에 대해 알려준다.

각 DEV는 에러율에 대한 Threshold 값을 갖고 있어 이 Threshold 값 이상의 에러율이 발생했을 때 PNC에게 우회 채널 할당을 요청하게 된다.



표 11 우회 채널 탐색 알고리즘에서 단축문자의 의미

단축 문자	의미
SD	소스(송신) DEV의 ID
TD	타겟(수신) DEV의 ID
FD	포워드 DEV의 ID
Err	Error Rate
STTE	송신 DEV와 수신 DEV 사이의 총 에러율
CFD	후보 포워드 DEV의 ID
Threshold_Error	채널 에러율의 Threshold 값
FirstRecord	채널 에러 상태 테이블의 최상위 Record
NextRecordF	테이블을 탐색하기 위한 첫 Index
NextRecordS	테이블을 탐색하기 위한 두번째 Index
TRecord	수신 DEV와 타겟 DEV를 비교하기 위해 사용되는 변수
SRecord	송신 DEV와 테이블 내 송신 DEV를 비교하기 위해 사용되는 변수

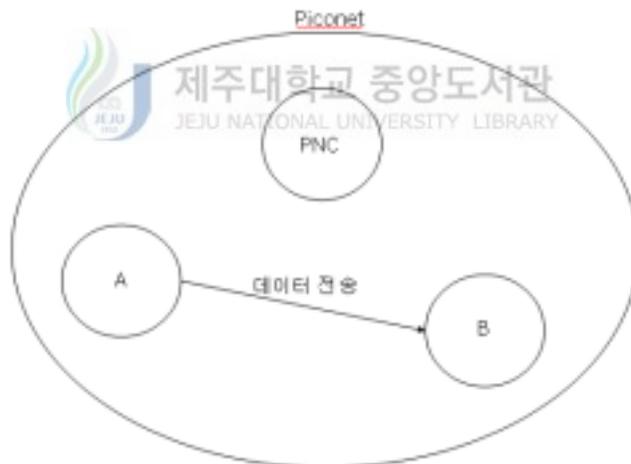


Fig.10 Piconet

Fig.10과 같은 피코넷이 있을 때, A에서 B로 데이터를 전송하는 경우를 생각해 보자. 이때, 채널 에러 상태 테이블은 표 10 과 같다고 하고, 채널 에러 Threshold는 20%라고 가정하자.

DEV A에서 DEV B로의 채널 에러율은 50%이다. 채널 에러 Threshold보

다 채널 에러율이 높으므로, DEV A는 PNC에게 우회 채널 할당을 요청하게 된다. PNC는 자신의 채널 상태 테이블을 Fig.9의 방법으로 탐색하여 포워드 DEV를 정한 후 이것을 공지하게 된다.

PNC는 먼저 수신 DEV인 B와 같은 타겟 DEV를 갖는 Record를 찾는다. 다음으로 송신 DEV와 소스 DEV가 같은 Record를 찾고, 이렇게 찾은 두개의 Record 중 첫 Record의 송신 DEV와 두 번째 Record의 수신 DEV의 ID가 같은지 확인해서 같으면 두 Record의 에러율을 더한다. 이러한 Record의 쌍 중에서 에러율의 합이 가장 작은 값을 Threshold와 비교해 Threshold 값보다 크면, 우회 채널 할당에 실패하게 되고, 작으면, Record 쌍에 공통적으로 들어 있는 DEV가 포워드 DEV가 된다. 이때 PNC는 자신의 채널 할당 상황을 보아 채널의 여유가 있을 때 우회 채널을 할당하게 된다.



## IV. 우회 채널 할당 기법 시뮬레이션

현재 HR-WPAN은 NS2(Network Simulator 2)에 적용이 되지 않았으나, Intel의 Mustafa Demirhan이 NS2 2.1b9 버전에서 HR-WPAN을 구현하였다. 이에 본 논문에서는 HR-WPAN이 구현된 NS2 2.1b9 버전을 확장하여 우회 채널 할당 기법을 시뮬레이션하였다[13].

### 1. 시뮬레이션 환경 및 설정

시뮬레이션은 NS2을 사용했으며, 여기에 802.15.3 MAC을 구현한 기존의 소스코드에 수정을 통하여 수행하였다. 표 12는 시뮬레이션 환경을 나타내고 있다. 대역폭은 55Mbps을 최대 대역폭으로 설정했고, CBR rate는 20Mbps로 설정했다. 플로우 개수는 우회 채널을 위해 2개로 잡았고, 송신 DEV와 수신 DEV간에 에러율은 30%로 잡았다. 시뮬레이션에서 플로우의 에러는 NS2에서 지원하는 에러 모델을 사용했다. 채널 타임 할당 스케줄링 기법은 기존 소스에서 제공하는 WRR 스케줄링 방식을 사용했다.

시뮬레이션의 단순성을 위해 에러율 추출 및 우회 채널 할당에 관한 Negotiation은 생략했고, 바로 송신 DEV에서 포워드 DEV로, 그리고 수신 DEV로 전송하도록 했다. 시뮬레이션에서 송신 DEV와 포워드 DEV간의 에러율과 포워드 DEV와 수신 DEV간이 에러율의 적용은 생략했고, 오직 송신 DEV와 수신 DEV간의 에러율에 의해 포워드 하는 방식을 선택했다.

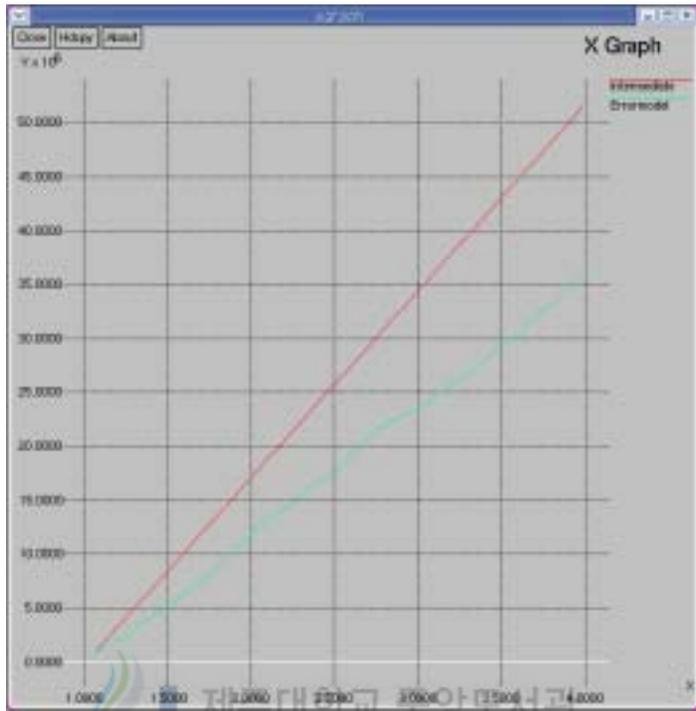
표 12 시뮬레이션 환경

속 성	값
Bandwidth	55Mbps
플로우 갯수	2
CBR rate	20Mbps
CBR packet size	2000
CTA time	4000 $\mu$ s
Error rate	30%
채널 타임 할당 스케줄링 기법	WRR
시뮬레이션 시간	3s

## 2. 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig.10은 송신 DEV와 수신 DEV간에 에러율이 30%일 때 우회 채널 할당 기법을 사용한 것과 사용하지 않은 것에 대해 비교한 그래프이다. Intermediate는 우회 채널 할당 기법을 적용한 시뮬레이션 결과이고, Errormodel은 기법을 적용하지 않은 시뮬레이션의 결과이다. NS2에서 제공하는 에러 모델의 에러율이 고정 에러율 방식이 아니기 때문에 에러율이 적용된 Errormodel의 결과는 비선형적인 변화를 보이고 있다.

Fig.10에서 보면, 시뮬레이션 실행 1초 후, Intermediate와 Errormodel의 데이터 수신량에서 5Mbit의 차이가 생기고, 시뮬레이션 종료 시간에는 50Mbit와 35Mbit로 15Mbit의 차이가 생겼다. 이러한 결과로 미루어 보면, 데이터 송신량은 송신 시간에 비례함을 알 수 있다. 결론적으로 시간이 지날수록, 에러율이 높을수록 우회 채널 할당 기법을 적용한 방식이 그렇지 않은 것보다 보다 나은 성능을 발휘함을 알 수 있다.



제주대학교 중앙도서관  
 JEJU UNIVERSITY LIBRARY

Fig.11 성능 평가 결과

## V. 결론 및 향후 연구

유비쿼터스와 홈네트워크에 대한 요구의 증대로 HR-WPAN에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그중에서도 HR-WPAN 표준 문서에 규정 되지 않은 채널 타임 할당 스케줄링 기법에 대한 연구가 많이 진행됐는데, 아직까지 모두에게 인정받을 만한 기법이 제시되어 있는 상태는 아니다. 이에 본 논문에서는 기존의 채널 타임 할당 스케줄링의 단점인 채널의 에러 상태 미적용과 특정 DEV의 기아 현상을 극복하여 기존의 스케줄링 기법을 보완할 수 있는 우회 채널 할당 기법을 제시했고, 이 기법을 실현하기 위한 채널 에러 상태 검출 알고리즘과 우회 채널 할당 알고리즘을 제시했다.

시뮬레이션을 통해 에러율이 높은 채널 상황에서 기존의 스케줄링 기법만을 사용한 것보다 채널 효율이 높았음을 알 수 있었다. 이는 우회 채널 할당 기법은 기존의 채널 타임 할당 스케줄링 기법의 보완적인 역할을 충분히 할 수 있음을 보여준 것이다.

향후, DEV의 증가에 따른 채널 상태 테이블의 레코드의 수가 지속적으로 증가하는 문제점에 대한 효과적인 대책에 대한 연구가 더 필요하고, 여유 채널 유·무에 의한 할당 룰에 대한 보완이 필요하다. 그리고, 에러율 Threshold를 검출할 수 있는 효율적인 알고리즘에 대한 연구도 필요하다.

## [참고문헌]

- [1] J. Karaoguz. "High-rate wireless personal area networks", IEEE Communications Magazine, pp. 96-102, Dec. 2001.
- [2] IEEE Std. 802.15.3 "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)", Sep. 2003.
- [3] 이용석, 한진우, 최응철, 이승형, 정광수, "HR-WPAN에서의 Weighted Fairness를 이용한 Channel Time 스케줄링 기법 연구", 한국정보과학회 2004 가을학술발표논문집 Vol. 31, No. 2, pp. 67-69, 2004.
- [4] 이병주, 이승형, 현영균, 김용석, 장기수, "고속 무선 PAN에서 다중채널 MAC을 이용한 채널 타임 할당", 한국정보과학회 2003 가을학술발표논문집 Vol. 30, No. 2, pp. 505-507, 2003.
- [5] 광동원, 이승형, "IEEE 802.15.3 고속 무선 PAN(Personal Area Network)에서 링크상태에 따른 동적 채널할당", 한국통신학회논문지 '04-7 Vol. 29, No. 7A, pp. 844-851, 2004.
- [6] A. Chandra, V. Gummalla, and J. Limb, "Wireless medium access control protocols", IEEE Communication Surveys, 2000.
- [7] Matt Welborn and Bill Shvodian "Ultra-Wideband Technology for WPAN - The IEEE802.15.3/3a Standards" UWBST Tutorial, Nov. 17, 2003.
- [8] Anuj Batra et al., "Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE802.15.-03/286r3, Mar. 2004.
- [9] Matt Welborn et al., "DS-UWB Physical Layer Proposal for IEEE802.15 Task Group 3a", IEEE802.15-03/140r7, July 2004.

- [10] 이승형, “[무선통신] 초고속 무선 PAN 표준화 현황”, TTA, IT Standard Weekly, Sep. 20, 2004.
- [11] Zhang L., “Virtual Clock: a new traffic control algorithm for packet switching networks”, ACM Trans, Comp Sys, May 1991.
- [12] 박종호, 이태진, 전선도, 연규정, 원윤재, 조진웅, “KOINONIA 고속 WPAN의 멀티미디어 전송을 위한 채널 타임 할당 및 CAC 알고리즘”, 한국통신학회논문지 '05-5 Vol. 30, No. 5A
- [13] R. Mangharam and M. Demirhan, “Performace and simulation analysis of 802.15.3 QoS”, IEEE Doc 802.15-02/297r1, Jul. 2002.
- [14] R. Koenen, “MPEG-4 Overview”, ISO/IECJTC1/SC29/WG11, Mar. 2002.
- [15] S. Rhee, K. Chung, Y. Kim, W. Yoon, and K. Chang “An application-aware MAC scheme for IEEE 802.15.3 high-rate WPAN”, Proceedings of WCNC, Mar. 2004.

## 감사의 글

부족한 제가 2년 동안 무사히 대학원 생활을 마무리할 수 있도록 지도해주신 송왕철 교수님께 먼저 감사의 말씀을 드립니다. 그리고, 저의 발전을 위해 많은 충고를 해주신 김장형 교수님, 안기중 교수님, 곽호영 교수님, 변상용 교수님, 김도현 교수님, 변영철 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

힘들 때 마다 용기와 힘이 되어준 경진이와 김강석 선배, 허지완 선배, 파루크 그리고, 성수, 현준, 명찬에게도 고맙다는 말을 전합니다.

대학원 생활 동안 많은 도움을 주신 정은경 선배님, 이정하 선배님, 오상현 선배님, 양동호 선배님, 송재경 선배님, 강인석 선배님, 그리고 훈이에게도 이 글을 통해 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 항상 저를 믿고 사랑해주는 가족에게 감사의 마음을 전합니다.

2005년 12월  
이 정 윤 올림