

# WiMedia MAC DRP 프로토콜에서 효율적인 영상 스트리밍 서비스를 위한 Fast MAS 재조정 기법

정 태 욱\*, 정 철 호\*, 김 재 석\*

## Fast MAS Reallocation Method for Efficient Video Streaming Service of WiMedia MAC DRP

Taewook Chung\*, Chulho Chung\*, Jaeseok Kim\*

### 요 약

본 논문은 WiMedia 시스템의 DRP 예약 과정에서 발생하는 충돌을 실시간으로 회피할 수 있는 Fast MAS 재조정 기법을 제안한다. WiMedia MAC DRP는 예약 전송을 기반으로 주기적으로 발생하는 음성 및 영상 전송의 QoS 지원을 목표로 고안되었다. 그러나 기존 WiMedia 시스템은 영상 스트리밍 서비스의 경우 발생하는 데이터의 사이즈의 변화에 따라 예약 과정에서 충돌이 빈번하게 발생하는 문제가 있으며 지연에 민감한 영상 스트리밍 서비스의 QoS를 보장할 수 없다. Fast MAS 재조정 기법은 실시간으로 다른 기기의 예약 정보를 분석하여 충돌이 예상될 경우 즉시 회피하여 보다 효율적인 영상 스트리밍 서비스를 지원할 수 있다. 제안된 기법은 영상 스트리밍 서비스 상황을 고려한 소프트웨어 시뮬레이션을 통해 화질 향상 정도를 평가하였으며 실시간으로 동작하기 위해 하드웨어 및 소프트웨어로 구현되어 WiMedia MAC/PHY 통합 시스템에서 동작함을 검증하였다.

**Key Words** : WiMedia MAC, DRP Protocol, Video Streaming Service, DRP Reservation Conflict

### ABSTRACT

In this paper, we propose a fast MAS reallocation method that can avoid reservation conflicts in the DRP process of WiMedia system in real time. WiMedia MAC DRP has been developed aimed QoS support for audio and video transmission that generate traffic periodically. The size variation of the video streaming data causes DRP reservation conflicts frequently, so that DRP could not support QoS of the video streaming service which is delay-sensitive. Fast MAS reallocation method could avoid reservation conflicts in real-time analyzing reservation requests information of the other device. Our proposed method is evaluated with test sequences using the software simulation and implemented in hardware/software with the integrated WiMedia MAC/PHY system.

### I. 서 론

Ultra WideBand(UWB)는 중심 주파수 대비 사용

주파수의 대역폭이 20% 이상 혹은 500 MHz 이상의 주파수 대역폭을 사용하는 통신 기술이다<sup>[1]</sup>. UWB는 Wireless personal area network (WPAN), 즉 10미터

\* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2015004883)

• First Author : School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, cobain@yonsei.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Jaekim@yonsei.ac.kr, 정회원

\* School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, chulho729@yonsei.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2014-12-474, Received December 2, 2014; Revised December 24, 2014; Accepted May 21, 2015

이내의 짧은 거리에서 고속의 데이터 통신을 제공하면서 동시에 Wireless local area network (WLAN) 기기에서 소모하는 전력량의 1/5 수준의 전력을 사용하여 통신이 가능하다는 장점이 있다. WiMedia Alliance는 IEEE802.15.3의 WPAN 기술 연합에서 독립하여 Multi-band orthogonal frequency division multiplexing (MB - OFDM)을 기반으로 하는 UWB 시스템을 제안하였으며 네트워크 측면에서 영상 및 음성 서비스를 고려하여 무선 멀티미디어에 특화된 표준을 제정하였다<sup>2)</sup>. WiMedia 시스템은 3100 ~ 10600 MHz 주파수 대역을 528 MHz씩 14개의 밴드로 나누어 사용하며 물리 계층에서 최대 1 Gbps의 전송률을 지원한다. 네트워크 계층에서는 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장하기 위해 Time division multiple access (TDMA) 기반의 예약 전송 프로토콜에 초점을 맞추어 연구되었다.

멀티미디어 기기의 성능이 발전하여 사용자가 거치식 디스플레이뿐만 아니라 모바일 단말에서도 Ultra high definition (UHD)급의 영상 콘텐츠를 요구하게 되었다. WiMedia는 이와 같은 수요를 충족시키기 위해 멀티미디어 스트리밍 서비스를 효과적으로 지원하는 것에 중점을 두어 개발되었으며 그 가운데 Distributed reservation protocol (DRP)는 영상 스트리밍 서비스의 QoS를 보장하기에 적합한 프로토콜로서 WiMedia의 대표적인 멀티미디어 서비스 지원 기능이다. WiMedia 시스템은 중앙 관리 역할을 하는 장치 없이 Ad-hoc 기반의 분산형 네트워크를 구성한다. DRP 예약 과정 역시 특정 관리 기기가 무선 자원을 배정하는 것이 아니라 각각의 기기가 독립적으로 예약 과정을 진행하고 예약이 성공했을 때 DRP 프로토콜을 사용하여 송수신한다. 네트워크를 관할하는 기기가 없는 상황에서 예약 과정에서 충돌이 발생하거나 원하는 만큼의 무선자원을 예약하지 못할 경우에 대해 신속하고 능동적으로 대처하는 부분은 취약하다. 본 논문에서 우리는 DRP 예약 충돌 상황에서의 성능 저하를 줄이기 위한 Fast MAS (medium access slot) 재조정 기법을 제안하였고 Full HD급의 영상 스트리밍을 전송하는 환경에서 성능 향상을 확인하였다. 또한 Fast MAS 재조정 기법을 하드웨어 및 소프트웨어로 구현하여 검증을 완료하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WiMedia MAC의 개요와 영상 스트리밍 서비스에 대해 살펴보고 영상 스트리밍의 특성과 이를 전송하기 위한 DRP 프로토콜의 장점 및 단점을 분석한다. 3장에서는 효율적인 영상 스트리밍 서비스를 지원하기

위한 Fast MAS 재조정 기법을 설명하고 하드웨어 구현 내용을 설명한다. 4장에서는 영상 스트리밍 서비스 상황에서 제안한 기법의 성능을 평가하며 5장에서는 본 논문의 결론 및 결과를 정리한다.

## II. WiMedia MAC 개요 및 영상 스트리밍 서비스의 특징

### 2.1 WiMedia MAC 개요

WiMedia MAC은 Ad-hoc 기반의 분산 네트워크를 기반으로 256개의 MAS로 구성되는 superframe을 주기적으로 반복하는 채널 관리 방법을 사용한다<sup>2)</sup>. 각각의 MAS는 256us이며 superframe은 이에 256배인 약 65ms의 주기를 갖는다. WiMedia 네트워크는 네트워크를 관할하는 중앙 관리장치가 존재하지 않고 기기간의 직접 통신을 통해 네트워크를 구성하는데 이를 위해 superframe의 전반부는 기기간의 네트워크 구성 정보를 공유할 수 있는 beacon 구간으로 사용하고 나머지 부분을 데이터 전송 구간으로 할당하여 이 구간에서 실질적인 데이터 통신이 이루어진다. 그림 1은 WiMedia 시스템의 superframe에 대한 그림을 나타내며 beacon 구간의 길이는 네트워크를 구성하는 기기의 숫자에 따라 가변적으로 변하는데 최대 96개의 기기까지 beacon 전송이 가능하다. WiMedia 기기들은 beacon 구간에서 현재 혹은 나중에 사용할 무선 자원에 대한 정보를 다른 기기들에게 알리게 되며 네트워크를 구성하는 다른 모든 기기들은 이를 수신하여 데이터 전송 구간에 데이터를 송수신한다.

WiMedia 기기는 데이터 전송 구간에서 두 가지 방법으로 채널을 점유하여 데이터를 전송한다. 채널을 점유하는 방법은 PCA (Prioritized Contention Access) 기법과 DRP 기법이 있는데 PCA 기법은 IEEE 802.11e에서 정의한 EDCA (Enhanced

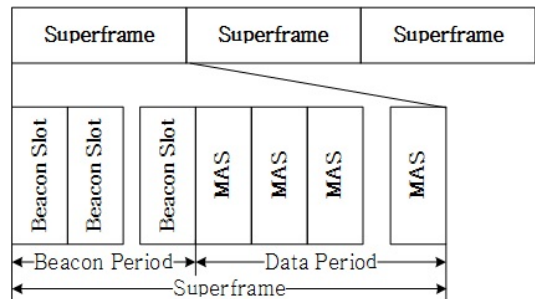


그림 1. WiMedia MAC의 Superframe 구조  
Fig. 1. WiMedia MAC Superframe Structure

distributed channel access)의 CSMA/CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance)를 기반으로 한다<sup>[3]</sup>. PCA 기법은 대부분의 무선 통신 시스템에서 보편적으로 사용되는 경쟁 기반의 무선 접근 방식으로 예약 전송을 기반으로 DRP의 점유가 없는 MAS에서 사용된다<sup>[4]</sup>. DRP는 TDMA 기반의 무선 접근 방식으로 이를 사용하는 기기는 beacon 구간에서 특정 MAS를 예약하여 해당하는 MAS 슬롯에서 경쟁 없이 독점적으로 데이터를 송수신한다. 그림 2는 WiMedia 기기가 beacon 구간에서 특정 MAS를 예약하여 통신하는 과정을 나타낸다.

WiMedia 기기들은 DRP 프로토콜을 사용하기 위해서 beacon 프레임에 DRP IE (Information Element)에 사용하고자하는 MAS 정보를 전송하여 다른 기기의 해당 MAS에서의 접근을 차단한다. DRP IE에는 MAS를 예약하기 위한 정보를 포함하는데 통신을 주고받을 상대 기기의 주소 및 DRP 예약 방식 등의 정보를 가지고 있으며 그림 3은 DRP IE의 구조를 나타낸다.

DRP IE에서 DRP Allocation 필드는 256개의 MAS 정보를 2차원 계층 구조 형식으로 사용한다. 그림 4는 그 구조를 나타내는데 전체 superframe을 16개의 zone으로 나누고 각각의 zone은 다시 16개의

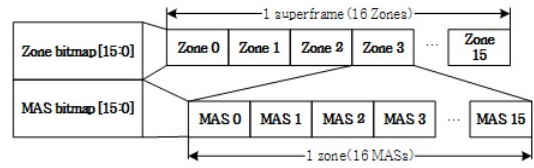


그림 4. DRP Allocation Field의 구조  
Fig. 4. Structure of DRP Allocation Field

MAS 비트맵으로 구성된다. 예를 들어 zone 비트맵의 2번과 3번이 활성화 되고 MAS 비트맵의 5번과 6번이 활성화 될 경우 37, 38, 53, 54번 MAS를 예약하게 된다. 이와 같은 계층적 구조는 superframe 내에서 주기적으로 MAS를 일괄 예약하기에 용이하고 적은양의 정보로 다수의 MAS를 예약할 수 있는 장점이 있다. 그러나 반대로 MAS 예약이 주기적이지 않거나 zone마다 동일 MAS를 예약하기 어려울 경우 추가적으로 DRP Allocation Field가 필요하다는 단점이 있다.

DRP 예약 전송을 위해서는 협상 과정이 필요하며 WiMedia는 두 가지 협상 방법을 제안하는데 첫째는 DRP 예약을 원하는 기기가 데이터 전송 구간에서 Command 프레임을 통해 상대 기기에게 DRP 통신을 제안하면 수신 기기가 가능 여부를 판단하여 마찬가지로 Command 프레임을 통해 회신하는 방법이다. 이때 송수신기기는 DRP 통신을 위해 사용하고자 하는 MAS 정보는 교환하지 않으며 상호간에 DRP 통신이 가능 여부만을 판단하고 다음 superframe에서 DRP 방식으로 데이터를 주고받을 것을 약속한다. 둘째는 beacon 구간에서 DRP 예약을 원하는 기기가 DRP IE에 사용하고자하는 DRP 정보를 담아 송신하면 상대 기기가 DRP IE의 Target DevAddr 필드를 확인하여 다음 superframe의 beacon 구간에서 요청에 응답하는 방식으로 진행된다. 이때는 DRP IE에 사용하고자하는 MAS 정보를 같이 전달할 수 있으나 영상 스트리밍 서비스의 특성상 다음 superframe에서 사용될 MAS 정보를 미리 알 수 없기 때문에 정확한 MAS 정보를 전달할 수는 없으며 앞서 방법과 같이 DRP 통신을 약속하는 역할을 한다.

WiMedia MAC의 DRP는 이와 같이 일정 기간 동안의 예약 준비 과정이 필요하고 이후 WiMedia 기기가 MAS를 선정하기 위해서는 먼저 전송하고자 하는 데이터의 특성 및 사이즈를 고려하여 필요한 MAS 개수를 원하는 간격에 맞게 배치하고 이전 superframe에서 DRP 예약이 되어 있지 않은 MAS 중 임의의 MAS를 할당하여 beacon 프레임을 통해 다른 기기들에게 알린다. MAS를 선정하는 방법은 WiMedia 스펙

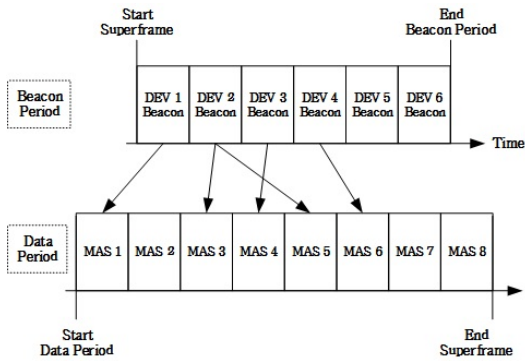


그림 2. WiMedia MAC의 DRP 전송과정  
Fig. 2. DRP Process of WiMedia MAC

Octets : 1	1	2	2	4	...		
Element ID	Length	DRP Control	Target/Owener DevAddr	DRP Allocation 1	...		
Bits: b15-13	b12	b11	b10	b9	b8-b6	b5-b3	b2-b0
Reserved	Unsafe	Conflict Tie breaker	Owner	Reservation status	Reason Code	Stream index	Reservation Type

그림 3. DRP IE의 구조  
Fig. 3. Structure of DRP IE

으로는 규정되어 있지 않으며 해당 기기가 원하는 MAS를 사용 가능 여부를 고려하여 임의로 선택한다.

### 2.2 DRP 예약 충돌 모델링 및 관련 연구

DRP 예약 충돌은 동일 superframe에서 두 개 이상의 기기가 같은 MAS를 예약하는 경우 발생한다. 그림 5는 DRP 예약 충돌에 대한 설명을 나타낸다. ‘DEV 4’ 기기가 MAS 6을 사용하기 위해 beacon 프레임의 DRP IE를 통해 예약하고자하는 MAS 정보를 전송한 후에 ‘DEV 6’ 기기가 같은 방법으로 MAS 6을 예약할 경우 두 기기 가운데 보다 빠른 beacon 슬롯을 사용하는 ‘DEV 4’가 MAS 6에 대한 우선권을 가지며 ‘DEV 6’은 다음 superframe에서 새로운 협상 과정을 통해 DRP 전송을 진행하게 된다.

이와 같은 DRP 예약 충돌을  $N$ 개의 기기가 네트워크를 구성하고 있는 상황에서 확률적으로 나타내면 식(1)과 같다. 수식(2)의  $N_r$ 은 새로운 DRP 예약을 위해 사용할 수 있는 MAS의 개수를 나타내고 이때  $N_{BP}$ 는 beacon 구간을 위해 사용되는 MAS의 개수,  $N_{ODRP}(k)$ 와  $N_{RDRP}(k)$ 는  $k$ 번째 기기가 이전 superframe에서 DRP를 위해 사용한 MAS의 개수 및 이전 superframe에서는 사용하지 않았으나 더 이상 필요치 않아 예약을 포기한 MAS의 개수를 나타낸다.  $N_m$ 과  $N_n$ 은 새로운 superframe에서 각각 해당 기기가 새로 예약하는 MAS의 개수와 다른 기기가 새롭게 예약하는 MAS의 개수를 나타낸다.

$$P_c = \left[ 1 - \frac{(N_r - N_n) C_{N_m}}{N_r C_{N_m}} \right] \quad (1)$$

$$N_r = 256 - \left[ N_{BP} + \sum_{k=1}^N N_{ODRP}(k) - \sum_{k=1}^N N_{RDRP}(k) \right] \quad (2)$$

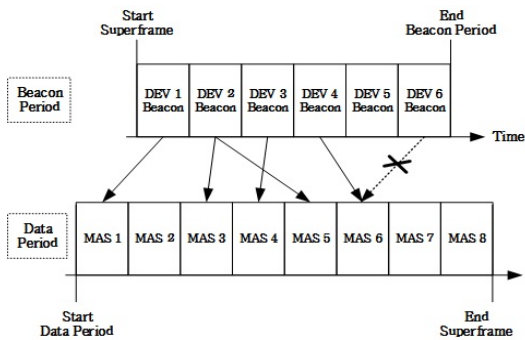


그림 5. DRP 예약 충돌  
Fig. 5. DRP Reservation Conflict

WiMedia기기는 DRP를 위한 MAS를 예약하기에 앞서 협상 과정을 갖지만 그 과정에서 정확한 MAS 사용 정보는 알 수 없으며 이전 superframe에서 사용되었던 MAS 정보와 현재 superframe의 beacon 프레임 송수신을 통해서만 MAS 예약 내용을 파악할 수 있다. 또한 기기들이 이동하거나 주변 네트워크의 일부 기기들의 beacon을 올바르게 송수신 하지 못하는 상황이 발생하는 경우에 DRP 예약과정에서 충돌이 발생할 수 있는데 WiMedia는 이러한 상황을 Alien beacon 상황으로 가정하여 네트워크의 성능을 떨어뜨리지 않게 하는 방법을 고려하고 있다. 또한 효과적인 DRP 예약에 대한 연구도 있으나 대부분 충돌을 미리 방지하는 것에 중점을 두며 동일 superframe내에서 예약 충돌이 발생하는 경우에는 WiMedia의 규칙대로 먼저 우선권을 획득한 기기만이 전송할 수 있도록 한다<sup>[5][6]</sup>. 반면 우선권 획득에 실패한 다른 기기들은 다시 DRP 협상 과정을 거쳐 새로운 MAS를 예약하여 전송하게 되는데 이 과정에서 한 번 이상의 superframe기간 동안 DRP 전송을 할 수 없다는 제약이 발생한다.

### 2.3 WiMedia MAC의 영상 스트리밍 서비스의 특징

고화질 영상 스트리밍 서비스는 기타 서비스 가운데서도 그 전송량이 큰 편에 속하며 무엇보다 지속적인 전송이 전체 서비스의 품질에 큰 영향을 미치게 된다. 보편적으로 사용되는 영상 데이터는 초당 24장에서 60장 정도의 프레임 전송률을 가지는데 이는 통신 시스템 측면에서 상위 계층으로부터 전달받는 데이터가 주기성을 갖는다는 것을 의미한다. 영상 스트리밍 서비스의 주기적 트래픽 발생은 WiMedia 시스템에서 DRP 프로토콜을 사용하여 QoS를 보장할 수 있다는 측면에서 장점을 가진다. 또한 압축 영상은 raw 포맷의 원본 영상에 비해 50배에서 100배 이상의 압축 효율을 얻을 수 있는데 이 과정에서 각각의 프레임이 가지게 되는 정보의 양의 차이가 발생한다. 이런 방식의 영상 스트리밍 트래픽을 VBR (Variable bitrate) 방식이라고 하는데 이와 반대의 개념인 CBR (Constant bitrate) 방식의 영상 압축 방식도 있으나 압축률에 있어서 VBR 방식이 보다 효율적이기 때문에 고화질 영상 스트리밍 서비스에서는 VBR 방식의 인코딩 방식이 주로 사용된다<sup>[7]</sup>.

WiMedia 시스템의 스트리밍 서비스 상황에서 영상 데이터의 크기 변화는 DRP 예약 과정을 복잡하게 만드는 요인이 되는데 특정 MAS를 지속적으로 점유

하여 전송할 때에는 이전 superframe에서 사용했던 MAS의 우선권이 있기 때문에 다시 DRP 예약을 하는데 큰 문제가 없다. 그러나 전송하는 영상 프레임마다 필요한 MAS의 개수에 변동이 있으면 예약을 포기하거나 새로운 MAS를 찾아야하는 과정에서 DRP 예약 충돌의 가능성 즉, 수식 (1)의  $N_{RDRP}(k)$ ,  $N_n$ 의 변동성이 커지게 되고 이로 인해 충돌이 발생할 확률이 증가한다. 충돌이 발생할 경우 최소 65ms의 지연시간이 발생하는데 초당 30프레임 영상의 경우 평균 2개 이상의 프레임은 주기적으로 전송할 수 없다는 것을 뜻한다. 영상 스트리밍 서비스와 같이 QoS를 효과적으로 지원하기 위해 고안된 DRP 프로토콜이나 이와 같은 예약 과정에서의 성능 저하는 본래의 취지를 충분히 만족시키지 못하는 결과를 초래한다.

### III. Fast MAS 재조정 기법

#### 3.1 Fast MAS 재조정 기법 및 하드웨어 구현의 필요성

DRP 예약 충돌을 막기 위한 Fast MAS 재조정 기법은 기존 WiMedia 시스템에서 세 가지 기능이 추가적으로 구현된다. 첫째는 앞선 beacon 슬롯을 사용하는 기기의 beacon 프레임을 분석하여 해당 superframe에서의 MAS 예약 정보를 분석하는 것이고 둘째는 충돌이 발생하였을 때에 다른 기기가 사용하지 않는 MAS를 찾아 새로운 DRP 예약 정보를 업데이트 하는 것이며 셋째는 전송을 위해 송신 버퍼에 저장되어 있는 beacon 프레임을 수정하는 기능이다. 그림 6은 MAS 재조정 기법이 적용될 경우 DRP 예약 충돌이 방지되는 내용을 나타낸다. 각각의 기기가 순서대로 MAS를 예약하는 과정에서 'DEV 6'는 원래 사용하고자 했던 'MAS 6'을 'DEV 4'가 먼저 예약하

였다는 것을 판단하고 그 시점을 비롯하여 이전 superframe에서 사용되지 않은 MAS 가운데 새로운 임의의 MAS를 찾아 예약하여 DRP 예약 충돌을 회피할 수 있다. 이를 구현하기 위해서는 선행 기기의 beacon 슬롯 이후 다음 기기의 beacon 슬롯 사이에 추가되는 동작을 완료하여야 한다. 이때 주어진 시간은 mGuardinterval ( $12\mu s$ ) 정도인 반면 소프트웨어로 처리하게 될 경우  $21.98\mu s$  내외에 시간이 필요하게 되어 WiMedia 시스템의 요건을 충족시킬 수 없다<sup>[8]</sup>. 이러한 시간적 제약을 극복하기 위해 MAS를 재조정 기법은 하드웨어로 구현되어야 한다.

Fast MAS 재조정 기법이 적용될 경우 앞선 beacon 슬롯을 사용하는 기기로부터 발생할 수 있는 예약 충돌을 완벽하게 회피할 수 있는데 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다. 수식 (1)의  $N_n$ 은 해당 기기 기준 선행 beacon 슬롯을 사용하는 기기의 새로운 MAS 개수  $N_f$ 와 해당 기기 이후에 전송하는 기기가 새롭게 예약하는 MAS의 개수  $N_i$ 로 나눌 수 있으며 Fast MAS 재조정 기법을 적용하면  $N_f$ 로 인해 발생하는 충돌은 여유 MAS가 있는 경우 완벽하게 회피할 수 있다. 수식 (4)는 제안한 기법이 적용된 경우의 DRP 예약 충돌에 대한 수정된 확률을 나타낸다.

$$N_n = N_f + N_i \tag{3}$$

$$p_c = \left[ 1 - \frac{(N_f - N_i) C_{N_m}}{N_f C_{N_m}} \right] \tag{4}$$

#### 3.2 Fast MAS 재조정 기법의 구현

##### 3.2.1 Fast MAS 재조정 기법의 절차

WiMedia MAC은 superframe이 끝나기 전에 다음 superframe에서 사용될 beacon 프레임을 준비한다. 이 때 'Fast MAS 재조정' 모듈은 해당 기기가 사용하고자 하는 MAS 정보를 256개의 비트맵 형태로 저장한다. 그리고 새로운 superframe이 시작되고 선행되는 기기들의 beacon 프레임을 분석하여 DRP 프로토콜을 하는 경우 예약하는 MAS 정보를 분석하여 마찬가지로 256개의 비트맵 형태로 저장한다. 본 기기가 사용하고자 하는 MAS 비트맵과 beacon을 송신한 기기가 사용하고자 하는 MAS의 비트맵을 비교하여 DRP 예약 충돌여부를 판단한다. 이때 충돌이 발생하지 않은 경우 송신한 기기가 사용하는 비트맵을 WiMedia 전체 MAS의 예약 여부를 판단할 수 있는 비트맵에 반

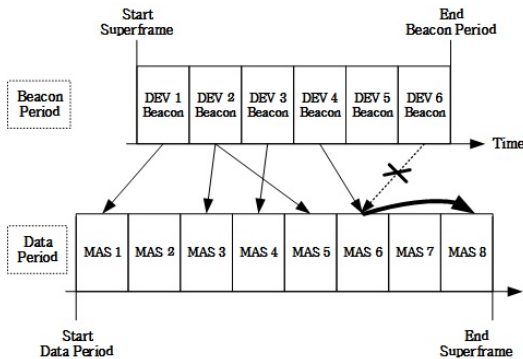


그림 6. MAS 재조정 기법 적용 예  
Fig. 6. Example of MAS Reallocation

영하고 다음 기기의 beacon 프레임을 기다린다. 충돌이 발생한 경우에는 새로운 MAS를 찾게 되는데 이때 선행 기기들이 예약해두었던 MAS 비트맵을 참고하여 예약이 가능한 MAS를 찾는다. 새로운 MAS를 찾으면 본 기기가 전송하기 위해 송신 버퍼에 저장되어 있는 beacon 프레임의 DRP IE 부분을 수정하고 마찬가지로 다음 기기의 beacon 프레임을 대기한다. 이 과정의 반복을 통해 바로 직전 beacon 슬롯을 사용하는 기기의 beacon 프레임까지 수신하여 반영한 후에 본 기기의 beacon 프레임을 전송한다. 그림 7은 Fast MAS 재조정 기법의 순서를 정리하여 표현한다.

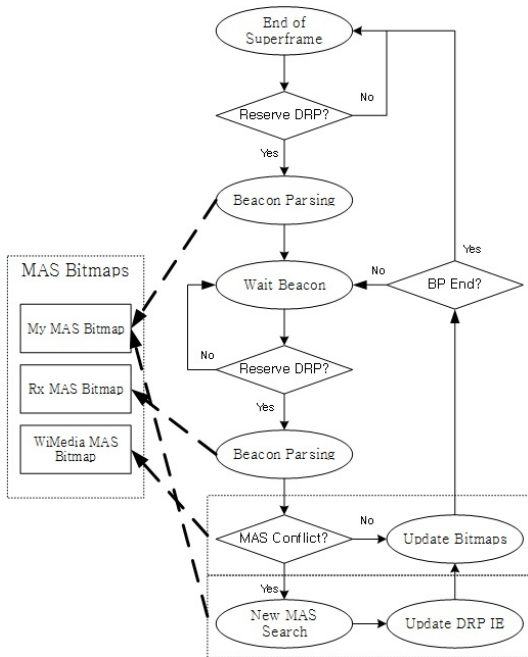


그림 7. Fast MAS 재조정 기법의 순서  
Fig. 7. Procedure of Fast MAS Reallocation Method

### 3.2.2 새로운 MAS 선정 방법

새로운 MAS를 선정하는 과정에서 먼저 고려해야 할 것은 DRP IE에서 MAS 정보를 다루는 방법이다. II장에서 설명한 것과 같이 DRP 예약을 위한 DRP IE의 MAS 정보는 계층 구조를 갖는데 이는 주기적으로 예약을 하는데 유용한 측면이 있으나 주기성을 띄지 않는 경우 총 32비트의 DRP Allocation 필드를 새로 추가해야하는 오버헤드가 발생한다. 이 부분을 고려하여 새로운 MAS를 선정하는데 있어 먼저 동일 zone 내의 여유 MAS를 찾고 불가능 할 경우 이전 zone, 이후 zone 순으로 사용가능한 MAS의 검색 범위를 넓힌다. 현재 zone에서 사용 가능한 MAS가 있

는지 여부는 해당 구간의 MAS 비트맵의 AND 연산으로 확인 가능하며 여유 MAS가 있는 경우 해당 zone에서는 최대 16 클럭 사이클의 검색 시간이 소요된다. 또한 새로운 MAS를 찾을 수 없는 경우에도 16개의 zone의 AND 연산이 총 15번 필요하기 때문에 최대 15 클럭 사이클이 소요되며 새로운 MAS를 찾는데 필요한 최대 소요시간은 31 클럭 사이클이 필요하다. 이때 충돌이 발생한 zone이 아닌 곳에서 새로운 MAS를 찾게 되면 새로운 DRP Allocation 필드를 beacon 프레임에 추가해야 한다. 그림 8은 2번 zone에 해당하는 18번 MAS의 예약 충돌 상황에서 MAS 선정 과정의 예를 나타낸다.

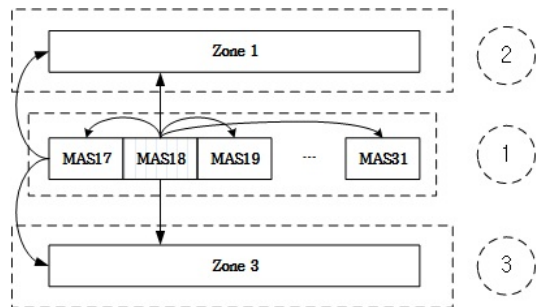


그림 8. 새로운 MAS를 찾는 방법  
Fig. 8. New MAS Search Method

### 3.2.3 Fast MAS 재조정 기법의 설계 및 구현

Fast MAS 재조정 기법에 필요한 기능은 모두 하드웨어로 구현되는데 그림 9는 블록 다이어그램을 나타낸다. ‘Beacon Parser’는 beacon 프레임을 분석하는 모듈로서 송신하기 위해 송신 버퍼에 저장되는 본 기기의 MAS 사용 정보를 분석하여 ‘My MAS Bitmap’에 저장하고 수신되는 다른 기기의 beacon 프레임을 마찬가지로 분석하여 ‘Rx MAS Bitmap’에 저장하는 기능을 한다. WiMedia PHY는 수신된 데이터를 8 비트씩 MAC 계층의 수신 버퍼에 저장하는 방법으로 전달하는데 ‘Beacon Parser’는 헤더 부분부터 순서대로 읽어 나가면서 DRP 사용여부를 판단하고 IE 가운데 DRP IE부분을 찾아 MAS 예약 내용을 파악한다. 선행 기기의 beacon 수신이 끝나면 ‘My MAS Bitmap’과 ‘Rx MAS Bitmap’을 비교하여 충돌 여부를 판단하고 ‘Rx MAS bitmap’의 내용은 네트워크 전체의 MAS 사용 정보를 담고 있는 ‘WiMedia MAS Bitmap’에 반영한다. ‘New MAS Finder’ 모듈은 충돌이 발생한 경우 3.2.에서 설명한 동작을 수행한다. 이때 재조정된 MAS 정보는 ‘My MAS bitmap’에

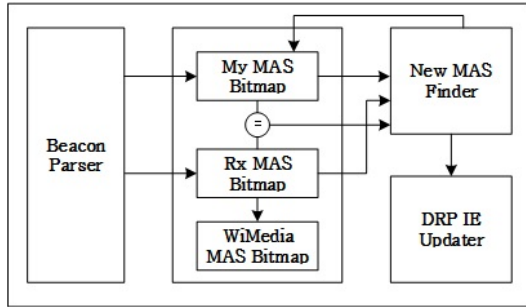


그림 9. Fast MAS 재조정 모듈  
Fig. 9. Fast MAS Reallocation Module

업데이트 되고 ‘DRP IE Updater’에 새로운 MAS를 찾았다는 신호를 전달한다. ‘DRP IE Updater’는 송신 버퍼에 전송을 기다리고 있는 본 기기의 beacon 프레임 수정하는 역할을 한다. ‘Beacon Parser’의 동작과 유사한 방식으로 DRP IE의 위치를 파악하고 버퍼에 저장되어 있는 DRP IE를 수정한다.

#### IV. 소프트웨어 실험 및 하드웨어 검증

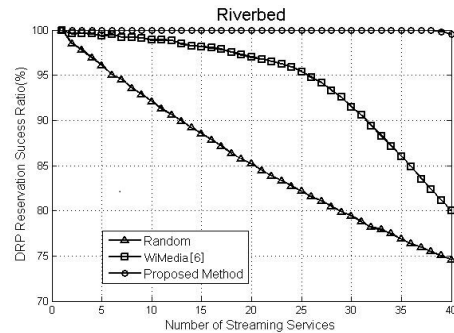
##### 4.1 Fast MAS 재조정 기법의 성능 평가

본 논문에서 제안한 Fast MAS 재조정 기법은 영상 스트리밍 서비스의 QoS 성능을 평가하기 위해 Full HD(1920X1080)급의 테스트 시퀀스를 사용하여 소프트웨어 수준에서 검증되었다. 표 1은 테스트에 사용된 테스트 시퀀스에 대한 내용이며 테스트 시퀀스는 H.264/AVC 코덱을 사용하여 PSNR 성능을 고려하였다<sup>[10]</sup>. DRP 예약 충돌은 WiMedia 시스템을 구성하는 기기가 많을수록 더 빈번하게 발생하기 때문에 서비스하는 스트리밍의 수를 늘려가며 실험하였으며 그 결과는 그림 10과 같다. ‘WiMedia’는 WiMedia 시스템 스펙 및 [6]의 방식으로 충돌이 발생할 경우 다

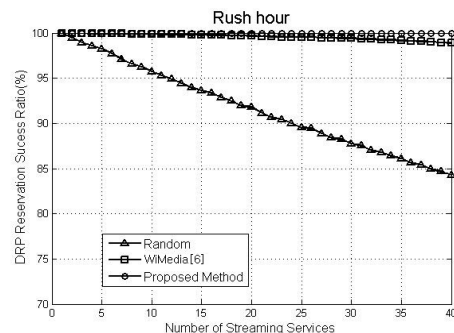
표 1. 실험에 사용한 테스트 시퀀스  
Table 1. Test Sequences for Simulation

Test Sequence	riverbed	rush_hour	station2
Resolution	1920X1080	1920X1080	1920X1080
Original Format	YUV420	YUV420	YUV420
Frame Rate	30 fps	30 fps	30 fps
Data Rate	21.965 Mbps	6.460 Mbps	7.331 Mbps
Compression ratio	3.5314	1.0306	1.1693
Avg. PSNR	39.038	42.443	41.432

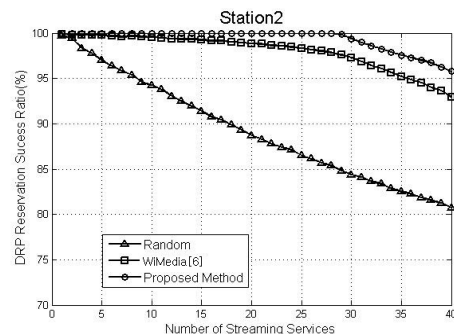
시 협상과정을 통해 새로운 MAS를 찾는 방법이고 ‘Random’ 방식은 superframe 마다 모든 기기가 DRP 예약을 새로 진행하는 방식으로 참고를 위해 실험하였다. ‘Random’ 방식의 경우 DRP 예약 성공률이 현격히 낮다는 것을 확인할 수 있으며 ‘WiMedia’ 방법 및 제안한 방법의 시뮬레이션 결과 우리는 스트리밍 서비스의 특성에 따라 각기 다른 성능 결과를 확인할 수 있었다. ‘rush\_hour’ 영상의 경우 트래픽의 양이 작으며 동시에 프레임의 종류에 따른 사이즈의 편차가 작기 때문에 기존 WiMedia 시스템과 유사한 결과를



(a) Riverbed



(b) Rush hour

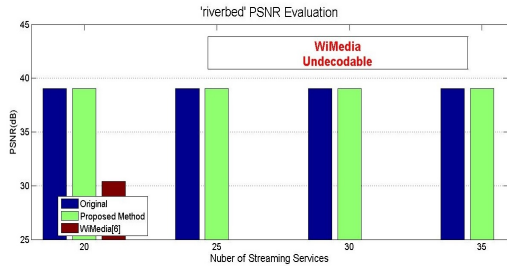


(c) Station2

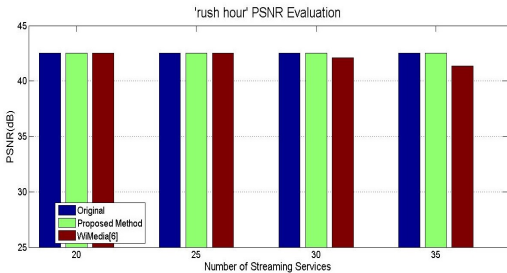
그림 10. DRP 예약 성공 확률  
Fig. 10. DRP Reservation Success Ratio

확인할 수 있었다. 그에 반해 ‘riverbed’의 경우 표 1에서 확인할 수 있듯이 압축 영상 데이터의 크기가 커서 보다 많은 MAS 자원을 예약해야하며 프레임 간 사이즈 변화가 심해 그에 따른 DRP 예약 충돌이 잦다는 것을 확인할 수 있다.

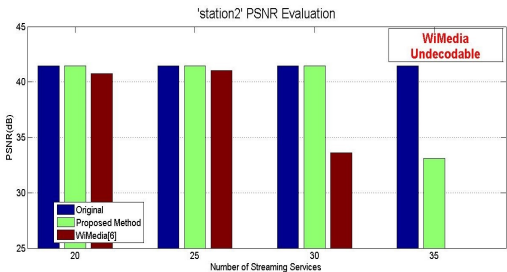
그림 11은 테스트 시퀀스를 WiMedia 시스템에 적용하여 Fast MAS 재조정 기법의 화질 향상 정도를 평가한 결과이다. 실험은 20개에서 35개의 동일 영상 스트리밍을 서비스하는 WiMedia 기기가 있는 상황에서 테스트 시퀀스를 전송 및 수신하여 그 결과를 PSNR을 활용하여 화질을 테스트하였다. ‘riverbed’ 영상의 경우 Fast MAS 재조정을 통해 20개에서 35개까지의 스트리밍 서비스를 화질 저하 없이 전송할 수 있으나 기존 방식으로는 영상을 디코딩 할 수 없을 정도로 성능 저하가 발생하였다. ‘rush\_hour’, ‘station2’



(a) Riverbed



(b) Rush hour



(c) Station2

그림 11. 테스트 시퀀스의 PSNR 성능 평가  
Fig. 11. PSNR Evaluation of Test Sequences

에서도 제안한 방법으로 보다 많은 수의 스트리밍 서비스를 화질저하 없이 전송할 수 있다는 것을 확인하였다.

#### 4.2 Fast MAS 재조정 기법의 하드웨어 구현 및 검증

Fast MAS 재조정 기법은 모두 하드웨어로 구현되었으며 소프트웨어로 동작할 때 필요한 예상 시간이  $21.98 \mu s$  이었던 반면 하드웨어로 소요되는 시간은 검색 과정에서 최대  $0.5 \mu s$ , DRP IE 업데이트에 약  $0.6 \mu s$ 로 포함 최대  $1 \mu s$  내외의 시간이 소요되어 동작에 문제가 없다. Fast MAS 재조정 모듈은 Verilog HDL을 사용하여 하드웨어로 구현되어 그 동작을 검증하였으며 90nm CMOS 공정으로 약 88,000 게이트의 크기를 갖는다. 이는 전체 WiMedia MAC/PHY 시스템에 약 5.5% 가량 추가되는 크기로 표 2는 WiMedia MAC/PHY 통합 시스템과 제안한 모듈에 대한 합성 결과를 나타낸다<sup>[9]</sup>. 또한 제안한 방법은 기존 WiMedia 시스템의 동작을 모두 포함하기 때문에 WiMedia 시스템의 호환성은 유지한다.

제안된 기법은 하드웨어 및 소프트웨어로 그 동작을 검증하였다. 그림 12는 하드웨어 검증을 위한 실험 플랫폼을 나타낸다. 테스트를 위해 두 개의 FPGA 키

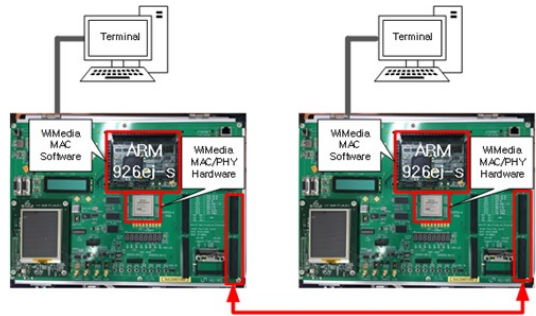


그림 12. 하드웨어 및 소프트웨어 검증을 위한 테스트 플랫폼  
Fig. 12. Test Platform for the verification of H/W and S/W design

표 2. Fast MAS 재조정 모듈 및 WiMedia MAC/PHY 통합 시스템 합성 결과  
Table 2. Synthesis Results of the Proposed Module and WiMedia MAC/PHY Integrated System

Module	Gate Counts
MAS reallocation module	88k
WiMedia MAC/PHY integrated system	1600k
Portion of the proposed module	5.5%



트가 사용되었으며 MAC 계층의 동작 검증을 위해 우선으로 두 기기를 연결하고 각각의 키트는 서로 다른 컴퓨터의 터미널로 제어할 수 있도록 구성되었다. Fast MAS 재조정 기법이 올바르게 동작함을 확인하기 위해 하나의 기기는 임의로 DRP 예약 충돌 상황을 발생시킬 수 있도록 beacon 구간에서 다수의 기기의 beacon 프레임을 전송할 수 있도록 설정하였다. 다른 기기는 Fast MAS 기법을 적용하여 수신된 beacon 프레임을 분석하여 실시간으로 MAS를 재조정하여 수정된 beacon 프레임을 전송할 수 있음을 확인하였다.

#### 4.3 Fast MAS 재조정 기법의 효과

일반적인 통신 시스템의 MAC 계층은 그 역할에 따라 하드웨어 및 소프트웨어로 분할하여 설계된다. 이 과정에서 통신 프레임을 생성 및 관리하는 역할은 유연한 대응을 위해 소프트웨어 계층에서 담당한다. 이로 인해 수  $us$  내에 수집된 정보를 즉시 반영하여 프레임을 생성 혹은 수정하는 것은 불가능하며 WiMedia 시스템 및 [5], [6]에서 제안하는 방법으로는 동일 superframe 내의 DRP 예약 충돌을 회피할 수 없다. 제안한 기법은 기존 WiMedia 기기와 호환을 유지함과 동시에 수집된 DRP 예약 정보를 바탕으로 실시간으로 DRP 예약 충돌을 회피할 수 있으며 이로 인한 영상 스트리밍 서비스의 성능 향상을 실험을 통해 확인하였다. 제안하는 기법은 하드웨어 및 소프트웨어 구현을 요구한다는 측면에서 단점을 가지고 있으나 전체 WiMedia MAC/PHY 시스템에서 약 5.5% 가량의 하드웨어 자원으로 구현 가능하다는 것을 확인하였다.

## V. 결론

WiMedia 시스템의 DRP 프로토콜은 멀티미디어 전송에 특화되어 개발된 기술로서 최근 수요가 증가하는 고해상도 영상 스트리밍 서비스에 적합한 통신 기술이다. 그런 네트워크를 관할하는 장치가 없기 때문에 기기의 이동성 및 인접 네트워크의 영향을 많이 받으며 DRP 예약 과정을 각각의 기기가 능동적으로 진행한다라는 점에서 취약한 측면이 있었다. 또한 영상 스트리밍 데이터의 트래픽 특성에 따라 필요한 무선 자원의 양 역시 급변한다는 점은 WiMedia 시스템의 성능을 크게 저하시킬 수 있다. 이 부분을 보완하기 위해 우리는 보다 빠르고 능동적으로 DRP 예약 충돌을 회피할 수 있는 Fast MAS 재조정 기법을 제안하였고 시간적 제약을 고려하여 하드웨어로 구현하여

검증하였다. 또한 실시간 스트리밍 서비스를 적용하여 성능 향상 정도를 평가하였고 구현된 하드웨어는 WiMedia MAC/PHY 시스템에서 5.5% 가량의 추가적인 하드웨어 자원이 필요하다는 것을 확인하였다.

## References

- [1] FCC, *First report and order*, Feb. 2002.
- [2] WiMedia, *Distributed medium access control (MAC) for wireless networks*, WiMedia MAC release specification 1.5, Dec. 2009.
- [3] IEEE, *IEEE standard for information technology--Local and metropolitan area networks - Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*, IEEE Std 802.11e-2005.
- [4] S. Kim, K. Hur, J. Park, D-S. Eom, and K. Hwang, "A fair distributed resource allocation method in UWB wireless PANs with WiMedia MAC," *J. Commun. Netw.*, vol. 11, no. 4, pp. 375-383, Aug. 2009.
- [5] J. Kim, J. Park, and S. Lee, "Collision avoidance method for coexistence between relay-based multi-hop UWB system," *J. KICS*, vol. 39, no. 8, Aug. 2014.
- [6] J. Kim, K. Hur, J. Kim, D. Eom, and Y. Lee, "A disturbed resource reservation structure for mobility and QoS support in WiMedia networks," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 56, no. 2, May 2010.
- [7] T. V. Lakshman, A. Ortega, and A. R. Reibman, "VBR video: Tradeoffs and potentials," in *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 5, pp. 952-973, May 1998.
- [8] T. Chung, C. Chung, and J. Kim, "A MAS information management method for WiMedia MAC protocol," *J. Semiconductor Tech. and Sci.*, vol. 9, no. 4, Dec. 2009.
- [9] D. Kim, H. Lee, J. Cho, and K. Seo, "MB-OFDM UWB modem SoC design," *J. KICS*, vol. 34, no. 8, Aug. 2009.
- [10] FFmpeg, Retrieved Nov. 10, 2014, from <http://www.ffmpeg.org>.

**정 태 옥 (Taewook Chung)**



2008년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학부 졸업  
2008년 3월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> WLAN/WPAN/  
WBAN MAC, 통신용 SoC

**정 철 호 (Chulho Chung)**



2003년 연세대학교 전기전자공  
학과 학사  
2003년~2006년 (주)아이앤씨테  
크놀로지 연구원  
2009년 연세대학교 전기전자공  
학과 석사  
2009년~현재 연세대학교 전기  
전자공학과 박사과정

<관심분야> WLAN/WPAN/WBAN MAC, 통신용  
SoC

**김 재 석 (Jaeseok Kim)**



1977년 : 연세대학교 전기전자  
공학과 졸업  
1979년 : 연세대학교 전기전자  
공학과 석사  
1988년 : Rensselaer Polytechnic  
Institute, NY. 박사  
1988년~1993년 : AT&T Bell Lab.  
연구원

1993년~1996년 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
1996년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수  
<관심분야> 통신SoC설계, 고속멀티미디어IP설계