

## HiperLAN/2 무선랜에서 효율적인 채널할당방안

임석구<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>백석대학교 정보통신학부

## Efficient Channel Assignment Scheme in HiperLAN/2 WLAN

Seog-Ku Lim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Information Communication, Beakseok University

**요 약** HiperLAN/2에서의 MAC 프로토콜은 TDMA/TDD을 기반으로 하며, 무선채널은 중앙제어방식으로 운영되는 AP에 의해서 할당된다. 상향링크로 데이터 전송이 필요한 MT는 RCH 채널을 통하여 AP에게 무선자원을 요청한다. 각 MAC 프레임마다 RCH 수를 동적으로 변경하는 것이 중요한데, RCH 수가 많이 할당되면 무선자원의 낭비를 초래하며, RCH 수가 적게 할당되면 MT간의 충돌이 증가하고 AP에 접속하는 시간도 길어진다. 따라서 RCH 수는 트래픽에 따라 적절하게 할당되어야 한다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 이전 MAC 프레임에서 RR 메시지 전송에 성공한 회수와 실패한 회수를 기반으로 RCH 수를 동적으로 변화시키는 방안을 제안하였다. 제안한 방안의 효율성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다.

**Abstract** The MAC protocol of HiperLAN/2 is based on TDMA/TDD. The radio channels are assigned by AP(Access Point) that is centrally operated. Mobile terminal that data transmission is necessary to uplink requests radio resource to AP through RCH channels. The changing number of RCHs in each MAC frame is important because too many RCHs may result in a waste of radio resources and too few RCHs may result in many access collisions and prolong time that connect to AP. Therefore, number of RCH should be allocated properly according to traffic. From these viewpoints, this paper proposes an advanced scheme that dynamically changed the number of RCH which is based on the number of success and collision of RR message in previous MAC frame. To prove efficiency of proposed scheme, lots of simulations are conducted and analyzed.

**Key Words** : HiperLAN, Channel Assignment, Access Point, Mobile Terminal

### 1. 서론

현재 무선랜(Wireless LAN)에서 중요한 기술은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11a/g와 ETSI(European Telecommunication Standards Institute) HiperLAN/2이다[1,2]. 이러한 표준들에서의 중요한 특징 중의 하나는 높은 전송속도를 요구하고 있으며, 물리계층(THY Layer)에서의 전송속도는 54Mbps임을 규정하고 있다. 데이터 전송속도를 높이기 위해 물리계층에서의 순수 데이터 전송률만을 높이는 것은 한계가 있다. 즉, 물리계층에서의 데이터 전송률을 높인다고 무선랜의 수율(Throughput)이 선형적으로 증가하는 것은 아니다[3]. 수율을 높이기 위해서는 물리계층에서의 데이

터 전송률의 증가와 MAC (Medium Access Control) 계층의 오버헤드(overhead)를 줄이는 것이 필요하다.

본 논문에서는 HiperLAN/2 시스템의 MAC 프로토콜을 고려하는데, 여기서 오버헤드에 영향을 미치는 주요 요소는 랜덤채널(RCH, Random CHannel))이다.

HiperLAN/2 표준은 MAC 프레임에서 정확한 RCH 개수를 정의하지 않았다. MAC 프레임들은 AP(Access Point)에 의해 구성되며, 데이터 전송이 필요한 MT(Mobile Terminal)는 상향링크로 AP에게 자원을 요청하는데, 이 때 RCH를 이용한다. RCH 수는 프레임마다 변경될 수 있으며, 현재의 트래픽 상황보다 필요 이상의 RCH 수를 할당하면 MT간의 충돌확률을 낮출 수 있지만 무선자원의 낭비를 초래한다. 반면에 필요 이하의 RCH

\*교신저자 : 임석구(sklim@bu.ac.kr)

접수일 11년 05월 19일

수정일 (1차 11년 06월 28일, 2차 11년 08월 01일)

게재확정일 11년 08월 11일

수를 할당하면 MT간의 충돌확률이 증가하여 MT들이 시스템에 접근하는 시간(Access Time)이 증가되고 수율도 급격히 감소된다. 따라서 RCH 수는 트래픽 부하에 따라 동적으로 변화하는 것이 효율적이며, 이를 해결하기 위한 연구들이 진행 되어왔다[4-7].

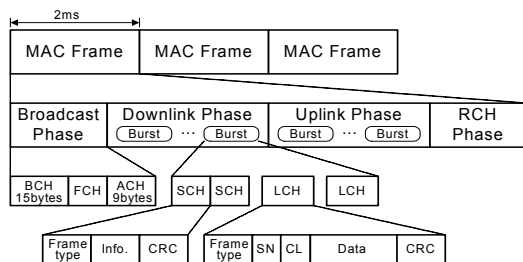
먼저, 이전 프레임에서의 채널경쟁에서 성공한 MT 수와 실패한 MT 수의 차이만큼 다음 프레임의 RCH 수를 가변시키는 연구가 있었다[4]. 또한 AP에서 자원할당 시 충돌 MT에게 우선적으로 자원을 할당하여 전체 지연시간을 감소시키는 연구도 있었다[5]. Split 알고리즘에 이용하여 RCH 수를 제어하는 기법을 제안하고 분석한 연구도 있었다[6]. 또한 트래픽이 급격하게 증가하는 경우를 대비하기 위해 입력 트래픽이 낮은 상황에서도 최소 RCH 개수를 제한하는 방법도 제시되었다[7].

본 논문에서는 이전 프레임에서 채널 접속에 성공한 수와 실패한 수를 기반으로 다음 프레임에서 RCH 수를 동적으로 가변시켜 무선자원의 효율을 높일 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하고 이를 시뮬레이션을 이용하여 그 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 TDMA/TDD(Time Division Multiple Access / Time Division Duplex) 기반으로 동작하는 HiperLAN/2의 MAC 프레임 구조와 채널할당기법을 설명하고, 3장에서는 제안하는 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 수율과 액세스 지연 관점에서 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. MAC 프레임 구조 및 채널할당 기법

HiperLAN/2에서 MAC 프로토콜은 동적으로 동작하는 TDMA/TDD 방식을 근간으로 한다[2]. MAC 프레임의 길이는 그림 1과 같이 2ms이고, 각 MAC 프레임은 4단계로 구성되며, 각 단계의 길이는 AP에 의해 결정된다.



[그림 1] HiperLAN/2 MAC 프레임 구조  
[Fig.1] HiperLAN/2 MAC Frame Architecture

프레임은 방송단계(Broadcast Phase)로 시작되는데, 여기에는 BCH(Broadcast CHannel), FCH(Frame CHannel), ACH(Access CHannel)의 3개의 제어채널이 포함되어 있다. BCH에는 무선 셀과 관련된 브로드캐스트 제어정보가 담겨 있는 BCCH(Broadcast Control CHannel) 메시지를 전송하며, BCCH 메시지는 FCH의 포인터, FCH 내의 IE 블록의 수, RCH 시작점 등으로 구성된다. FCH에는 프레임 내의 자원할당과 같은 현재의 프레임 구성에 대한 정보가 전송된다. FCH는 IE(Information Element)들로 구성되며, IE들은 세 개의 고정된 크기의 블록으로 그룹화 된다. IE는 하나의 상향 혹은 하향링크의 PDU(Protocol Data Unit)들에 대한 위치와 구성에 관한 정보를 전송한다. 각 프레임에서 FCH의 길이는 가변이며 프레임 내의 상향링크(Uplink)와 하향링크(Downlink)에서 전송되는 PDU들의 수에 따라 달라진다. ACH는 RFCH(Random access Feedback CHannel) 메시지를 운반한다. 이는 이전 프레임에서 시도된 자원요청 메시지의 랜덤접속전송에 대한 결과를 알려준다.

방송단계 다음에는 하향링크(DL, Downlink) 단계와 상향링크(UL, Uplink) 단계가 있는데, PDU의 버스트가 MT로 또는 MT로부터 전송된다. 각 PDU 버스트는 SCH(Short CHannel)를 통해 전송되는 다수의 9 byte 제어 PDU와 LCH(Long CHannel)를 통해 전송되는 54 byte의 사용자 데이터로 이루어진다. 각 MAC 프레임의 마지막에는 하나 이상의 RCH가 있다.

랜덤접속단계는 하나 이상의 RCH(Random CHannel)들로 구성되며, 하나의 MAC 프레임은 최대 31개의 RCH를 가질 수 있다. 전송할 데이터가 있는 MT들은 자원요청메시지(RR, Resource Request)를 작성하여 전송한다. 이 때 AP로 전송되는 자원요청 메시지는 RCH 채널단계를 통해 전송될 경우는 전송할 RCH 번호를 계산하여 해당 프레임에서 전송한다. 만일 충돌 발생 시 MT는 새로운 RCH 채널번호를 다시 계산한다. RCH 채널번호는 윈도우 기반의 Binary Back-off 알고리즘에 따라 계산되며, 충돌 발생 후, 최대 256까지 윈도우 크기가 증가한다. 자원요청 메시지는 MT의 버퍼에서 전송을 위해 대기하고 있는 LCH PDU의 수를 포함하고 있고, 전송되는 자원요청 메시지가 충돌로 인한 재전송인지 아닌지를 나타내는 재전송 비트를 가지고 있다.

AP에서 운용되는 스케줄링 알고리즘은 HiperLAN/2 시스템내의 매체접근을 제어하기 위해 사용된다. 자원할당을 제어하기 위해 AP는 MT 내부의 버퍼상태를 알 필요가 있다. 따라서 MT는 자신의 버퍼상태를 자원요청메시지를 이용하여 AP에게 보고한다. AP는 이러한 데이터에 따라 무선채널을 할당한다. 관련 MT(AP에 등록된

MT를 의미)가 AP에게 RR 메시지를 전송하는 보통의 방법은 UL 단계 동안에 전송되는 데이터에 RR 메시지를 piggyback하는 것이다. 이러한 경우 MT는 SCH내에 RR 메시지를 전송한다.

RCH는 HiperLAN/2 MAC 프레임에서 충돌이 발생하는 유일한 전송채널이다. AP는 MT에게 이전 MAC 프레임에서의 액세스 시도에 대한 결과를 ACH 채널을 통해 알려준다. RCH에 대한 액세스는 각 MT에서 관리하는 경쟁윈도우( $CW$ , Contention Window)에 의해서 제어된다. 각 MT는 재전송 회수  $a$ 에 따라서  $CW_a$ 를 결정하며 그 방식은 다음과 같다[2].

- 처음 시도일 때, ( $a = 0$ )  

$$CW_a = n \quad (1)$$

- 재전송일 때, ( $a \geq 1$ )  

$$CW_a = \begin{cases} 256, & 2^a \geq 256 \\ 2^a, & n < 2^a \leq 256 \\ n, & n \geq 2^a \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 현재 프레임의 RCH 수이며,  $a$ 는 재전송 시도 횟수를 의미한다. MT는  $CW_a$ 를 결정한 후,  $[1, CW_a]$  사이에서 균일분포(Uniform Distribution)에 따라 임의의 정수  $r_a$ 를 선택한다.  $r_a$ 는 MT가 액세스를 시도할 RCH 번호가 된다. ACH를 통하여 액세스 실패를 수신한 MT는 그 이후의 첫 번째 RCH에서부터 계산을 시작한다. RCH 번호가  $r_a$ 에 도달하기 전에 MT는 RCH를 액세스하지 않고  $r_a$ 번째 RCH에 재전송을 시도한다.

### 3. 제안하는 알고리즘

AP는 매 MAC 프레임마다 RCH 수를 동적으로 변경할 수 있다. HiperLAN/2 표준안에서 한 MAC 프레임에서 RCH 수는 1~31 사이의 값을 갖는다고 정의하였다[2]. 입력되는 트래픽에 비해 RCH 수가 많은 경우에는 MT간의 충돌확률이 줄어들지만 무선자원의 낭비가 초래되며, RCH 수가 적은 경우에는 충돌확률이 증가하고 이로 인한 접속지연시간이 증가하게 된다. 따라서 트래픽에 따라 RCH 수를 동적으로 변화하여 시스템의 수율을 높이고 접속지연시간을 감소시키는 방안이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 이전 프레임에서의 자원요청메시지의 성공 수와 실패 수를 기반으로 식 (3)과 같은 방법으로 다음

프레임에서의 RCH 수를 결정하는 방법을 제안한다.

$$r(t+1) = \begin{cases} r(t) + \beta, & N_f(t) > N_s(t) \\ r(t), & N_f(t) = N_s(t) \\ r(t) - \beta, & N_f(t) < N_s(t) \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $r(t)$ 는 이전 프레임에서 할당된 전체 RCH 채널수이다.  $N_s(t)$ 와  $N_f(t)$ 는 이전 프레임에서 성공한 RCH 채널수와 충돌한 RCH 채널수를 각각 의미한다. 조정인자(Adjustment Parameter)  $\beta$ 는  $\beta=1, 2, 3$ 의 값을 갖는다.

식 (3)의 의미는 이전 프레임에서 성공한 채널수  $N_s(t)$ 와 충돌한 채널수  $N_f(t)$ 의 크기를 비교해서 다음 프레임의 RCH 채널수를 결정한다. 즉, 성공한 채널수가 많으면 채널수를  $\beta$ 만큼 감소시키고 반대로 충돌한 채널수가 많으면  $\beta$ 만큼 증가시킨다.  $N_s(t)$ 와  $N_f(t)$ 가 같은 경우에는 다음 MAC 프레임의 RCH 채널수는 변경하지 않는다. 한 프레임에서 RCH 개수는 식 (4)와 같이 1~31까지로 제한한다.

$$r(t+1) = \min[\max(r(t+1), 1), 31] \quad (4)$$

### 4. 시뮬레이션 및 성능 평가

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 수율과 접속지연시간 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 SLAM II을 사용해서 Event-Driven 방식으로 구현하였다[8].

시뮬레이션 모델은 셀룰러 망과 유사한 구조를 갖는데, 백본망(Back Bone Network)에 연결된 AP와 다수의 MT들로 구성된 망을 가정하였다. AP는 1개이고 섹터도 1개로 고정하였다. MT에서 발생하는 자원요청메시지의 도착은 포아송(Poisson) 분포를 따른다고 가정하였다. 또한 MT는 하나의 자원요청메시지가 성공할 때까지 새로운 메시지를 발생시키지 않도록 하였다.

데이터 전송을 위해 사용할 수 있는 상향링크와 하향링크 구간의 길이는 고정된 프레임 길이 2ms에서 BCH, FCH, ACH, RCH의 길이를 제외한 부분으로 상향링크와 하향링크의 길이가 같은 비율을 갖도록 하였으며, 채널예약을 위해 사용하는 RCH 수를 고정으로 하여 4, 8, 15, 31개 일 때를 비교하였다.

시뮬레이션 수행에 필요한 각 채널의 길이는 ETSI에서 표준화한 HiperLAN/2의 MAC 프로토콜을 기반으로

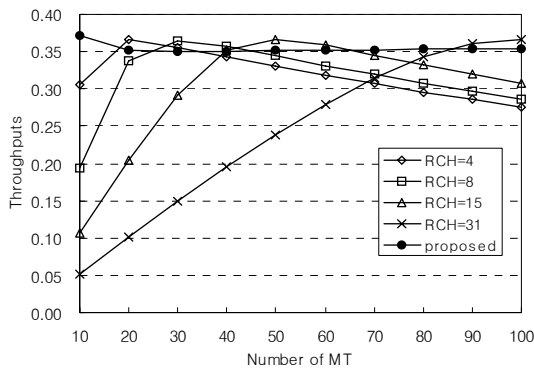
표 1과 같이 설정하였으며[2], 무선채널에서의 전송에러는 고려하지 않았다.

[표 1] 시뮬레이션 파라미터

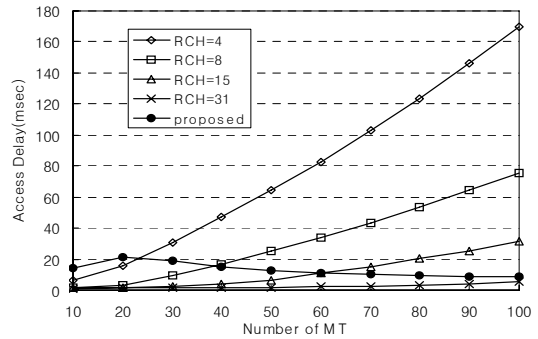
[Table 1] Simulation Parameter

채널	PHY mode	Length (octet)	시간 ( $\mu$ s)
BCH 채널	BPSK, Code rate 1/2	15	20
FCH 채널	BPSK, Code rate 1/2	$\times 27$	$\times 36$
ACH 채널	BPSK, Code rate 1/2	9	12
SCH PDU	BPSK	9	12
LCH PDU	16 QAM	54	12
RCH 채널	BPSK, Code rate 1/2	9	12(1~31개)

그림 2와 그림 3은  $\beta = 1$ 이고, RR 메시지 수를 초당 100개로 고정하고 MT의 수를 10에서 100까지 10 단위로 증가하면서 시뮬레이션 수행한 결과를 나타내었다. 그림 2는 RCH의 수를 4, 8, 15, 31로 고정된 경우와 제한한 방식에서의 수율의 변화를 나타내었다. RCH 수를 4, 8, 15, 31로 고정된 경우 수율은 ALOHA와 유사한 특성을 보이고 있는데[9], MT 수가 증가함에 따라 수율은 증가하다가 최고점에 도달한 후 감소하는 특성을 보인다. 또한 RCH 수가 31인 경우에는 선형적으로 증가하는 부분만이 그림 2에 나타났는데, 이는 MT 수를 200개까지 확장하면 그 특성이 나타날 것이다. 그러나 제한한 방식에서는 MT 수의 변화에 무관하게 수율은 거의 일정하게 유지함을 알 수 있는데, 이는 입력 트래픽 변화에 따라 적절하게 RCH 수를 동적으로 변화시켜서 무선자원을 효율적으로 사용함을 알 수 있다.

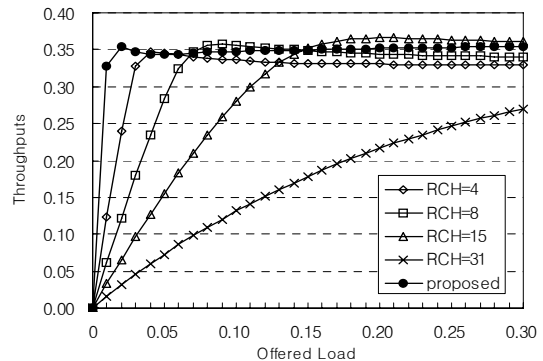


[그림 2] MT 수의 변화에 따른 수율  
[Fig. 2] Throughput versus varying number of MT



[그림 3] MT 수의 변화에 따른 접속지연시간  
[Fig. 3] Access Delay versus varying number of MT

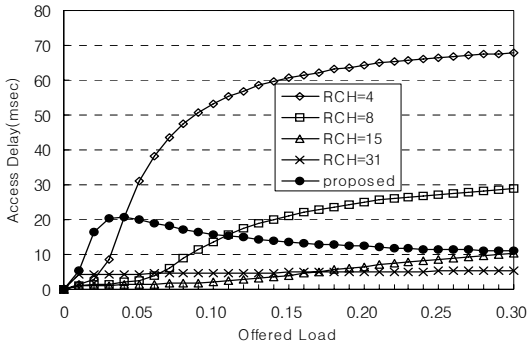
그림 3에는 접속지연시간의 변화를 나타내었는데, RCH 수를 15 또는 31로 고정된 경우에는 접속지연시간이 낮게 나타났는데, 이것은 상대적으로 입력 트래픽에 비해 RCH 수가 너무 많이 할당되어 무선자원이 낭비되었음을 반증하는 결과이다. 그러나 제안한 방식에서는 MT 수가 20일 때까지는 증가하지만 증가폭은 작으며, 그 이후부터는 서서히 감소함으로써 접속지연시간이 어느 정도 일정하게 유지됨을 알 수 있다.



[그림 4] MT당 메시지 증가에 따른 수율  
[Fig. 4] Throughput versus message increment per MT

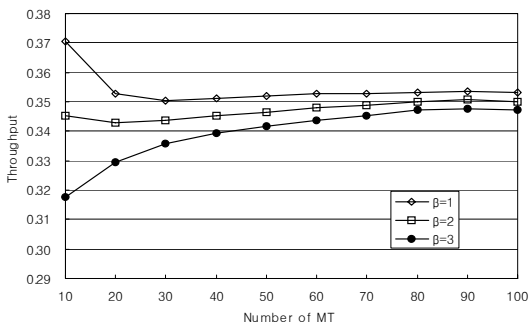
그림 4와 그림 5는  $\beta = 1$ 이고, MT 수를 50개로 고정된 상태에서 각 MT에서의 초당 메시지 발생률을 0.01(메시지/2ms)에서부터 0.01간격으로 0.3까지 증가시키면서 시뮬레이션 수행한 결과를 나타내었다. 수율의 변화를 나타낸 그림 4에서 RCH 수를 4로 고정된 경우 메시지 도착률이 0.04일 때 수율이 가장 높게 나타났으며, 그 이후부터는 서서히 감소한다. RCH 수가 8로 고정된 경우에는 메시지 도착률이 0.09일 때 수율이 가장 높게 나타났으며, 그 이후부터는 서서히 감소한다. RCH 수가 15인

경우에는 메시지 도착률이 0.20까지 서서히 증가하다가 이후부터는 일정하게 유지함을 알 수 있었다. 반면에 제안한 방식은 입력 트래픽에 따라 RCH 수를 동적으로 할당하여 대부분의 경우에서 수율이 높게 나타났으며, 일정하게 유지됨을 알 수 있었다.

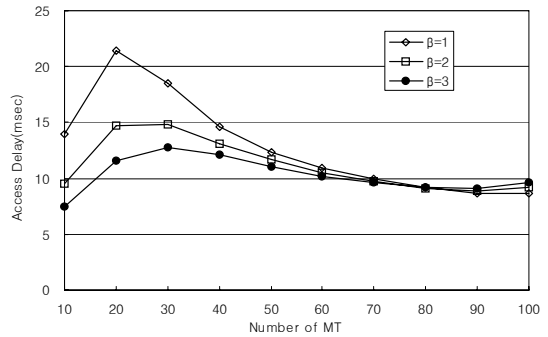


[그림 5] MT당 메시지 증가에 따른 접속지연시간  
[Fig. 5] Access Delay versus message increase per MT

그림 5에는 접속지연시간의 변화를 나타내었는데, RCH 수를 4 또는 8로 고정한 경우에는 MT의 충돌확률이 증가하여 접속지연시간이 증가하였고, RCH 수를 15 또는 31로 고정한 경우에는 접속지연시간이 낮게 나타났는데, 이것은 상대적으로 입력 트래픽에 비해 RCH 수가 너무 많이 할당되어 그림 4에서와 같이 무선자원이 낭비되었음을 의미한다. 반면에 제안한 방식은 그림 4에서와 같이 높은 수율을 유지하면서 접속지연시간도 RCH 수를 고정한 경우에 비해 비교적 작음을 알 수 있었다. 이는 AP가 트래픽 상황을 고려하여 적절하게 RCH 수를 변경해야 함을 의미하며, RCH 수의 급격한 변화보다는 고정적인  $\beta$ 값으로 증감시켜 RCH 수를 적절하게 조절하는 방법이 효율적임을 알 수 있었다.



[그림 6] MT 수의 변화에 따른 수율(제안방식)  
[Fig. 6] Throughput versus varying number of MT(Proposed Scheme)



[그림 7] MT 수의 변화에 따른 접속지연시간(제안방식)  
[Fig. 7] Access Delay versus varying number of MT(Proposed Scheme)

그림 6과 그림 7은 제안한 방식에서 효율적인  $\beta$ 값을 얻기 위해 초당 메시지 수를 100개로 고정하고 MT 수를 10에서 100까지 10 단위로 증가하면서 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내었다. 제안한 방식에서  $\beta$ 값을 1, 2, 3으로 시뮬레이션을 수행한 결과,  $\beta$ 값이 증가함에 따라 수율의 성능은 낮아지지만, 접속지연시간은 감소함을 알 수 있었다. 따라서  $\beta=2$ 일 때가 수율과 접속지연시간 관점에서 가장 적절하다고 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 HiperLAN/2 무선랜에서 이전 프레임에서 채널 접속에 성공한 수와 실패한 수를 기반으로 다음 프레임에서 RCH 수를 동적으로 가변시켜 무선자원의 효율을 높일 수 있는 간단한 알고리즘을 제안하고 이를 시뮬레이션을 이용하여 그 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 모델은 HiperLAN/2 MAC프로토콜 표준안을 근거로 하였으며, 각 프레임마다 RCH를 고정한 경우와 제안한 방식을 비교하였다. 제안한 방식은 트래픽이 변화해도 수율은 비교적 높고 일정하게 유지하고, 접속지연시간도 상대적으로 낮게 유지함으로써 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있었다. 이는 AP가 트래픽 상황을 고려하여 적절하게 RCH 수를 동적으로 변화하였기 때문인 것으로 분석된다.

본 연구 결과를 바탕으로 진행할 향후 연구과제로는 제안한 알고리즘에 대한 해석적 분석을 수행할 예정이다. 또한 멀티미디어 트래픽 환경에서 QoS를 제공하기 위한 연구도 수행되어야 할 것이다.

## References

- [1] The Editors of IEEE 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, Nov. 1997.
- [2] "HIPERLAN Type 2; Data Link Control(DLC) Layer; Part 1: Basic Data Transport Functions", ETSI TS 101 761-1, Nov. 2000.
- [3] S. Simoens, P. Pellati, J. Gosteau, K. Gosse, Ch. Ware, "The evolution of 5GHz WLAN toward higher throughputs", IEEE Wireless Communications, pp. 6-13, Dec. 2003.
- [4] G. H. Hwang and D. H. Cho, "Adaptive Random Channel Allocation Scheme in HIPERLAN Type 2", IEEE Communications Letters, Vol. 6, No. 1, pp. 40-42, Jan., 2002.
- [5] K. O. Cho, C. Park and J. K. Lee, "Performance Evaluation of the HIPERLAN Type 2 Media Access Control Protocol", Journal of the Korean Institute of Communication Science, Vol. 28 No. 1B, pp.11-17, Jan. 2003.
- [6] E. S. Hwang, Y. C. Ko, S. Q. Lee, C. S. Yoon, H. W. Lee and C. H. Cho, "Random Channel Allocation Scheme Based on Split Algorithm in HIPERLAN 2" Journal of the Korean Institute of Communication Science, Vol.28, No 9A, pp.717-727, Sep. 2003.
- [7] J. E. Kang and J. K. Lee, "Dynamic Random Channel Allocation Algorithm by Limiting the Number of Minimum RCH in HIPERLAN/2", Journal of the Korean Institute of Communication Science, Vol. 34, No. 1, pp.58-64, Jan. 2009.
- [8] A. Alan B. Pritsker, "Introduction to Simulation and SLAM II", John Wiley & Sons, 1986.
- [9] D. G. Jeong and W. S. Jeon, "Performance of an exponential backoff scheme for slotted-ALOHA protocol in local wireless environment," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 44, pp. 470-479, Aug. 1995.

## 임 석 구(Seog-Ku Lim)

[종신회원]



- 1983년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 전자 중앙연구소
- 1992년 2월 ~ 1994년 2월 : 한국전자통신연구원
- 1994년 3월 ~ 2001년 2월 : 주성대학
- 1994년 7월 ~ 2008년 4월 : ETRI 초빙연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 부교수

## &lt;관심분야&gt;

트래픽 엔지니어링, 멀티미디어 트래픽 특성분석, 통신 시스템 성능분석, BcN, WLAN