

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제4호, 2014년 7월 (JBE Vol. 19, No. 4, July 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.4.510>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

IEEE 802.11n WLAN에서 블록 승인 기반의 동적 A-MPDU 집적 방법

신 인 철^{a)}, 김 동 회^{a)†}

Block Ack-based Dynamic A-MPDU Aggregation Scheme in IEEE 802.11n WLAN

In Cheol Shin^{a)} and Dong-Hoi Kim^{a)†}

요 약

IEEE 802.11n 무선랜은 여러 개의 MPDU를 집적하여 하나의 PDU(Physical Layer Protocol Data Unit)로 전송하는 A-MPDU (Aggregate - MAC Protocol Data Unit) 방식의 매체 접근 제어(MAC: Media Access Control) 프로토콜을 사용하여 높은 처리율을 지원하고 있다. 기존에는 채널 환경에 따라 집적하는 MPDU의 개수를 동적으로 바꿔주는 채널 정보 기반의 A-MPDU 방식이 많이 연구되었지만 이러한 방식들은 수신자로 부터의 복잡한 무선 채널 정보를 이용하기 때문에 시스템 오버헤드가 증가한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 복잡한 무선 채널 정보를 이용하지 않고 A-MPDU내의 MPDU 수신여부를 나타내는 BA 신호를 이용해 작은 오버헤드를 가지고도 A-MPDU내의 집적된 MPDU의 개수를 동적으로 결정하는 BA 기반 동적 A-MPDU 방식을 제안하였다. 본 논문에서는 NS-2(Network Simulator-2)에 의한 모의실험을 통하여 제안된 방식이 기존의 고정 A-MPDU 방식보다 더 높은 처리율과 더 낮은 패킷 오류율을 가짐을 확인하였다.

Abstract

By adopting the MAC(Media Access Control) protocol which enables to pack multiple MPDUs(MAC-level Protocol Data Units) into a single PDU(Physical Layer Protocol Data Unit), IEEE 802.11n WLAN supports high throughput. Up to now, there have been a lot of existing channel information-based A-MPDU schemes dynamically determining the number of MSDUs according to the wireless channel condition information which is sent from the receiver to sender. However, the channel information-based scheme has a serious drawback having a high system overhead due to the frequent channel feedback information. To reduce the system overhead, the proposed BA-base dynamic A-MPDU scheme simply chooses the number of MSDUs to be retransmitted by not the frequent channel feedback information but the BA signal representing whether MPSUs belonging to the A-MPDU are received or not. Through NS-2(Network Simulator-2), we found that the proposed scheme had higher throughput and lower packet error rate than the existing fixed A-MPDU scheme.

Keywords : IEEE 802.11n WLAN, A-MPDU, Block Ack, Throughput, Packet Error Rate

I. 서론

미국 전기전자학회(IEEE)의 작업 그룹에서 개발한 IEEE 802.11 기반 무선랜 기술 규격으로 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n이 있으며, 이들은 전송률, 보안, 서비스 품질(QoS: Quality of Service) 측면에서 성능 개선을 위한 규격들이 제정되었다. 또한 네트워크 접속 및 네트워크 구성의 편의성 때문에 무선 랜 기술은 사용자들의 멀티미디어 데이터 통신에 대한 요구의 증가로 과거보다 고속화된 데이터를 처리 할 수 있도록 성능 향상이 필요하게 되었다. 기존의 IEEE 802.11b/g/a 매체 접근 제어(MAC: Media Access Control)은 최대 2, 11, 54Mbps의 데이터 전송 제공을 목적으로 설계되었기 때문에 100Mbps이상의 데이터 전송을 위해서는 기존의 매체 접근 제어에 대한 수정이 필요하다.

따라서 IEEE 802.11n은 기존 매체 접근 제어, 물리 계층 기능을 수정 및 보완하여 보다 높은 처리율을 얻기 위한 표준으로 제안되었다^[1]. 특히, IEEE802.11n 매체 접근 제어에서는 높은 처리율 목표를 달성하기 위하여 프레임 집적(Frame Aggregation)이라는 기술을 사용하고 있다. 매체 접근 제어 계층의 프레임 집적 방식은 A-MSDU(MAC Service Data Unit)와 A-MPDU(MAC Protocol Data Unit) 방식으로 2가지가 존재한다. 먼저 A-MSDU는 매체 접근 제어 계층의 상위부분에서 우선순위가 같고 동일한 DA(Destination Address)로 향하는 다수의 MSDU를 하나의 MSDU로 집적하는 방법이고 A-MPDU는 매체 접근 제어 계층의 하위부분에서 하나 이상의 MPDU 집적하여 구성하는 방법이다^{[2][3][4][5]}. 본 논문에서는 A-MPDU 방식에 대해서만 다룬다. 본 논문에서는 복잡한 무선 채널 정보대신에 프레임 수신여부를 나타내는 ACK 수신의 역할을 대신하는 BA 신호를 이용해 A-MPDU 내의 집적된 MPDU의 개

수를 동적으로 결정하는 BA 기반 동적 A-MPDU 방식을 제안하였다. 제안된 방식의 성능 분석을 위하여 Rician 페이딩 채널과 Rayleigh 페이딩 채널하에서 패킷 처리율과 패킷 오류율에 대한 시뮬레이션을 수행하여 제안된 방법의 성능 향상 정도를 살펴보았다.

본 논문의 2장에서는 A-MPDU 방식에 관한 시스템 모델을 살펴보았고 3장에서는 제안된 BA 기반 동적 A-MPDU 방식에 대하여 기술하였다. 4장에서는 모의실험 환경 및 결과 분석을 통한 성능분석을 수행하였고 마지막으로 5장에서 결론을 제시하였다.

II. 시스템 모델

IEEE 802.11n에서 정의하는 매체 접근 제어계층의 서비스 품질은 IEEE 802.11e의 방식을 따르는데 이는 DCF(Distributed Coordination Function) 방식과 PCF 방식을 향상시킨 HCF 방식을 통하여 구현된다. HCF 방식은 DCF 방식에 의해 제어되는 경쟁 구간과 PCF 방식에 의해 제어되는 비경쟁 구간동안 데이터를 전송 할 수 있는 방식으로 EDCA라는 경쟁기반 채널접근 방법과 HCCA인 컨트롤 채널접근방법을 사용하고 있다^[6]. EDCA 방식은 단말 간에 멀티미디어 데이터를 주고받을 때 패킷 간의 충돌을 피하는 것을 목표로 하는 DCF 방식에 기반하여 서비스 품질 보장을 위해 특정 트래픽의 종류에 대해 우선순위를 제공한다. 우선순위 제공방법은 패킷이 매체 접근 제어 계층에 도달하기 전에 IP 패킷 헤더에 있는 ToS(Type of Service) 필드의 값을 이용하여 AC(Access Category)별로 멀티미디어 트래픽의 우선순위를 구분한다^[7].

1. MPDU 및 A-MPDU 방식의 전송과정

A-MPDU는 기존의 IEEE802.11 매체 접근 제어의 전송 오버헤드를 줄임으로써 보다 높은 처리율을 얻는 방향으로 개발되었다. 그림 1은 기존의 IEEE802.11 매체 접근 제어에서 MPDU의 전송 과정을 나타낸다. 그림 1에서 보는 것처럼 MPDU 한 개를 전송하는데 백오프와 SIFS(Shortest

a) 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 전자통신공학과 (Dept. of Electronic Engineering, College of IT, Kangwon National University)

‡ Corresponding Author : 김동희(Dong Hoi Kim)
E-mail: donghk@kangwon.ac.kr
Tel: +82-33-250-6349

‡ Manuscript received May 29, 2014 Revised July 21, 2014 Accepted July 21, 2014

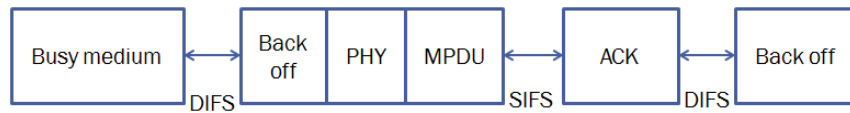


그림 1. MPDU의 전송과정
Fig 1. Transmission process of MPDU

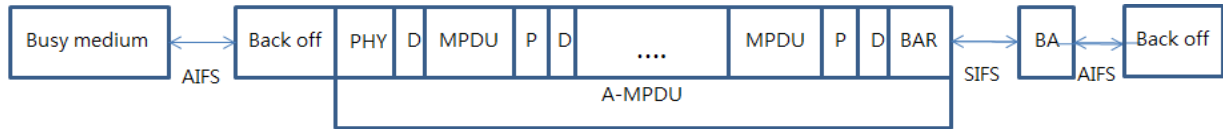


그림 2. A-MPDU의 전송과정
Fig 2. ransmission process of A-MPDU

IFS), DIFS(DCF Inter-Frame Space), ACK 프레임 전송까지 많은 오버헤드가 발생된다. 또한 하나의 MPDU를 보낼 때마다 PHY 오버헤드도 추가가 된다. 이러한 오버헤드들 때문에 실제로 IEEE802.11g 무선랜의 최대 물리계층의 전송속도가 54Mbps임에도 불구하고 실제 최대 처리율은 그 절반도 되지 않는다. 이러한 오버헤드들을 줄이기 위해서 MAC에서 HCF를 기반으로 한 A-MPDU 방식을 사용하게 된다.

그림 2는 A-MPDU의 전송과정을 나타내고 있다. 여기에서 PHY는 물리 계층의 오버헤드를 나타내고 MPDU는 데이터 프레임을 나타낸다. 또한 BA(Block ACK)는 집적된 MPDU들의 Ack를 블록화 한 프레임 BAR(Block Ack Request) A-MPDU의 끝을 알리는 프레임이다. D(A-MPDU

frame Delimiter)는 MPDU들을 구분하는 문자이다. 결론적으로 A-MDU 방식은 MDPU들을 집적하여 불필요한 오버헤드인 SIFS와 Ack 프레임전송을 방지함으로써 높은 처리량을 얻고자 하는데 목표가 있다⁹⁾.

2. A-MPDU BA 방식의 전송과정

A-MPDU 방식에서는 기본적으로 BA(Block Ack) 방식을 사용하고 있다. 기존의 DCF에서는 수신자가 하나의 MPDU를 수신하고 나서 ACK 프레임을 송신자에게 전송하고 있다. 하지만 BA 방식에서는 송신자가 집적된 MPDU를 전송한 후 응답되어야할 첫 번째 MPDU의 순서번호 즉,

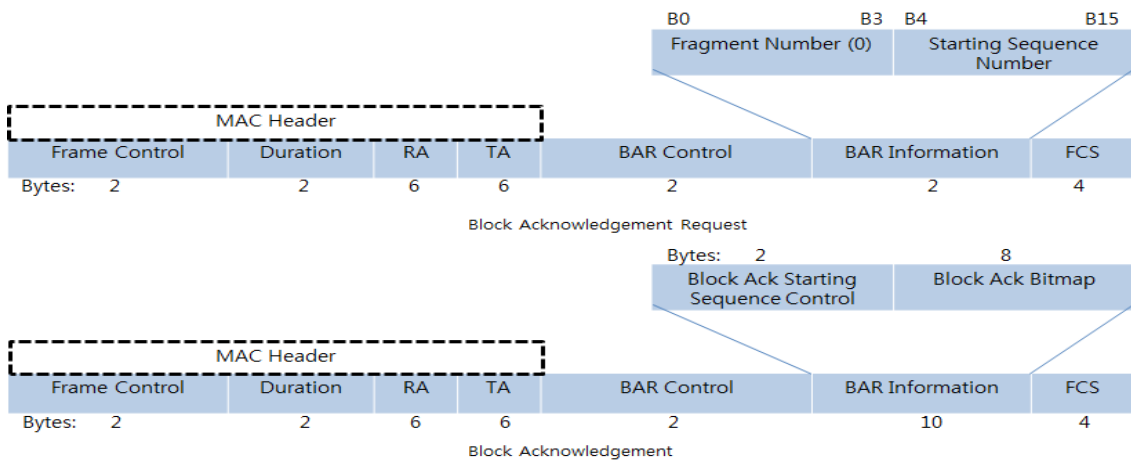


그림 3. BA 방식 구조
Fig 3. Structure of BA method

SSN(Starting Sequence Number)를 담은 BAR(Block Ack Request) 프레임을 수신자에게 보내어 집적된 MPDU들에 대한 ACK을 요청한다. 수신자는 MPDU들을 수신받을 때 마다 수신버퍼에 임시로 저장을 하고, BAR 프레임을 받은 후 BAR 프레임의 SSN부터 수신된 버퍼에 저장된 MPDU과 비교하여 MPDU들의 성공적인 수신여부를 비트맵으로 만들고, 그 비트맵을 BA 프레임에 담아 송신자에게 전송을 하게 된다. 송신자는 BA 프레임에 비트맵을 보고, 전송 버퍼에 저장된 MPDU(전송된 MPDU들의 대한 복사본)들을 삭제 할 것인지 또는 재전송할것인지에 대한 판단을 하게 된다. 그림 3은 BA 프레임과 BAREQ 프레임에 구조를 나타낸 그림이다.

3. 기존 고정 A-MPDU 방식

기존 고정 A-MPDU 방식은 시스템 동작 초기에 정해진 고정된 MPDU 개수로 동작 내내 집적하여 보내는 방식이다. 여기에서 고정된 A-MPDU의 길이는 해당 프레임의 우선순위에 따른 AC의 TxOP 기간 동안에 전송 가능한 크기로 제한되어 하나의 PPDU로 구성된다. 그림 4는 고정된

MPDU 개수를 가지는 기존 고정 방식의 A-MPDU의 동작 예를 보여주고 있다. MPDU 8개를 집적한 첫 번째 A-MPDU를 전송하는 과정에서 2개에 MPDU가 오류가 발생했는데 이때 수신자는 수신된 MPDU를 확인하고 재전송을 요구할 MPDU들의 비트맵을 0으로 설정 한 BA 패킷을 생성 하게 된다. BA 패킷을 생성하여 수신자가 송신자에게 전송하고 나면 송신자는 BA 패킷에 있는 비트맵을 확인하여 재전송할 MPDU들을 제일 먼저 집적한 후 EDCA 버퍼에서 나머지 A-MPDU의 부분을 채우게 된다⁸⁾. 위와 같은 방법으로 두 번째와 세 번째 A-MPDU들도 전송하게 된다.

이와 같은 고정된 A-MPDU 방식에서는 시스템 동작 초기에 너무 큰 길이의 A-MPDU가 선택되었다면 긴 길이의 프레임에 의한 수신자의 패킷 손실 확률이 높은 단점이 있다. 또한 A-MPDU 내에 존재하는 각 MPDU의 처리를 위하여 MPDU 변별자(delimiter)의 유일한 패턴 스캔(Unique Pattern Scan)과정으로 인하여 복잡도 및 처리 시간도 증가 될 수 있다. 반대로 시스템 동작 초기에 너무 짧은 길이의 A-MPDU가 선택했다면 채널 상태가 우수한 경우에 더 많은 양의 데이터를 전송 할 수 있는 경우에도 짧은 길이의

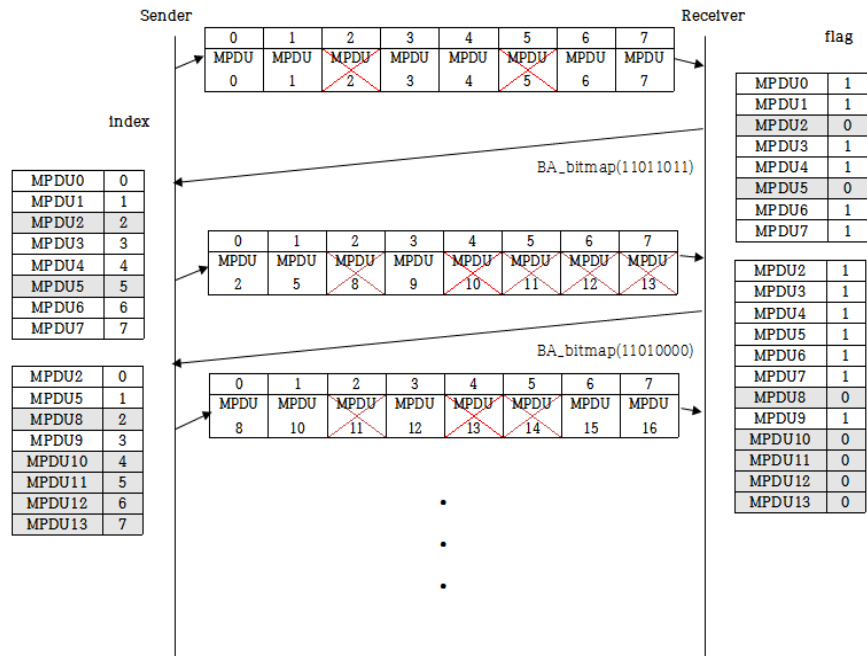


그림 4. 기존 고정 MPDU 방식의 동작 예
 Fig 4. Operating example of the existing fixed scheme

A-MPDU를 보내게 되어 전체 처리율이 감소하는 문제가 발생하게 된다^[4].

III. 제안하는 전송방식

본 장에서는 본 논문의 핵심 내용인 BA 기반 동적 A-MPDU 방식에 대하여 기술한다. 본 논문에서 제안하는 BA 기반 동적 A-MPDU 방식은 기존 고정 A-MPDU 전송 방식에서의 문제점을 해결하기 위하여 프레임 수신여부를 나타내는 ACK 수신의 역할을 대신하는 재전송 요청 비트맵을 가지고 있는 BA 신호를 이용해 낮은 시스템 오버헤드를 가지고도 A-MPDU 내의 집적 MPDU의 개수를 결정하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 BA 기반 동적 A-MPDU 방식에서는 수신자에서 송신자로 보낸 BA 신호내의 비트맵을 근거로 현재의 채널 상태를 판단하여 다음 A-MPDU 전송시에 집적될 MPDU의 개수를 증감한다. 다시 말해서, 송신자가 전송한 A-MPDU의 집적 MPDU의 개수의 절반 이상에 대하여 수신자에서 재전송을 요구할 경우는 현재의 채널 상태가 열악한 것으로 판단하여 송신자에서는 다

음 A-MPDU 전송시에 집적 MPDU의 개수를 한 개 감소하여 전송한다. 반대로 송신자에서 보낸 A-MPDU의 집적 MPDU 개수의 절반 미만에 대하여 수신자에서 재전송을 요구할 경우에는 현재 채널 상태가 우수한 것으로 판단하여 다음 A-MPDU 전송시에 집적 MPDU의 개수를 한 개 증가시켜 전송하는 방법이다. 본 논문에서 채널 상태의 변경에 대한 정보는 K-Factor를 이용하여 구별하였다. K-factor란 직접파와 반사파의 전력비를 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$K = \frac{c^2}{2\sigma^2} : \text{Rician } K\text{-factor} \tag{1}$$

위 식에서 c^2 은 LOS(Line Of Sight) 성분의 전력을 나타내고 σ^2 은 산란성분의 전력을 나타낸다. K-factor 값이 큰 값을 가진다면 LOS 성분의 전력이 산란성분 즉 반사파의 전력보다 더 큰 값을 가지므로 채널 상태가 우수하다고 볼 수 있다. 반대로 K-factor 값이 작아진다면 LOS 성분의 전력이 반사파의 전력보다 작은 값을 가지므로 채널 상태가 열악해진다고 볼 수 있다.

그림 5는 제안한 BA 기반 동적 A-MPDU 방식을 위한

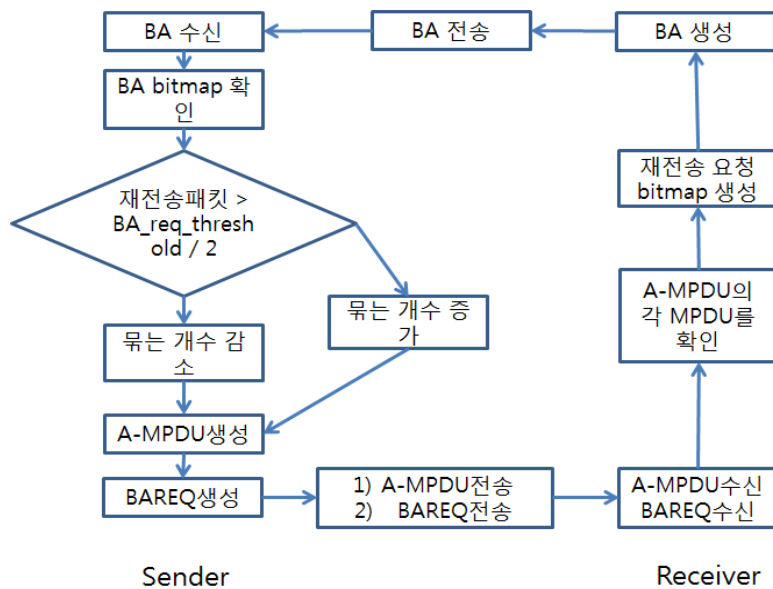


그림 5. 제안하는 BA 방식 기반의 동적 A-MPDU 방식의 플로우차트
Fig 5. Flowchat of the proposed BA based dynamic A-MPDU scheme

순서도를 나타낸다. BA_req_threshold는 바로 전에 보낸 A-MPDU 내의 집적 MPDU의 개수이다. 송신자는 첫 A-MPDU를 보낸 후 수신자로 부터 BA 패킷을 받게 되면 BA 패킷에 있는 비트맵을 통해 재전송할 MPDU들을 집적하게 된다. 이때 재전송할 MPDU의 개수가 BA_req_threshold의 절반보다 많다면 채널 상태가 열악한 것으로 판단하여 A-MPDU의 집적 MPDU의 개수를 감소시켜 다시 A-MPDU를 만들게 된다. 다시 만들어진 A-MPDU를 전송하여 그림 4와 같은 방식을 계속 수행하게 된다.

그림 6는 제안한 BA 기반 동적 A-MPDU 방식의 구체적인 동작 예를 보여주는 그림이다. 그림 6에서 살펴보면 송신자가 먼저 7개의 MPDU를 집적하여 첫 번째 A-MPDU를 전송하게 되고 수신자는 수신한 첫 번째 A-MPDU의 MPDU들을 확인하여 BA-bitmap을 생성하고 이를 다시 송신자에게 전송하게 된다. 그 이후에 송신자는 이 비트맵을 보고 재전송할 MPDU들을 확인하여 두 번째 A-MPDU를 만들게 된다. 두 번째 A-MPDU를 전송하는 경우를 살펴보

면 송신자는 이전에 집적 개수(BA_req_threshold)의 절반 약 3개 보다 적은 양인 2개의 MPDU에 대해 재전송을 요구 받았기 때문에 새로 만드는 두 번째 A-MPDU의 개수는 첫 번째 A-MPDU의 개수보다 한개 증가한 8개를 보내게 된다. 이때 재전송을 요구받은 MPDU2와 MPDU5을 포함하여 보내게 된다. 세 번째 A-MPDU를 전송하는 때에는 수신자로부터 총 5개의 MPDU에 대한 재전송을 요청받는데 이는 BA_req_threshold의 절반인 4개보다 많은 양이기 때문에 집적할 MPDU의 개수는 두 번째 A-MPDU보다 한개 감소한 7개를 전송하게 된다.

IV. 성능 분석

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 NS-2(Network Simulator)^[10]를 이용하여

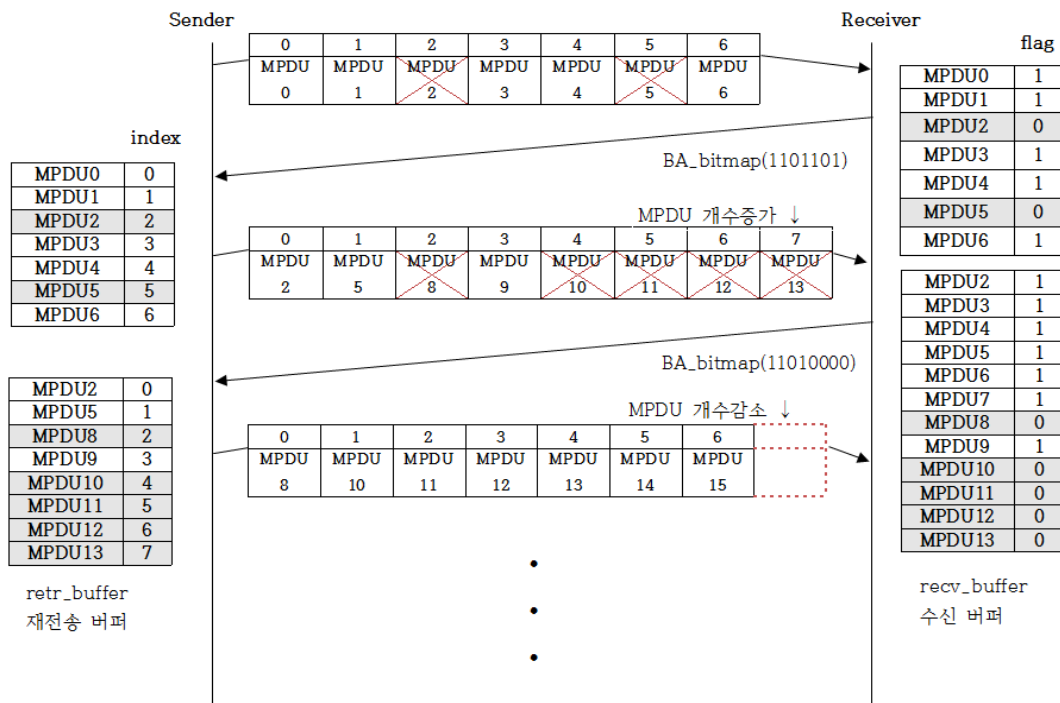


그림 6. 제안하는 방식에 대한 동작 예
 Fig 6. Operating example of the proposed scheme

성능 분석을 하였다. 성능 분석을 위한 시뮬레이션 토폴로지는 노드 2개를 이용하여 데이터를 전송하는 방식으로 시뮬레이션 시간은 30초간 진행하였다. 패킷은 CBR 트래픽을 이용하였고 패킷의 사이즈는 256Byte로 사용하였다. 이때 송신자는 EDCA의 4개의 AC(Access Category)중에서 하나만을 사용한다고 가정하였다. 시뮬레이션을 위해 사용

표 1. 시뮬레이션 파라미터들
Table 1. Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터	값
Simulation tool	NS-2
Simulation time	30sec
Simulation terrain	670m x 670m
Number of node	2 Node
Node distance	40m when K-factor =-40dB (Rayleigh 페이딩 채널) 50m when K-factor>=0dB (Rician 페이딩 채널)
Traffic type	CBR(Constant Bit Rate)
Packet size	256byte
Packet interval	0.00001sec
Transmission rate	54Mbps
BA_Req_threshold (Maximum # of pkts in an A-MPDU)	10 (시작 프레임 집적 크기)
Channel	Rician & Rayleigh 페이딩 채널
EDCA queue size	500
K-factor(dB)	0, 3, 5, 7, 10
Doppler shifts	0, 2.5, 5, 7.5, 10

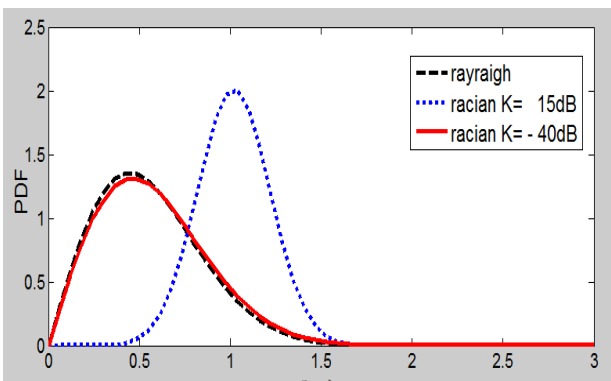


그림 7. 라이시안 페이딩 채널과 레일레이 페이딩 채널의 확률밀도함수들
Fig 7. Probability density functions of Rician fading channel and Rayleigh fading channel

된 중요 파라미터 값들을 요약한 것은 표 1에서 보여주고 있다. 실제 무선 통신 환경과 유사한 시뮬레이션을 재현하기 위해 Rician 페이딩 채널 환경에서 K-factor값을 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 시스템 동작 초기에 정해지는 MPDU 개수는 10으로 고정하여 사용하였다. 그림 7는 Rician 페이딩 채널과 Rayleigh 페이딩 채널의 확률 밀도함수를 보여주고 있다.

확률 변수 x 의 대한 Rayleigh 확률 밀도 함수는 다음 식과 같이 나타 낼 수 있다.

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \tag{2}$$

위 식에서 σ^2 의 값은 수식 (1)에서 설명한 산란성분 즉 반사파들 전력의 합으로 나타낸다. 수식 (2)에서도 보는 바와 같이 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서는 LOS 성분 즉 직접파에 대한 전력이 없기 때문에 도심지역에 대한 시뮬레이션에서 많이 쓰이는 페이딩 채널이다. 확률 변수 x 의 대한 Rician 확률 밀도 함수는 다음 식과 같이 나타 낼 수 있다.

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+c^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{xc}{\sigma^2}\right) \tag{3}$$

위 식에서 $I_0(\cdot)$ 은 수정된 제1종 0차 Bessel 함수를 나타내고 c^2 은 LOS 성분 즉 직접파의 전력, σ^2 은 산란성분 즉 반사파들의 전력의 합으로 나타낸다. Rician 페이딩 채널의 경우는 반사파들의 전력의 합만 있는 것이 아니고 직접파의 전력 또한 같이 존재하기 때문에 Rayleigh 페이딩 채널보다는 더 우수한 채널환경을 나타낸다. 수식 (1)을 통하여 K-Factor 값과 함께 비교 해보면 K-Factor의 값이 작아지게 되면 즉 K-Factor가 0dB보다 작아지게 되면 LOS 성분인 c^2 의 값을 0으로 볼 수 있다. c^2 의 값이 0이 될 때 수식 (3)에서 c 의 값을 0으로 계산 하면 수식 (2), 즉 Rician 확률 밀도 함수가 Rayleigh 확률 밀도 함수와 같아진다는 것을 볼 수 있다. 위의 설명을 증명하기 위하여 그림 7에서와 같이

Rayleigh 확률 밀도 함수가 수식 (3)에 의한 이론값과 Matlab에 의해 K-factor가 -40dB인 Rician 페이딩 채널에서 도출한 실험값이 같음을 알 수가 있다. 따라서 K-factor가 -40dB인 Rician 페이딩 채널은 Rayleigh 페이딩 채널과 동일한 확률 밀도 함수를 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 모의실험에서의 Rayleigh 페이딩 채널은 K-Factor가 -40dB인 Rician 페이딩 채널로 설정하여 시뮬레이션을 실행하였다 [11].

2. 시뮬레이션 결과 분석

그림 8와 그림 9은 Rician 페이딩 채널 환경에서 K-factor 값에 따른 처리율과 패킷 오류율을 분석한 결과이다. K-Factor는 직접파와 반사파의 전력비를 나타낸다. K-factor 값이 크다면 직접파에 전력이 강하므로 우수한 채널 상태라고 말할 수 있다. 그림에서 보듯이 BA 기반 동적 A-MPDU 방식이 고정 A-MPDU 방식보다 처리율은 높게 나오게 된다. K-Factor의 값이 커지는 경우는 LOS 성분 즉 직접파의 전력이 강해진다는 것을 의미하기 때문에 재전송을 요구하는 패킷의 양은 감소하게 된다. 이와 같이 재전송을 요구하는 패킷의 양이 감소하게 되면 본 논문에서 제안한 BA-기반 동적 A-MPDU 방식은 다음번 A-MPDU를 전

송할 때 집적하는 MPDU의 개수를 증가시키기 때문에 고정 A-MPDU 방식과는 달리 채널 상태가 우수한 경우에 더 많은 양의 데이터를 전송 할 수 있게 된다. 이때 더 많은 양의 데이터를 전송으로 패킷 오류율은 수신된 패킷과 오류가 발생한 패킷의 비로 나타내는데 수신된 패킷이 오류 패킷에 비해 월등히 많기 때문에 패킷 오류율은 감소하게 된다. 반대의 경우로, K-Factor의 값이 작아지는 경우에는 LOS 성분 즉 직접파의 전력이 약해지므로 재전송을 요구하는 패킷의 양은 증가하게 되어 다음 A-MPDU를 전송할 때 집적하는 MPDU의 개수를 감소시킴으로써 채널 상태가 열악한 경우에 고정 A-MPDU 방식보다 더 적은 양의 데이터를 전송하고 계속 고정된 집적개수를 가지고 전송하기 때문에 채널 상태가 열악한 경우에도 큰 사이즈의 데이터를 계속 전송함으로써 패킷 오류율이 높게 측정된다. 위와 같은 동작으로 제안하는 방식은 고정 A-MPDU 방식보다 더 좋은 처리율과 패킷 오류율 성능을 얻게 된다.

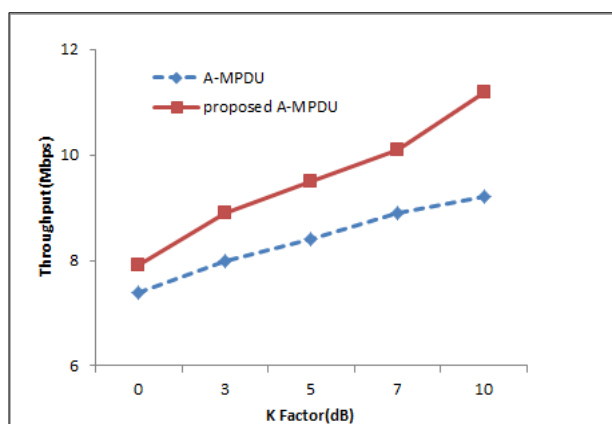


그림 8. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 라이시안 페이딩 채널에서 K-Factor값에 따른 처리율
 Fig 8. Throughput between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme according to K-factor in Rician fading channel

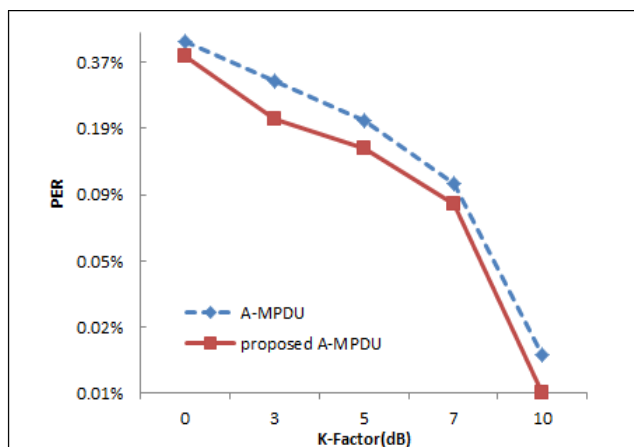


그림 9. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 라이시안 페이딩 채널에서 K-Factor값에 따른 패킷 오류율
 Fig 9. Packet error rate between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme according to K-factor in Rician fading channel

그림 10과 그림 11은 K-factor의 값이 -40dB일 때, 즉 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서의 처리율과 패킷 오류율을 분석한 결과이다. Rayleigh 페이딩 채널은 K-Factor가 작은 값을 가지게 되는데 이것은 즉 직접파의 전력비보다 반사파의 전력비가 더 크다는 것을 의미 하게 되는 것으로 채널

상태가 열악함을 나타낸다. 채널 상태가 열악해지면 재전송을 하는 양이 증가 하게 되는데 고정 A-MPDU 방식의 경우에는 재전송하는 양이 증가함에도 불구하고 고정된 크기의 A-MPDU를 계속 전송하게 된다. 반면에 BA 기반 동적 A-MPDU 방식의 경우에는 재전송되는 양이 증가함에 따라 A-MPDU의 집적 개수, 즉 A-MPDU의 사이즈를

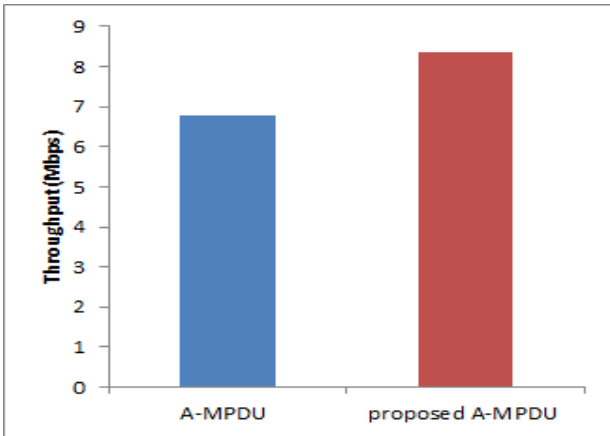


그림 10. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 레일레이 페이딩채널(K-factor = -40dB)에서의 처리율

Fig 10. Throughput between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme in Rayleigh fading channel(K-factor = -40dB)

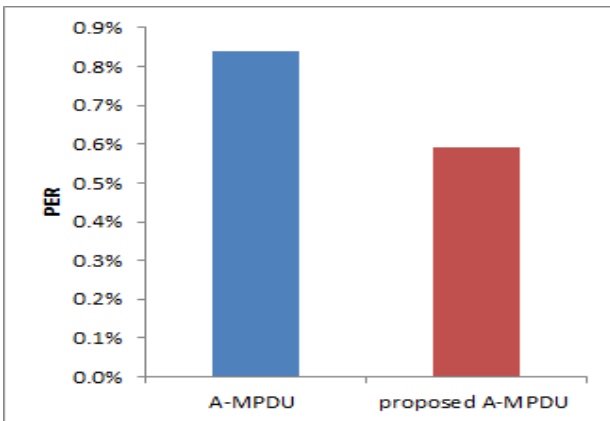


그림 11. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 레일레이 페이딩채널(K-factor = -40dB)에서의 패킷 오류율

Fig 11. Packet error rate between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme in Rayleigh fading channel(K-factor = -40dB)

감소시켜 전송하기 때문에 패킷 오류율과 전송 시간을 감소시키면서 더 많은 양의 패킷을 전송할 수 있게 된다. 결과적으로 그림 10과 그림 11에서 볼 수 있듯이 제안한 BA 기반 동적 A-MPDU 방식이 고정 A-MPDU 방식보다 처리율과 패킷 오류율 측면에서 각각 1.5Mbps 정도의 증가와 0.24% 정도의 감소를 보여주고 있다.

그림 12와 그림 13은 K-factor가 -40dB일 때 즉 Rayleigh 페이딩 채널에서 도플러 스펙트럼 값에 따른 처리율과 패

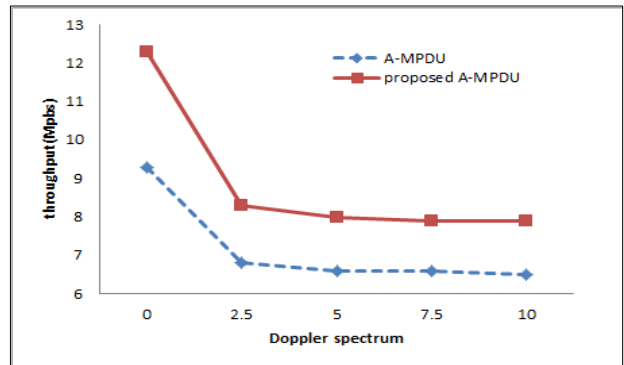


그림 12. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 레일레이 페이딩채널(K-factor = -40dB)에서 도플러 스펙트럼 값에 따른 처리율

Fig 12. Throughput between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme according to Doppler spectrum in Rayleigh fading channel(K-factor = -40dB)

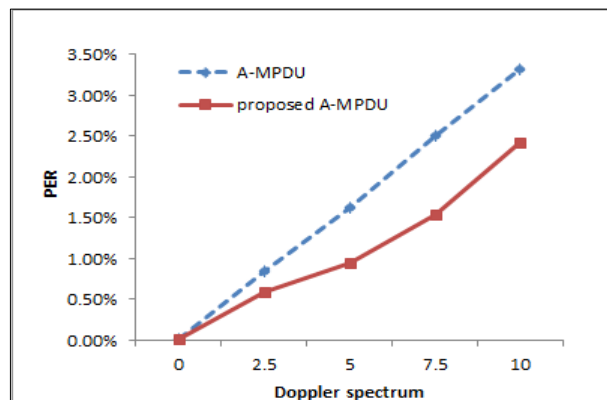


그림 13. 제안된 동적 A-MPDU 방식과 고정 A-MPDU 방식의 레일레이 페이딩채널(K-factor = -40dB)에서 도플러 스펙트럼 값에 따른 패킷 오류율

Fig 13. Packet error rate between the proposed dynamic A-MPDU scheme and fixed A-MPDU scheme according to Doppler spectrum in Rayleigh fading channel(K-factor = -40dB)

킷 오류율의 변화를 보여주는 그래프이다. 도플러 값이 변화하는 것은 도플러 천이 주파수식에서 v 의 값을 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 돌린 결과이다.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (4)$$

위 식에서 도플러 천이 주파수 f_d 는 물체에 이동속도 v 와 수신측으로 들어오는 신호파장 λ , 단말기의 움직임의 방향 및 산란파의 도착 방향 사이의 각 θ 로 이루어져 있다. 본 실험에서 도플러 값이 커진다는 것은 이동속도가 증가한다는 것으로 볼 수 있고, 이동속도가 증가하게 되면 도플러 천이 주파수가 커지게 된다. 도플러 천이 주파수가 커지게 되면 수신자에서는 수신신호의 주파수가 다음과 같이 변화 하게 된다.

$$f = f_c \pm f_d \quad (5)$$

위 식에 수신신호 주파수 f 는 주파수 f_c 와 도플러 천이 주파수 f_d 의 차이로 나타나게 된다^[12]. 수신자에서 v 값이 커지게 되면 도플러 효과에 의해 주파수 변동이 크게 일어나게 되면서 데이터의 재전송을 요구하는 양이 증가하게 된다. 위 시뮬레이션 결과에서 도플러 값이 0일 때는 즉 v 가 0의 값을 가지기 때문에 도플러 천이 주파수 f_d 는 0의 값을 가지게 된다. 도플러 천이 주파수 f_d 의 값이 0이기 때문에 수신자는 주파수 변동을 겪지 않는다. 주파수 변동을 겪지 않는 수신자에서는 재전송을 요구하는 양이 줄어들게 되고 재전송을 요구하는 양이 줄어들면 본 논문에서 제안된 알고리즘에 의해 A-MPDU의 묶는 개수가 증가 하게 된다. 그러므로 도플러 값이 있는 경우보다는 높은 처리율과 낮은 패킷 오류율을 보이게 된다. 반면에 단말의 이동 속도가 증가함에 따라서 도플러 천이 주파수값이 증가하게 되어 도플러 효과에 의해서 급격한 주파수 변동을 겪게 된다. 급격한 주파수 변동이 일어나면서 처리율과 패킷 오류율이 급격히 떨어지므로 위에서 설명한 것과 같이 재전송하는 양이 증가하게 되는데 이 경우에 고정된 크기의 데이터를 전송하여 오류율과 전송시간을 증가시키는 것보다는 작은

크기의 데이터를 전송하여 오류율과 전송시간을 감소시키는 것이 더 효율적이다. 따라서 본 논문에서 제안한 BA 기반 동적 A-MPDU 방식이 더 좋은 처리율과 낮은 오류율을 보이게 된다. 위의 시뮬레이션 결과로 부터 제안한 BA 기반 동적 A-MPDU 방식이 기존의 고정 A-MPDU 방식보다 Rician 페이딩 채널과 Rayleigh 페이딩 채널의 두 채널 환경에서 모두 더 높은 처리율과 더 낮은 패킷 오류율을 나타 내는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

기존의 IEEE 802.11n의 매체 접근 제어 계층은 IEEE 802.11의 매체 접근 제어 계층과는 다르게 하나의 MPDU를 보내는 것보다 여러 개의 MPDU들을 집적하여 하나의 A-MPDU를 만들어 보내는 방식을 사용함으로써 매체 접근 제어 계층에서의 처리율을 높이고 있다. 현재 IEEE 802.11n에 대한 많은 연구가 진행되었는데 그중에서도 많은 관심이 가는 부분은 A-MPDU의 효율적인 집적 방식을 찾는 것이다. 너무 큰 A-MPDU가 생성되면 패킷 손실 확률이 높아지고 너무 작은 A-MPDU가 생성되면 데이터의 처리량이 낮아지는 경우가 있다. 따라서 본 논문에서는 시스템 오버헤드를 유발시킬 수 있는 수신자로 부터의 복잡한 무선 채널 정보를 이용하지 않고 수신자에서 송신자로 보낸 BA 신호내의 비트맵을 이용하여 A-MPDU의 크기를 동적으로 할당하는 BA 기반 동적 A-MPDU 방식을 제안 하였다. 또한 N_s-2 를 이용한 모의실험을 통하여 시스템 동작 초기에 정해진 A-MPDU의 크기를 고정하여 사용하는 고정 A-MPDU 방식과 비교하여 제안된 BA 기반 동적 A-MPDU 방식의 성능개선의 효과를 Rician 페이딩 채널과 Rayleigh 페이딩 채널에서 처리율과 패킷 오류율 측면에서 확인하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] IEEE 802.11n, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : Amendment 4:

- Enhancements for Higher Throughput", IEEE 802.11n/D3.00, Sep. 2007.
- [2] Byung Soo Kim, Ho Young Hwang, and Dan Keun Sung, "Effect of Frame Aggregation on the Throughput Performance of IEEE 802.11n", Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1740-1744, 2008.
- [3] D. Skordoulis, Q. Ni, H. H. Chen, A. P. Stephens, C. Liu, and A. Jamalipour, "IEEE 802.11n MAC frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput WLANs", IEEE Wireless Communications, Vol. 15, Issue 1, pp. 40-47, February 2008.
- [4] Y. Lin and V. W. S. Wong, "Frame Aggregation and Optimal Frame Size Adaptation for IEEE 802.11n WLANs", IEEE Global Telecommunications Conference 2006, pp. 1- 6, 2006.
- [5] M. Moh, T. S. Moh, and K. Chan, "Error-Sensitive Adaptive Frame Aggregation in 802.11n WLAN", Wired/Wireless Internet Communications, Vol. 6074, pp. 64-76, 2010.
- [6] J. W. Tantra, H. F. Chuan, and A. B. Mnaouer, "Throughput and Delay Analysis of the IEEE 802.11e EDCA Saturation", IEEE International Conference on Communications 2005, Vol. 5, pp. 3450-3454, 16-20 May 2005.
- [7] Y. S. Chung, Y. J. Kim, and J. D. Huh, "Trend of IEEE 802.11e Wireless MAC Technology and Standardization", Electronic Communication Issue Analysis, Vol. 22, Issue 4, pp. 156-168, August 2007.
- [8] B. Ginzburg and A. Kesselman, "Performance analysis of A-MPDU and A-MSDU aggregation in IEEE 802.11n", IEEE Sarnoff Symposium 2007, pp. 1-5, April 2007.
- [9] Y. M. Jang, The application of NS-2 Network Simulation, Hongrung Publishing Company, pp 91-114, July. 2008.
- [10] Ns-2 simulator. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [11] R. J. Punnoose, P. V. Nikitin, and D. D. Stancill "Efficient simulation of Ricean fading within a packet simulator", Vehicular Technology Conference Fall 2000, Vol. 2, pp. 764-767, Sep. 2000.
- [12] Y. W. Kim, E. K. Hong and J. H. Choi, Fundamentals of mobile communication 2nd, Saengneung Publishing Company, pp. 182-184, March 2005.

저 자 소 개



신 인 철

- 2009년 ~ 현재 : 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 전자통신공학과 학사과정
- 주관심분야 : 차세대 이동통신 및 차세대 무선 네트워크



김 동 회

- 2005년 : 고려대학교 전파공학과 공학박사
- 1989년 ~ 1997년 : 삼성전자 전임연구원
- 2000년 ~ 2005년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2006년 ~ 현재 : 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 전자통신공학과 교수
- 주관심분야 : 차세대 이동통신시스템, 무선자원 알고리즘 및 무선액세스 프로프콜