

효과적인 무선랜 멀티캐스팅 방법

An Efficient WLAN Multicasting Scheme

안진수¹ · 조봉관^{2*} · 김용호³

¹연세대학교 전기전자공학과

²한국철도기술연구원

³한국교통대학교 철도전기전자공학과

Jinsoo Ahn¹ · Bong-Kwan Cho^{2*} · Ronny Yongho Kim³

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 13722, Korea

²Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi-do 16105, Korea

³Department of Railroad Electrical and Electronics Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi-do 16105, Korea

[요 약]

본 논문에서는 IEEE 802.11 기술에 기반 한 멀티미디어 멀티캐스트 및 브로드캐스트 기법의 성능을 향상시키기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 차세대 무선랜 표준의 다중 사용자 전송 환경에서의 피드백 기반 멀티캐스트 및 브로드캐스트 기법으로 프레임에 대한 응답 정보를 통해 프레임의 손실 확률을 낮추는 방법을 제시하고 있다. 제안하는 기법을 사용하면 멀티캐스트 및 브로드캐스트 그룹의 크기에 상관없이 제안하는 기법의 동시 전송 NAK 프레임을 통해 송신 단말에게 프레임 수신 정보를 전달할 수 있게 된다. NAK 프레임을 수신한 멀티캐스트 및 브로드캐스트 송신 단말은 구체적인 프레임 수신 정보를 추가적으로 수집하거나 재전송을 수행함으로써 특히 불특정 다수의 단말로 전송하는 지능형교통체계 (intelligent transport system)의 브로드캐스트 서비스나 높은 처리량과 신뢰도를 요구하는 여객 엔터테인먼트 멀티미디어 서비스에서 매우 큰 성능 향상을 보여준다. 본 논문의 분석 결과에 따르면 제안하는 기법은 무선랜 멀티캐스트 및 브로드캐스트 성능을 크게 향상시키는 것으로 나타난다.

[Abstract]

In this paper, a novel multiple multicast feed-back scheme for improving multimedia multicast and broadcast system based on IEEE 802.11. The proposed scheme improves multicast PPDU delivery ratio of next generation wireless LAN by utilizing multicast feed-back information. By using the proposed scheme, regardless of its size of multicast group, an AP STA could collect transmission failure information by receiving simultaneous NAK frame. The proposed scheme shows large performance enhancement in broadcast or multicast system of Intelligent Transport System and Passenger Entertainment Service. According to the analysis results, the proposed scheme could enhance wireless LAN multicast and broadcast performance significantly.

Key word : Intelligent transport system, Wireless local area network, Reliable multicast and broadcast, Groupcast with retries.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.352>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 June 2016; Revised 20 July 2016

Accepted (Publication) 11 August 2016 (30 August 2016)

*Corresponding Author; Bong-Kwan Cho

Tel: +82-31-460-5439

E-mail: bkcho@krri.re.kr

1. 서 론

IEEE 802.11 [1] 기반 무선랜 통신 기술이 여러 교통 시스템에서 널리 사용되고 있다. 도로 교통에서는 IEEE 1609 계열 표준들과[2]-[5] IEEE 802.11p [6]로 구성된 WAVE (wireless access in vehicular environments) 통신이 지능형교통체계 (ITS; intelligent transport system)에 사용이 되며 V2V (vehicle to vehicle) 통신과 V2I (vehicle to infrastructure) 통신을 모두 지원한다 [7]. V2I는 주로 차량들에게 브로드캐스트 데이터를 전송하는 형태로 통신이 이루어진다. 철도교통의 여러 분야에서도 유무선 통신 기반 시스템이 개발되어 사용 중이다. 도시철도에서 정보교환을 위한 유선 시리얼통신장치가 국산화 개발이 진행되고 있으며 향후 다양한 통신 서비스 수요를 반영한 이더넷 통신과 광통신 수용을 고려하고 있다 [8]. 무선랜 통신이 발달하면서 비용 절감을 위해 철도교통의 여러 분야에서 사용 중인 이더넷 기반 유선 통신을 무선랜 통신으로 변경하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다 [9].

여객 산업은 그 형태가 매우 다변화 되었으며, 승객의 단순 수송에서 나아가 여정 동안의 여객 환경에 대해서도 많은 발전이 있어왔다. 특히 승객들을 위한 여정 시간 동안의 엔터테인먼트 멀티미디어 제공은 과거 일부 고가의 항공 여객 위주로 고려되었던 것에서 나아가 디지털 포터블 디바이스의 발전과 더불어 승객의 무선 멀티미디어 단말을 활용하는 형태로 저가 항공 및 해운 승객, 고속철도 등에서 도입을 하고 있는 추세다.

최근의 여객 산업은 그 형태가 매우 다변화 되었으며, 승객의 단순 수송에서 나아가 여정 동안의 여객 환경에 대해서도 많은 발전이 있어왔다. 특히 승객들을 위한 여정 시간 동안의 엔터테인먼트 멀티미디어 제공은 과거 일부 고가의 항공 여객 위주로 고려되었던 것에서 나아가 디지털 포터블 디바이스의 발전과 더불어 승객의 무선 멀티미디어 단말을 활용하는 형태로 저가 항공 및 해운 승객, 고속철도 등에서 도입을 하고 있는 추세다. 기존 여객 엔터테인먼트 멀티미디어 서비스들이 상대적으로 고가의 설비시설을 요구했던 것과는 달리, 승객의 무선단말을 활용하는 멀티미디어 서비스들은 상대적으로 저가인 무선 접속점 (AP; access point)의 설치를 통해 손쉽게 기존 여객 차량, 선박, 항공기, 철도 등에서 서비스가 가능하다는 장점이 있다. 이들은 주로 승객들의 개인 단말에서 활용 가능한 비면허 대역 무선 통신 기술인 IEEE802.11 무선랜 통신 기술[1]의 멀티캐스트 전송을 활용하여 구현될 수 있다.

무선랜 표준화 단계인 IEEE 802.11에서 현재 진행 중인 최신 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax [10]는 다수 단말이 동시에 접속하는 상황에서의 시스템 용량 및 데이터 전송율을 증대하기 위해 상향, 하향에서 모두 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access)를 사용할 수 있는 전송 방법을 채택하였다. 이는 무선랜 시스템이 멀티미디어 서비스 제공을 위한 무선 통신 방법인 멀티캐스트 및 브로드캐스트의 태생적인 특성인 다중 사용자 환경을 더욱 고려하기 시작하였다고 해석될 수 있으

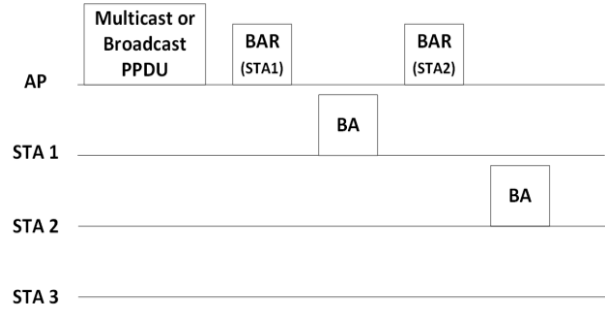


그림 1. IEEE 802.11aa group cast with retries BA 기법
Fig. 1. GCR BA procedure of IEEE 802.11aa.

며, 특히 기존에 표준화가 진행되었던 IEEE 802.11aa[11]에서의 멀티캐스트 환경 고려와 더불어 멀티미디어 멀티캐스트 및 브로드캐스트 서비스를 위한 성능 향상 기법이 고려될 수 있다.

차량내/선내/기내 멀티미디어 서비스의 경우, 한정된 공간에서 멀티캐스트 및 브로드캐스트를 최대한의 데이터 전달 비율로 구현하는 것이 그 목적이 된다. 이는 기존의 멀티캐스트 및 브로드캐스트 시스템에서 지원하지 않던 단말 피드백 기반 기법에 대한 수요가 증대하였음을 의미하며, 멀티캐스트 및 브로드캐스트 환경에서의 신뢰 전송에 대한 연구와 개발이 필요하다고 해석될 수 있다. 하지만 IEEE802.11 무선랜 환경에서 피드백 기반 기법은 멀티캐스트 및 브로드캐스트에 참여하는 다수의 단말들에 대한 피드백을 수신해야 하는 오버헤드 (overhead) 때문에 제한적인 단말들에게만 피드백을 수신하는 방법만 가능하였다.

본 논문은 IEEE 802.11ax 환경에서 OFDMA와 새로운 동시 전송 기법을 사용하여 차량내/선내/기내 멀티미디어 서비스에 적합한 새로운 멀티캐스트 및 브로드캐스트 신뢰전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 멀티미디어 데이터를 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 전송하는 AP 단말이 각 전송 데이터에 대한 모든 단말의 수신 상태 피드백 정보를 효율적으로 수집하는 방법을 제공한다. 또한 본 논문에서는 차세대 무선랜 표준인 IEEE802.11ax 환경에 기반하여 제안하는 방법 및 현재까지 진행된 표준 내용에 기반한 방법들에 대한 분석을 함께 제공한다. 본 논문의 분석에 따르면, 본 논문이 제안하는 기법은 멀티캐스트 및 브로드캐스트 전송의 신뢰도를 효율적으로 제어할 수 있는 것으로 나타난다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 IEEE802.11 무선랜 통신 기술 기반의 멀티캐스트 및 브로드캐스트 성능 향상을 위한 배경 기술들을 설명하며, 그와 함께 본 논문이 제안하는 기법을 설명한다. III장에서는 차세대 무선랜 멀티캐스팅에 대한 수학 모델링 분석을 제시한다. IV장에서는 III장의 수학적 모델링 분석에 기반한 멀티캐스트 및 브로드캐스트 기법별 성능 분석을 수행하며, V장에서는 앞선 분석들에 기반한 결론을 도출한다.

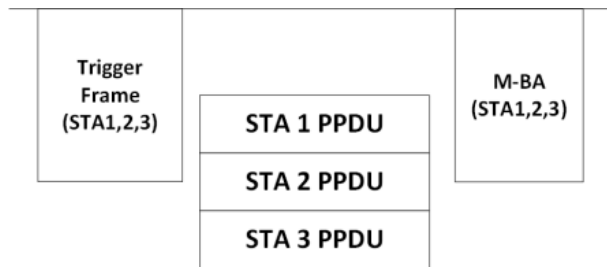


그림 2. IEEE 802.11ax UL OFDMA 기법
Fig. 2. UL OFDMA procedure of IEEE 802.11ax.

II. IEEE802.11 무선랜 통신 기술 기반의 멀티미디어 멀티캐스트 및 브로드캐스트 성능 향상 기법

2-1 IEEE 802.11aa GroupCast with Retries (GCR) Block ACK 기법

기존의 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 기법들은 송신단말이 전송하는 특정 프레임을 다수의 사용자가 수신하고 디코딩할 필요가 있는 정보에 대해서 사용하는 기술로 수신 단말들에 의한 응답 프레임을 요구하지 않는 특징이 있었다. 이러한 특징으로 인해서 전송단말은 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 기법을 통해 전달된 프레임이 실제로 잘 전달되었는지를 확인할 수 있는 수단이 없었으며, 이로 인해 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 기법은 태생적으로 채널 환경 적응에 따른 최적 전송이 어려웠다는 단점이 있었다 [12],[13].

기존 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 기법의 문제를 해소하기 위해서 IEEE 802.11aa 표준에서는 그림1에 보여지는 바와 같은 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트를 프레임 전달 효율 향상을 위한 GCR (groupcast with retries) BA (block ACK) 기법을 정의하고 있다 [9]. 그림 1에 보여 지는 것과 같이 GCR BA 기법은 802.11표준에서 정의된 BAR (block ACK request) 프레임을 활용하여, 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹의 일원에게 프레임 수신 여부를 확인하는 방법이다. BAR 프레임은 송신 단말이 수신단말에 대하여 이미 전송한 프레임에 대한 BA 프레임을 요구하는 제어 프레임으로 BAR프레임의 내용으로는 송신자 및 수신자의 주소와 응답으로 기대하는 BA프레임을 위한 제어 정보가 수록되어 있다. IEEE 802.11aa 표준에서는 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 전송에 대한 BAR 프레임과 그에 응답하는 BA 프레임 교환을 정의하였으며, 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹의 일부 혹은 전원에 대한 BAR프레임과 BA프레임 교환을 통해서 앞선 프레임들에 대한 수신 여부를 가늠할 수 있게끔 하였다. 송신단말이 GCR BA과정을 통해서 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 프레임이 잘 전송이 되지 않았다는 사실을 인지하였을 경우에는 송신 단말의 판단에 의해서 전송 프레임의 변조(modulation) 및 코딩 (MCS; modulation and

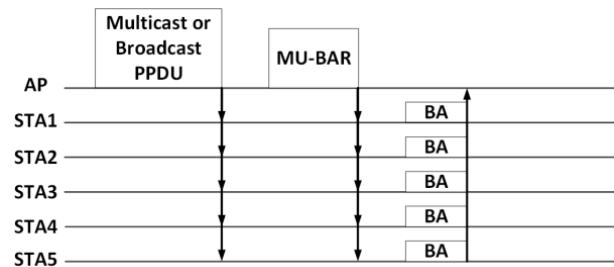


그림 3. UL OFDMA 기반 GCR BA 기법
Fig. 3. GCR BA procedure based on UL OFDMA.

scheme) 수준 제어 및 재전송을 수행하여, 프레임 전달 비율을 개선할 수 있다. 이 때에 GCR BA기법에서의 BAR 프레임과 BA 프레임 교환 횟수는 전적으로 송신 단말의 판단에 의존하며, 일반적으로 BA 프레임에 의해서 많은 프레임이 유실되었다고 판단되는 경우일수록 낮은 MCS 수준과 낮은 재전송을 수행하도록 동작한다.

GCR BA기법은 IEEE 802.11 표준 내에서 멀티캐스트 및 브로드캐스트 프레임의 전달 비율 향상을 위해 사용되는 유일한 방법으로 BAR프레임과 BA프레임의 교환 1회에 대해서 수신 단말 하나의 프레임 수신 여부를 확인 할 수 있으므로, 여러 단말들에 대한 프레임 수신여부를 확인하기 위해서는 이러한 프레임 교환을 위한 채널 점유 시간이 필요하다. 따라서 GCR BA 기법에서 프레임 전달 비율은 GCR BA 과정을 위한 채널 점유 시간과 상충(Trade-off)관계에 있다.

2-2 IEEE 802.11ax 직교 주파수 분할 다중 사용자 전송 기법

그림 2에 보여진 바와 같이 IEEE 802.11ax 표준에서는 다중 사용자 상향 전송을 지원하기 위해서 AP단말에 의한 트리거 프레임(TF; trigger frame) 전송을 지원한다 [10], [14]. TF은 다중 사용자 상향 전송을 위한 전송 시점, 전송 단말, 전송 자원을 지시하는 역할 등을 하는 프레임으로 TF를 수신한 단말들은 TF의 내용에 따라서 해당하는 자원 단위를 통해 다중 사용자 상향 전송을 수행할 수 있다.

IEEE 802.11ax 표준에서 정의하는 다중 단말 상향 전송기본적인 동작은 데이터를 전송단말과 전송기회를 획득하기 위해 채널에 접근하는 단말이 일치하는 기존의 무선랜 시스템과 달리, AP 단말로의 상향 데이터를 가진 단말들의 상향전송을 위해서 AP 단말이 채널 접근을 수행하고 AP단말의 지시 하에 다중 사용자 상향 전송을 실시한다. 현재 표준화가 진행 중인 가장 최신의 IEEE 802.11ax 표준 초안[10]에 따르면, 앞서 기술한 바와 같이 AP 단말에 의해 하향 전송되는 TF에 의해 직교 주파수 분할 다중 사용자 상향 전송(UL OFDMA)을 유도할 수 있다. TF는 상향 전송이 이루어질 물리프로토콜데이터단위 (PPDU; physical-layer convergence procedure protocol data unit) 길이 및 그 구성을 위한 프리앰블 정보를 삽입되어 하향 전송됨으로써 상향 전송 단말들에 의한 상향 PPDU가 AP 단말에 의해 디코딩

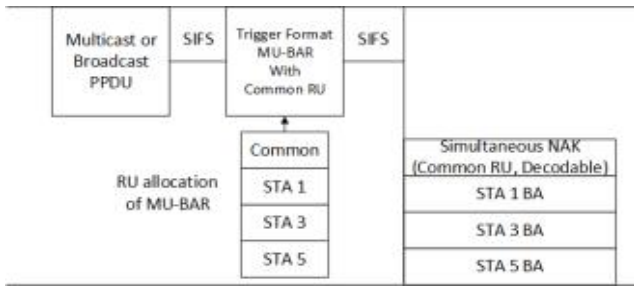


그림 4. 제안하는 Simultaneous NAK 기법
Fig. 4. Proposed simultaneous NAK procedure.

가능한 형태로 전송하게 하는 공통 전송 매개변수를 설정 할 수 있도록 한다. 또한 TF에는 각 상향 전송 단말이 데이터 프리엠블 부 이후에 사용할 부반송파 자원인RU (resource unit)에 대한 정보와 MCS 등 각 상향 단말들의 개별 전송 매개변수(parameter) 들이 포함되어 전송된다. 따라서 TF에 의해 전송 지시 받은 단말은 AP의 TF가 지정하는 전송 매개변수를 이용하여 다중 사용자 상향 전송 과정을 수행할 수 있다.

IEEE 802.11ax 표준에서는 직교 주파수 분할 다중 사용자 전송(OFDMA)을 지원하며, 이는 앞서 기술한 상향 전송 뿐 아니라 하향 전송을 포함한다. 직교 주파수 분할 다중 사용자 하향 전송(DL OFDMA)의 경우, UL OFDMA의 경우와 달리 하향 데이터를 가진 단일 AP 단말의 채널 접근을 통해 수신이 이루어질 수 있으므로 데이터 전송의 경우 별도의 과정 없이 기존 IEEE802.11의 다중 사용자 하향 다중입력다중출력(MIMO; multiple input multiple output) 방법과 유사하게 채널접근과 동시에 각 RU별로 목적 단말들의 데이터 비트들을 할당한 PPDU를 전송하는 형태로 이루어진다.

현재 표준화가 진행중인 IEEE802.11ax 의 표준 초안에 따르면 DL OFDMA 과정에서의 데이터 프레임의 전송의 응답에 해당하는 BA 프레임을 UL OFDMA 형태로 수신 받도록 정의하고 있다. 이때에 각 수신 단말들로부터의 상향 BA프레임은 AP 단말이 전송한 PPDU 내에서 데이터 프레임과 함께 각 단말들에 전달한 트리거 정보를 이용하여 상향 전송되며, 이때의 트리거 정보는 UL OFDMA 과정에서의 TF와 같은 역할을 한다. DL OFDMA 전송을 수행한 AP 단말은 기존 IEEE 802.11 시스템에서 BAR 프레임을 통해 수신 단말에게 BA 프레임을 요청하는 것과 유사한 형태로 다중 사용자 BAR (MU-BAR; multi user block ack request) 프레임을 통해 수신 단말들에게 UL OFDMA 형태로 전송되는 BA 프레임을 요청할 수 있다. MU-BAR 프레임은 UL OFDMA 형태의 BA 프레임을 요청해야 하므로 그 구조가 TF 프레임에서 유래한 형태로 구성된다. MU-BAR는 UL OFDMA를 위한 기존 TF 프레임의 정보의 일부와 각 수신 단말에 대한 BA 제어 정보가 추가된 형태로, 각 수신 단말들은 이 정보에 기반하여 BA 프레임을 OFDMA 형태로 상향 전송할 수 있다.

2-3 IEEE 802.11ax OFDMA 기반 GCR BA 기법

IEEE 802.11aa에서 정의하는 GCR BA 기법은 IEEE 802.11ax에서 정의하는 OFDMA 기법을 통해서 BAR과 BA의 교환에 필요한 채널 점유 시간을 획기적으로 줄일 수 있으며, 그림 3에 보여진 바와 같이 현재 IEEE802.11ax에서는 이를 위한 MU-BAR와 OFDMA BA를 통한 기법을 정의하고 있다. 기존 GCR BA과정에서 복수의 수신 단말들의 수신 확인 정보를 여러번의 BAR 프레임과 BA 프레임의 교환을 수행 하던 것과 달리 OFDMA 기반 GCR BA 기법에서는 1회의 MU-BAR 프레임과 OFDMA BA 프레임의 교환을 통해 GCR BA 정보를 수집할 수 있으며, 이는 GCR BA의 단점인 상대적으로 긴 채널 점유 시간을 획기적으로 줄여줄 수 있다는 장점이 있다.

그러나 OFDMA 기반 GCR BA 기법에서도 여전히 AP 단말이 MU-BAR 프레임에서 지정한 단말들만이 스스로의 수신 정보를 전송할 수 있다는 단점이 있어서, 실제로 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 프레임을 수신하지 못한 단말을 AP 단말이 MU-BAR 프레임에 스케줄링하지 않은 경우에는 실제로 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 프레임이 제대로 수신되지 않았음에도 실제로 재전송이나 MCS 제어가 발생하지 않을 수 있다는 문제점은 여전히 존재한다.

2-4 제안하는 GCR BA 기법을 개선하는 동시 전송 NAK 기법

본 논문에서는 IEEE 802.11ax 표준에서 논의되고 있는 OFDMA 기반 GCR BA 기법에서 더욱 나아가 멀티캐스트 및 브로드캐스트 기법의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 동시 전송 NAK (Simultaneous NAK, S-NAK)기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법의 기본 아이디어는 IEEE 802.11ax 표준에 제출되어 기본적인 논의가 이루어졌다[15].

멀티캐스트 및 브로드캐스트의 성능 척도로 주로 이용되는 프레임 전달 비율은 주로 주어진 제약 시간 안에 발생하는 여러 차례의 재전송의 수행을 통해서 향상될 수 있다. 그러나 잦은 재전송과 그를 위한 채널 접근은 경쟁 기반 무선 통신 시스템의 전체 성능을 하락시키는 요인이 될 수 있으므로, 효과적으로 수신 상황을 파악하고 불필요한 재전송 없이 효율적인 재전송을 수행하는 것이 GCR BA 기법 성능 향상에 있어 가장 중요한 요소라 볼 수 있다.

기존 GCR BA 기법에서는 멀티캐스트 및 브로드캐스트 프레임을 온전히 수신하지 못한 단말이 MU-BAR 혹은 BAR에 의해서 BA 프레임을 보내도록 요청받지 못할 경우에 실제로 프레임을 제대로 받지 못하였음에도 이러한 정보를 데이터 송신 단말에게 전달할 수 없어서 프레임 전달 비율을 하락시키는 원인이 된다. 즉, 멀티캐스트 및 브로드캐스트 전송 상황에서 높은 프레임 전달 비율을 성취하기 위해서는 수신 단말들이 제대로 데이터를 받았다는 의미의 정보 이상으로 실제로 일부 혹은 전체 프레임을 제대로 전달받지 못했음을 송신 단말에게 전달하는 것이 중요하다.

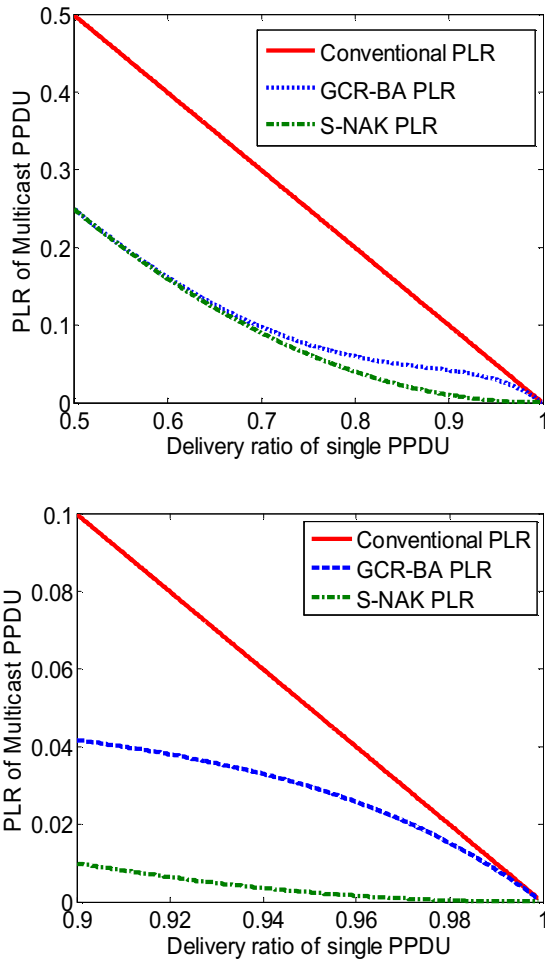


그림 5. 멀티캐스트 기법별 손실 확률 비교 (N=100, k=9)
 Fig. 5. Multicast PLR vs single PPDU delivery ratio.

본 논문이 제안하는 기법에서는 AP 단말이 MU-BAR 프레임 전송할 때에 하나 이상의 RU에 대해서 지정된 단말에 의한 BA를 전송하도록 지시하는 대신 MU-BAR에 앞서 송신한 일부 혹은 전체 프레임을 제대로 수신하지 못할 경우 NAK 프레임을 전송할 수 있도록 지시함으로써, 해당 RU를 S-NAK을 위한 공통(Common) RU로 설정한다. 공통 RU로 지시된 RU를 통해서 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 대상 그룹인 단말들이 앞선 프레임들 중 일부 혹은 전체를 제대로 수신하지 못한 경우 미리 정해진 형식의 NAK 프레임을 송신함으로써 해당 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹 중의 하나 이상의 단말이 제대로 수신하지 못한 프레임이 있음을 AP에게 알린다. 이때에 전송되는 NAK 프레임은 복수의 단말들에 의해 전송되는 프레임이라 하더라도 동일한 내용과 부호화과정을 통해 파형이 동일한 신호로 구성되어 있으므로 충돌 없이 AP 단말에 의해 디코딩 될 수 있는 형태로 전송된다. 이러한 동시전송 NAK 프레임은 IEEE 802.11ax 표준에서 논의되고 있는 동시전송 CTS 프레임과 같은 방법으로 송수신 된다. 공통 RU를 통해 NAK 프레

임을 수신한 AP 단말은 MU-BAR 프레임에서 지정하지 않은 단말들 중에 하나 이상의 단말들이 앞선 프레임을 제대로 수신하지 못했음을 인지할 수 있으므로 추가적인 MU-BAR 프레임을 보내서 추가적인 BA를 수신하여 추가적인 수신 정보를 수집하거나, 수집한 BA 정보와 함께 고려되어 즉각적으로 재전송을 시행할 수도 있다.

그림4에서와 같이 본 논문이 제안하는 기법은 TF의 변종인 MU-BAR 프레임에서 일부의 RU를 공통 RU로 설정하여 그에 대해서는 S-NAK을 수신할 수 있도록 한다. 앞서의 OFDMA GCR BA 기법을 사용할 때에는 실제로 패킷에러가 있어도 BA 프레임을 전송할 수 없었던 단말들이 공통 RU를 통해 NAK 프레임을 전송하게 되면, AP단말은 적절한 채널 접근 절차를 통해 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 PPDU를 재전송 하게 된다.

III. 차세대 무선랜 멀티캐스팅 수학 모델링 분석

본 논문에서는 OFDMA GCR BA와 제안하는 S-NAK 기법에 대해서 k 개의 RU를 사용해서 BA 프레임을 MU-BAR가 트리거하는 상황을 상정하였으며, 전체 그룹 단말 수는 N 개, 최대 재전송 횟수는 $R-1$ 번으로 설정하여 동일한 멀티캐스트 혹은 브로드 캐스트 프레임은 최대 R 번까지 전송 될 수 있게 하였다. 멀티캐스트 및 브로드캐스트 환경의 특성을 고려하여, 단말수 N 은 RU의 개수인 k 에 비해서 $N > kR$ 인 형태로 상대적으로 충분히 큰 값을 가진다고 상정하였다. MU-BAR 프레임은 k 명에 대한 1회 전송만을 가정하여, 동일한 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 전송에 대해서 여러 번의 MU-BAR는 보내지 않는 것으로 가정하였다. 또한, AP가 NAK을 검출하거나 BA 정보로부터 제대로 수신되지 않은 프레임이 있음을 알게 되었을 때는 무조건 재전송을 수행하도록 설계하였으며, 이는 R 번의 재전송 횟수 내에서 유효하다. 마지막 R 번째 재전송 이후에는 BA정보에 의한 추가 동작이 발생하지 않으므로 MU-BAR 프레임은 마지막 재전송에 대해서는 보내지 않는다.

본 논문에서 OFDMA GCR BA 기법과 S-NAK 기법에 대해서 각 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 프레임을 다시 재전송하는 확률은 단말 i 가 프레임을 제대로 수신하지 못하였을 때의 확률 p_i 에 대하여, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P\{ReTx_{GCR}\} = 1 - \prod_{i \in BAgroup} (1 - p_i) \tag{1}$$

$$P\{ReTx_{S-NAK}\} = 1 - \prod_{i \in N} (1 - p_i) \tag{2}$$

즉, OFDMA GCR BA 기법의 경우는 MU-BAR 프레임이 설정한 그룹에 대해서만 재전송 확률이 영향을 받으며, S-NAK 기법의 경우는 전체 그룹 단말 N 에 대해서 재전송 확률이 영향을 받는다. 이때에 MU-BAR 프레임 혹은 그 응답인 BA 및 S-NAK 프레임은 낮은 MCS 수준과 짧은 프레임 길이 등으로 인해 상

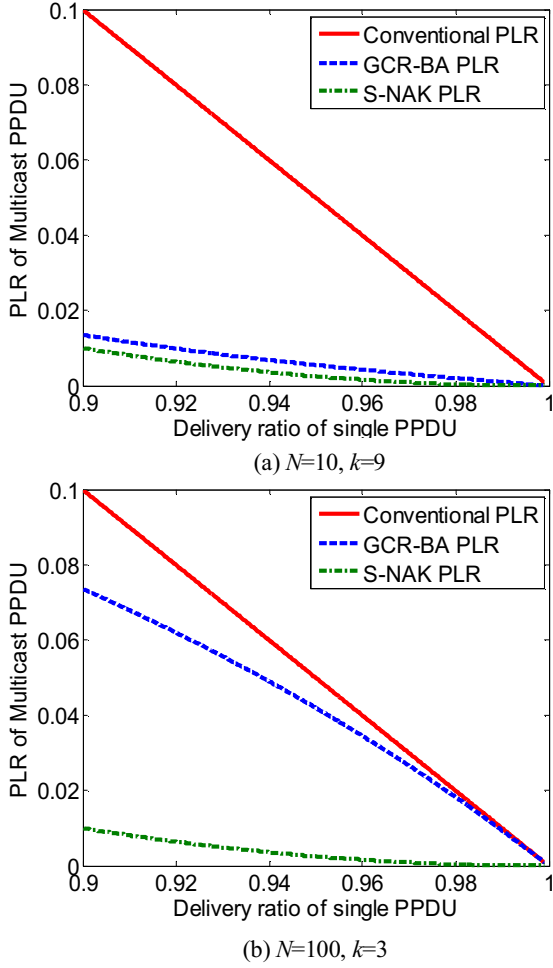


그림 6. 멀티캐스트 기법별 손실 확률 비교
 Fig. 6. Multicast PLR vs single PPDU delivery ratio.

대적으로 강인한 제어 신호 형태로 부호화되므로 이들 제어 프레임은 항상 제대로 전달된다고 가정하였다.

OFDMA GCR BA 기법의 경우에 MU-BAR에 의해 한번이라도 BA를 보내도록 요청받은 단말의 경우, 온전히 프레임을 수신하였다는 BA를 전송할 때까지는 AP가 계속 MU-BAR에 스케줄링해 줄 필요가 있다. 본 논문에서도 이를 고려하여 항상 이전에 MU-BAR에 의해서 NAK 정보를 가진 BA를 수신하였을 경우, 항상 다음번 재전송에 이은 MU-BAR에도 스케줄링하여 수신 여부를 피드백 받도록 하였다. 단말 i 가 전체 N 개의 단말 중에서 k 개의 RU에 스케줄링 되는 경우는 최대 R 번의 전송 한도 내에서 단말 i 가 제대로 프레임을 수신하지 못하였을 경우 얼마든지 재전송을 요구할 수 있으며, k 개의 RU에 스케줄링 되지 못하는 경우는 재전송 여부는 전적으로 다른 단말들의 수신 여부에 의존하게 된다. 따라서 단말 i 에 대한 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 손실 확률은 아래와 같이 표현된다.

$$P_{GCR} = \frac{k}{N} p_i^R + \frac{N-k}{N} \left(p_i \prod_{\substack{j \in BAgroup_1 \\ i \notin BAgroup_1}}^k (1-p_j) + (1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_1 \\ i \notin BAgroup_1}}^k (1-p_j)) \left(\frac{k}{N-k} p_i^R + \frac{N-2k}{N-k} \left(p_i \prod_{\substack{j \in BAgroup_2 \\ i \notin BAgroup_2}}^k (1-p_j) + (1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_2 \\ i \notin BAgroup_2}}^k (1-p_j)) \dots \right) \right) \right) \quad (3)$$

수식 (3)에 대해서 r 번째 재전송을 위한 수신 여부 확인을 수행하는 $group_r$ 에 대해서 아래와 같이 재표현할 수 있다.

$$A_r = p_i \prod_{\substack{j \in BAgroup_r \\ i \notin BAgroup_r}}^k (1-p_j) \quad (4)$$

$$B_r = (1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_r \\ i \notin BAgroup_r}}^k (1-p_j)) \quad (5)$$

식 (3), (4)과 (5)로부터

$$P_{GCR} = \frac{k}{N} p_i^R + \frac{N-k}{N} (A_1 + B_1 \left(\frac{k}{N-k} p_i^R + \frac{N-2k}{N-k} (A_2 + B_2 \dots \right) \quad (6)$$

$B_0=1$ 이라고 설정 할 경우,

$$P_{GCR} = \frac{k}{N} p_i^R (1 + B_1 + \dots + B_1 B_2 B_3 \dots B_{R-2}) + \frac{1}{N} ((N-k) A_1 + B_1 (N-2k) A_2 + B_1 B_2 (N-3k) + B_1 B_2 B_3 \dots B_{R-2} (N - (R-1)k) A_{k-1}) + \frac{N - (R-1)k}{N} p_i^R (B_1 B_2 B_3 \dots B_{R-1}) = \frac{k}{N} p_i^R \sum_{r=0}^{R-2} \prod_{m=0}^r B_m + \frac{1}{N} \sum_{r=1}^{R-1} \left(\prod_{m=0}^{r-1} B_m \right) A_r (N - rk) + \frac{N - (R-1)k}{N} p_i^R \prod_{m=0}^{R-1} B_m \quad (7)$$

식 (4), (5)와 (7)로부터

$$\begin{aligned}
 P_{GCR} &= \frac{k}{N} p_i^R \sum_{r=0}^{R-2} \prod_{m=0}^r \left(1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_m \\ i \in BAgroup_m}}^k (1-p_j)\right) \\
 &+ \frac{1}{N} \sum_{r=1}^{R-1} \left(\prod_{m=0}^{r-1} \left(1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_m \\ i \in BAgroup_m}}^k (1-p_j)\right) \right) \\
 &\left(p_i \prod_{\substack{j \in BAgroup_m \\ i \in BAgroup_m}}^k (1-p_j) \right) (N-rk) \\
 &+ \frac{N-(R-1)k}{N} p_i^R \\
 &\prod_{m=0}^{R-1} \left(1 - \prod_{\substack{j \in BAgroup_m \\ i \in BAgroup_m}}^k (1-p_j)\right)
 \end{aligned} \tag{8}$$

OFDMA GCR BA의 경우, 단말 i 에 대해서 위의 (8)과 같은 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 손실 확률을 가지게 된다. 시스템 전체의 손실 확률의 경우는 단말 N 에 대해서 아래와 같이 표현 된다.

$$P_{GCR_{sys}} = \frac{\sum_{i \in N} P_{GCR}}{N} \tag{9}$$

따라서 N 개의 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹 단말들에 대한 OFDMA GCR BA 기법의 시스템 평균 손실 확률은 (8)과 (9)로부터 산출 될 수 있다.

S-NAK 기법의 경우 각 단말의 입장에서 단말이 제대로 신호를 수신하지 못하는 경우, 항상 공통 RU를 통한 NAK을 전송할 수 있게 된다. 이는 S-NAK 기법의 경우, 최대 R 번의 피드백 기회가 항상 보장되어 있음을 의미하기 때문에 단말 i 의 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 손실 확률은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$P_{S-NAK} = p_i^R \tag{10}$$

따라서 N 개의 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹 단말들에 대한 S-NAK 기법의 시스템 평균 손실 확률은 아래와 같다.

$$P_{S-NAK_{sys}} = \frac{\sum_{i \in N} P_{S-NAK}}{N} = \frac{\sum_{i \in N} p_i^R}{N} \tag{11}$$

IV. 성능 분석

이번 장에서는 II장에서 유도한 수식을 바탕으로 제안하는 S-NAK기법과 OFDMA GCR BA에 대한 성능분석을 실시한다.

그림5는 동일한 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 상황에서 하

나의 단말이 기존 피드백 없는 멀티캐스트 방법, OFDMA GCR BA 방법, S-NAK기법을 사용할 때에 멀티캐스트 PPDU 전송의 전달 확률에 따른 실제 멀티캐스트 PPDU 손실 확률을 나타내고 있다. 그림5의 상황에서는 1회의 재전송을 허용하고 있으며, 이는 앞서의 수식들에서 $R=2$ 인 상황을 의미한다. 또한 전체 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 단말의 수는 $N=100$ 인 경우이며, Delivery ratio는 각 단말들이 동일한 경우를 가정하였다.

먼저 OFDMA GCR-BA의 경우, $R=2$ 이고 $N=100$ 인 경우에 대해서 아래의 수식이 성립한다.

$$\begin{aligned}
 P_{GCR} &= \frac{9}{100} p_i^2 + \frac{91}{100} \left[p_i \prod_{j \in BAgroup}^9 (1-p_j) \right. \\
 &\left. + p_i^2 \left(1 - \prod_{j \in BAgroup}^9 (1-p_j)\right) \right]
 \end{aligned} \tag{12}$$

이 때에 성능 분석의 용의함을 위하여 모든 단말들의 프레임 손실 확률이 동일한 확률분포를 가진다고 가정할 경우 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 그룹에 속한 임의의 단말 i 와 단말 j 에 대하여 아래와 같은 관계가 성립한다.

$$p_i = p_j = p \quad (i, j \in N) \tag{13}$$

(9), (11)과 (12)로부터 아래의 수식이 도출된다.

$$\begin{aligned}
 P_{GCR} &= \frac{9}{100} p^2 + \frac{91}{100} [p(1-p)^9 + p^2(1-(1-p)^9)]
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$P_{S-NAK} = p^2 \tag{15}$$

그림5는 (14)과 (15)를 통해 도출된 멀티캐스트 및 브로드캐스트 프레임의 전달 손실확률을 나타낸 것으로 그림5의 아래쪽은 그래프는 특히 멀티미디어 전송환경으로 상정되는 좋은 채널 환경 및 낮은 목적 프레임 손실 확률에서의 각 기법에 따른 성능 차이를 나타내고 있다. 그림6은 멀티캐스트 및 브로드캐스트 그룹의 크기를 의미하는 N 과 가용한 RU의 수인 k 를 달리 하여 얻어낸 결과로 N 의 크기가 k 에 비하여 클수록 OFDMA GCR BA의 효율이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 기법은 전구간에서 기존의 피드백 없는 멀티캐스트 및 브로드캐스트 대비 뛰어난 성능을 보이며, 특히 멀티미디어 멀티캐스트 및 브로드캐스트 서비스와 같은 낮은 프레임 손실율을 요구하면서도 상대적으로 멀티캐스트 및 브로드캐스트 전송이 필요한 대량의 전송 목적 단말이 있는 환경에서 매우 뛰어난 성능을 보이는 것으로 나타난다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11aa에서 처음 논의되어 IEEE 802.11ax에서 추가적으로 기능을 발전시키고 있는 멀티캐스트 및 브로드캐스트 성능향상 기법을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 멀티캐스트 및 브로드캐스트 그룹단말들이 온전히 프레임 수신받지 못하였을 때에 사용할 수 있는 공통 RU와 그 공통 RU를 통해 S-NAK을 보내도록 하여, 멀티캐스트 그룹의 일부 혹은 전체에 대해서 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트 전송이 제대로 이루어지지 않았음을 AP에게 알리도록 하였다. 또한 본 논문에서는 제안하는 기법을 포함한 IEEE 802.11ax에서 논의되고 있는 기법들에 대해서 수학적 모델링과 그에 기반한 성능 분석을 제공하였다. 본 논문의 분석 결과에 따르면 피드백 기반의 멀티캐스트 및 브로드캐스트 기법은 시스템 성능을 크게 개선할 수 있으며, 제안하는 기법은 특히 그 성능 개선 효율이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] IEEE, "IEEE standard for local and metropolitan area networks - part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE 802.11," Mar. 2012.

[2] IEEE, "IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) - resource manager, IEEE 1609.1," Oct. 2006.

[3] IEEE, "IEEE standard for wireless access in vehicular environments - security services for applications and management messages, IEEE 1609.2," Apr. 2013.

[4] IEEE, "IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) - networking services, IEEE 1609.3," Dec. 2010.

[5] IEEE, "IEEE standard for wireless access in vehicular

environments (WAVE) - multi-channel operation, IEEE 1609.4," Feb. 2011.

[6] IEEE, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 6: wireless access in vehicular environments, IEEE 802.11p," July. 2010.

[7] B. Cho, S. Ryu, K. Kim, and R. Y. Kim, "WAVE packet transmission method for railroad wave communication," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 10, pp. 6604-6610, Oct. 2015.

[8] G. Park, and J. Lee, "Analysis of the problems in (SMRT) L-CTC and derivation of measures," in *2008 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Gwangju: Korea, pp 1204-1212, Nov. 2008.

[9] R. Y. Kim, "Reliable wave communication for railroad applications," *International Organization of Scientific Research Journal of Engineering*, Vol. 06, No. 1, pp 58-63, Jan. 2016.

[10] R. Stacey, Proposed Draft Specification, IEEE802.11 TGax, Piscataway: NJ, 16/24r1, pp1-159, Mar. 2016.

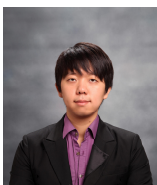
[11] IEEE, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 2: MAC enhancements for robust audio video streaming, IEEE Std 802.11aa," May. 2012.

[12] B. S. Kim, S. W. Kim, and R. L. Ekl, "OFDMA-based reliable multicasting MAC protocol for WLANs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 57, No. 5, pp 3136-3145, Sept. 2008.

[13] D. Dujovne, and T. Turetli, "Multicast in 802.11 WLANs: an experimental study," in *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems (MSWiM '06)*, Torremolinos: Spain, pp 130-138, Oct. 2006.

[14] S. Merlin, Trigger Frame Format, IEEE 802.11 TGax, Pistacaway: NJ, 15/877r1, pp 1-15, July. 2015.

[15] J. Ahn, W. Ahn, H. Hong, and R. Y. Kim, Simultaneous NAK for MU GCR-BA, IEEE 802.11 TGax, Pistacaway: NJ, 16/345r2, pp 1-19, Mar. 2016.



안진수 (Jinsoo Ahn)

2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
 2010년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 통합과정
 ※관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 사물 인터넷, 이동통신



조 봉 관 (Bong-Kwan Cho)

2011년 2월 : 한양대 학교 전자통신전파공학과 (공학박사)

1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

※관심분야 : 철도통신, 열차제어, 무인경전철



김 용 호 (Ronny Yongho Kim)

2010년 2월 : 연세대 학교 전기전자공학과 (공학박사)

2012년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도전기전자공학과 부교수

※관심분야 : 무선통신네트워크, 사물인터넷, 무선랜, 이동체통신