

논문 2011-48TC-5-3

무선 랜에서 신뢰성 있는 멀티캐스트를 위한 능동적 전송 기반의 성능 향상 방법

(Performance Improvement Scheme based on Proactive Transmission
for Reliable Multicast in Wireless LANs)

김 선 명*, 김 시 관**

(Sunmyeng Kim and Si-Gwan Kim)

요 약

IEEE 802.11 무선 랜은 설치가 쉽고 비용이 적게 들어 무선을 통한 인터넷 서비스 제공에 많이 사용된다. 무선 랜에서 멀티캐스트는 각 수신 단말에게 유니캐스트로 전송하는 방법에 비해 매우 효과적이다. 그러나 IEEE 802.11 무선 랜에서 멀티캐스트 전송은 신뢰성을 제공하지 못한다. 이는 멀티캐스트 데이터가 수신 단말로부터 어떤 피드백도 없이 전송되기 때문이다. 멀티캐스트 전송에 신뢰성을 제공하기 위해 최근에 다양한 프로토콜들이 제안되었다. 그러나 에러 복구 과정에서 많은 제어 패킷의 사용으로 인해 과도한 제어 오버헤드가 발생하고 모든 수신 단말을 만족시키기 위해 많은 재전송이 이루어지기 때문에 여전히 신뢰성과 효율성에 있어 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 간단하고 효과적인 PTRM (Proactive Transmission based Reliable Multicast) 방법을 제안한다. 제안된 방법은 패리티 패킷을 생성하고 수신 단말간 독립적인 패킷 손실의 영향을 줄이기 위해 블록 코드를 이용한다. PTRM 방법은 패리티 패킷을 생성한 후에 수신 단말의 데이터 패킷 에러율을 고려하여 수신 단말이 에러 복구를 위해 필요한 데이터 패킷 수를 계산하고 해당하는 수만큼의 데이터 패킷을 전송한다. 그리고 나서 수신 단말로부터 피드백을 요청한다. 기존 방법은 각 데이터 패킷에 대해 피드백을 요청하지만, 제안된 방법은 여러 데이터 패킷을 전송한 후에 한 번의 피드백을 요청한다. 따라서 과도한 제어 오버헤드를 줄일 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 방법이 매우 효과적임을 알 수 있다.

Abstract

The IEEE 802.11 wireless LAN (Local Area Network) is widely used for wireless access due to its easy deployment and low cost. Multicast in wireless LANs is very useful for transmitting data to multiple receivers compared to unicast to each receiver. In the IEEE 802.11 wireless LAN, multicast transmissions are unreliable since multicast data packets are transmitted without any feedback from receivers. Recently, various protocols have been proposed to enhance the reliability of multicast transmissions. They still have serious problems in reliability and efficiency due to the excessive control overhead by the use of a large number of control packets in the error recovery process, and due to a large number of retransmissions to satisfy all receivers. In this paper, we propose an effective scheme called PTRM (Proactive Transmission based Reliable Multicast). The proposed scheme uses a block erasure code to generate parity packets and to reduce the impact of independent packet error among receivers. After generating parity packets, the PTRM transmits data packets as many as receivers need to recover error, and then requests feedback from them. The simulation results show that the proposed scheme provides reliable multicast while minimizing the feedback overhead.

Keywords : FEC, WLAN, Multicast, Proactive transmission, Reliability

* 정회원-교신저자, ** 정회원, 금오공과대학교 컴퓨터 소프트웨어공학과

(Kumoh National Institute of Technology)

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

접수일자: 2011년1월20일, 수정완료일: 2011년5월17일

I. 서 론

여러 수신 단말에게 데이터를 전송하기 위해서는 각 단말에게 일대일로 전송하는 유니캐스트 방법에 비해

일대다로 전송하는 멀티캐스트 방법이 매우 효과적이다. 멀티캐스트는 모든 수신 단말에게 데이터를 동시에 전송함으로써 네트워크 자원을 절약하고 데이터 배포 시간을 줄일 수 있다. IPTV, 화상 회의, 원격 강의 등과 같은 다양한 응용에서는 더 좋은 서비스 품질을 제공하기 위해 멀티캐스트 전송이 필요하다.

IEEE 802.11 무선 랜은 설치가 쉽고 비용이 적게 들어 무선을 통한 인터넷 서비스 제공에 많이 사용되었다. IEEE 802.11 표준은 여러 수신 단말간 채널 공유를 위해 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 정의하였다^[1]. 표준에서 경쟁기반 채널 접근을 위해 DCF(Distributed Coordination Function)이 설계되었다. DCF는 두 가지의 전송 모드를 가지고 있다. 두 단계(DATA-ACK)의 교환 과정을 갖는 기본 방법과 네 단계(RTS-CTS-DATA-ACK)의 교환 과정을 갖는 RTS/CTS(Request To Send/Clear To Send) 방법이다. DCF에서 무선 채널에 대한 접근은 패킷 전송간에 IFS(Interframe Space)에 의해 제어된다. 표준에는 세 가지의 IFS가 정의되었다: SIFS(Short IFS), PIFS(Point coordination function IFS), DIFS(DCF IFS). 매체에서의 충돌은 이진 지수 백오프(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 사용하여 해결한다. RTS/CTS/ACK 패킷과 이진 지수 백오프는 유니캐스트 전송에서만 사용된다. 반면에 멀티캐스트 전송에서는 이러한 방법 없이 데이터 패킷이 전송된다. 수신 단말로부터 ACK와 같은 피드백이 전혀 없기 때문에 전송 단말은 전송한 데이터 패킷을 수신 단말이 에러 없이 잘 받았는지 여부를 알 수 없다. 이러한 피드백 과정이 없기 때문에 IEEE 802.11 DCF는 멀티캐스트 전송에서 데이터 패킷에 대해 에러 복구를 지원하지 않고 신뢰성 또한 보장하지 못한다^[2~3].

멀티캐스트 전송의 신뢰성을 보장하기 위해 많은 프로토콜이 제안되었다^[4~10]. 이 프로토콜들은 크게 두 종류로 나뉜다: 리더 기반 방법^[4~5], ACK 기반 방법^[6~8]. 리더 기반 프로토콜에서 전송 단말은 리더 단말로부터 ACK가 없을 경우에만 데이터 패킷을 재전송한다. ACK 기반 방법에서 전송 단말은 모든 수신 단말로부터 ACK를 수신할 때까지 계속적으로 데이터 패킷을 재전송한다. 이러한 방법들은 다음과 같은 이유로 인해 신뢰성과 효율성에 있어 여전히 문제점을 가지고 있다^[10]. 기존 방법들은 에러 복구 과정에서 무수히 많은 제어 패킷을 사용하기 때문에 과도한 제어 오버헤드를 야

기한다. 또한 전송 단말은 수신 단말에게 같은 데이터 패킷을 여러 번 전송할 수도 있다.

많은 기존 방법들은 IEEE 802.11 DCF에서 유니캐스트 전송을 위해 사용되는 ARQ(Automatic Repeat reQuest)에 근거한다. 단순 재전송만 수행하는 ARQ 기반 방법들은 여러 수신 단말간 독립적인 손실 영향을 줄일 수 없다. FEC(Forward Error Correction)가 사용되면 하나의 패리티 패킷으로 다른 데이터 패킷을 손실한 여러 수신 단말을 만족시킬 수 있어 독립적인 손실 영향을 줄일 수 있다^[11~12]. 따라서 FEC의 사용은 멀티캐스트 전송에서 매우 효율적이다^[13~14].

피드백 오버헤드를 줄이고 신뢰성 있는 멀티캐스트를 위해 간단하고 효율적인 PTRM(Proactive Transmission based Reliable Multicast) 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 FEC와 ARQ 두 가지를 결합한 형태이다. PTRM에서 FEC를 위해 (n, k) 로 표현되는 블록 코드를 사용한다. 블록 코드에서 스트림을 k 개의 정보 패킷으로 구성된 여러 개의 블록으로 나눈다. 그리고 블록 인코딩 방법을 적용하여 $n(n > k)$ 개의 패킷으로 인코딩된다^[11~12]. 즉, 무선 채널에서의 패킷 손실을 허용하기 위해 $n-k$ 개의 패리티 패킷을 생성하고 블록에 추가한다. 수신 단말은 n 개의 패킷 중 서로 다른 k 개의 패킷을 에러 없이 수신하면 원래의 정보 패킷을 복구할 수 있다. 이렇게 생성된 데이터 패킷을 기존 방법처럼 모든 데이터 패킷에 대해 DATA-ACK 교환 과정을 이용한다면 여전히 과도한 오버헤드가 발생할 것이다. 따라서 본 논문에서는 각 데이터 패킷에 대해 수신 단말로부터 피드백을 요구하는 기존 방법과 달리 여러 개의 데이터 패킷을 전송한 후에 한 번의 피드백을 요구하는 능동적 전송 방법을 이용한다. 이 방법에서 각 수신 단말의 패킷 에러율 정보를 이용하여 모든 수신 단말이 k 개의 정보 패킷을 복구하기 위해 필요한 총 데이터 패킷 수를 계산하고 해당하는 수만큼의 패킷들을 수신 단말들에게 전송한다. 여러 패킷에 대해 한 번의 ACK를 수신함으로써 피드백 과정을 최소화한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구를 기술하고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 PTRM 방법에 대해 설명한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석은 IV장에서 이루어지고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 장에서는 IEEE 802.11 DCF에서 멀티캐스트 통신의 신뢰성 및 효율성을 향상시키기 위해 기존에 제안된 여러 방법들에 대해 기술한다.

Kuri는 LBP (Leader Based Protocol) 방법을 제안하였다^[4]. LBP 방법에서 수신 단말 중 임의의 한 단말을 리더로 선정한다. 리더 단말은 RTS에 대해 CTS를 전송하고 데이터 패킷에 대해 ACK를 전송하는 역할을 담당한다. 이 방법에서 AP가 전송할 데이터가 있으면 수신 단말에게 RTS를 전송한다. RTS를 에러 없이 수신한 리더 단말은 CTS를 전송하고 에러로 수신한 경우에는 아무것도 전송하지 않는다. 비리더 (Non leader) 수신 단말은 RTS를 에러로 수신한 경우에만 NCTS (Not CTS)를 전송하고 에러 없이 수신하면 아무것도 전송하지 않는다. 비리더 수신 단말이 전송한 NCTS는 리더 단말이 전송한 CTS와 충돌이 발생하여 AP는 에러로 수신하게 되어 RTS 재전송 과정을 반복 수행한다. 비리더 단말이 NCTS를 전송하지 않고 리더 단말은 CTS를 전송할 경우에는 AP가 CTS를 수신하게 되어 데이터 패킷을 수신 단말에게 전송한다. 데이터 패킷에 대한 응답도 RTS에 대한 응답과 비슷하게 동작한다. 리더 단말은 데이터를 에러 없이 수신하면 ACK를 전송하고 에러로 수신하면 아무것도 전송하지 않는다. 비리더 단말은 에러 없이 수신하면 아무것도 전송하지 않고 에러로 수신한 경우에만 NACK를 전송한다. NACK와 ACK가 충돌하면 AP는 에러로 수신하게 되어 재전송 과정을 수행한다. AP가 리더 단말이 전송한 ACK를 에러 없이 수신한 경우에만 현 데이터 패킷 전송을 완료하고 다음 데이터 패킷을 전송한다.

LBP는 채널 에러가 높을 경우 수신한 패킷에 대해 수신 단말이 순서 번호를 확인할 수가 없어 성능이 매우 낮아지는 문제점이 있다. 이 문제점을 향상시키기 위해 BLBP (Beacon-driven Leader Based Protocol)가 제안되었다^[5]. BLBP에는 비콘이라는 특별한 형태의 패킷 하나를 추가하였다. 비콘에는 다음에 전송되는 데이터의 순서 번호를 포함하고 있다. 이 순서번호를 통해 수신 단말들은 다음에 전송되는 데이터 패킷의 순서를 알 수 있다. 이 프로토콜의 기본적인 전송과정은 RTS-CTS-Beacon-DATA-ACK이다. AP는 전송할 데이터 패킷이 있으면 리더 단말에게 유니캐스트로 RTS를 전송하고 리더는 RTS를 에러 없이 수신한 경우에만

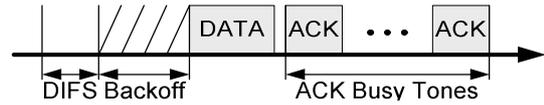


그림 1. BARQ 프로토콜의 동작 원리

Fig. 1. Operation of BARQ protocol.

CTS를 전송한다. AP는 CTS를 수신한 후에 비콘과 데이터 패킷을 전송한다. 이후 과정은 LBP 동작과 같다.

Tang은 Ad-Hoc 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티캐스트를 지원하기 위해 BMW (Broadcast Medium Window) 프로토콜을 제안하였다^[6]. BMW 프로토콜은 각 수신 단말에게 유니캐스트로 전송하는 방법이다. AP는 각 수신 단말로부터 ACK를 수신할 때까지 계속적으로 데이터 패킷을 재전송함으로써 신뢰성을 제공한다. 이 방법은 수신 단말 수만큼의 경쟁 과정을 수행해야 하기 때문에 비효율적이다. BMW 프로토콜의 효율성을 향상시키기 위해 BMMM (Batch Mode Multicast MAC) 프로토콜이 제안되었다^[7]. AP는 전송할 데이터가 있을 때 각 수신 단말에게 RTS를 전송하고 CTS 응답을 기다린다. RTS/CTS 과정 이후에 데이터 패킷을 전송한다. 이후에 ACK 요청을 위한 RAK(Request for ACK)라는 특별한 패킷을 각 수신 단말에게 전송한다. 각 수신 단말은 ACK를 전송한다. BMMM 방법은 BMW에 비해 데이터 패킷 전송 시간이 짧아지는 장점이 있지만 수신 단말 수만큼의 RTS/CTS과 RAK/ACK 교환 과정으로 인해 오버헤드가 커지는 단점이 있다.

과도한 제어 오버헤드를 줄이기 위해 BARQ (Broadcast ARQ) 방법이 제안되었다^[8]. 이 방법에서는 RTS/CTS 교환 과정에 대해서는 정의하지 않고 DATA/ACK 전송 과정에 대해서만 제안하였다 (그림 1 참고). BARQ 방법은 피드백 시간을 줄이기 위해 ACK 패킷 대신에 하나의 슬롯 시간 길이의 비지톤을 사용하고 각 수신 단말이 ACK 비지톤을 언제 전송해야 하는지 스케줄링하여 데이터 패킷에 (수신 단말 주소, ACK 비지톤 전송시간) 정보를 포함하여 전송한다 (그림 2 참고). 그림 2에 보인 것처럼 몇 개의 수신 단말이 있는지를 필드 n 을 통해 나타내고 각 수신 단말이 ACK 비지톤을 언제 전송해야할지 타임 유닛 단위로 할당한다. 여기에서 타임 유닛은 ACK 비지톤 전송을 위한 하나의 타임 슬롯과 가드(Guard) 시간을 위한 하나의 타임 슬롯으로 구성된다. 즉, 두 개의 타임 슬롯 시간이다. 여기에서 수신 단말 i 는 i 번째 타임 유닛 시간에 ACK 비지톤을 전송한다. 모든 수신 단말로부터

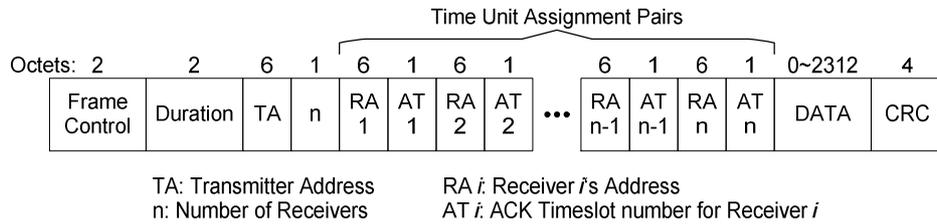


그림 2. BARQ 프로토콜의 데이터 패킷 포맷
 Fig. 2. Data packet format in BARQ.

ACK 비지톤을 수신하지 않으며 데이터 패킷을 재전송한다. 재전송할 때는 ACK 비지톤을 수신하지 못한 수신 단말에 대해서만 ACK 비지톤 전송 시간을 스케줄링하여 데이터 패킷을 전송한다.

BARQ의 단점은 다음과 같다. 비록 ACK 패킷에 비해 짧은 비지톤을 사용하지만 각 데이터 패킷에 대해 모든 수신 단말로부터 ACK 비지톤을 수신해야하기 때문에 여전히 제어 오버헤드가 크고 긴 패킷 전송 지연을 유발할 수 있다. 또한 수신 단말이 많은 멀티캐스트 그룹에서는 잘 동작하지 않는다. 이는 그림 2에서 보인 것처럼 타임 유닛 할당을 위해 각 수신 단말 당 7바이트(단말 주소: 6바이트, 타임 유닛: 1바이트)가 필요하기 때문이다. 예로, 400개의 수신 단말이 있다면 타임 유닛을 위해 총 2800바이트(=400*7)가 필요하다. 이는 MAC 패킷의 한계치를 초과하게 되어 전송 자체가 불가능하다. 200개의 수신 단말이 있다면 1400바이트가 필요하게 되어 MAC 패킷의 한계치 중에 이 부분을 뺀 나머지로만 데이터 부분을 전송해야 하므로 데이터 패킷을 분할해서 전송해야만 한다. 이는 큰 지연 및 성능 저하를 초래하게 된다.

III. PTRM 방법

무선 랜에서 신뢰성 있는 멀티캐스트를 지원하기 위해서는 I 장에서 기술한 두 가지 중요한 문제점을 해결해야한다: (1) 과도한 제어 오버헤드 줄이기, (2) 많은 데이터 패킷 재전송 수 줄이기. 본 논문에서 제안하는 PTRM 방법은 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터를 수많은 수신 단말에게 전달하기 위한 하이브리드 FEC+ARQ 프로토콜이다. PTRM 방법에서 FEC는 에러가 발생한 데이터 패킷에 대해 에러 정정을 수행함으로써 데이터 패킷의 재전송 수를 줄이고 수신 단말이 전송하는 피드백을 줄이기 위해서 사용된다. 그리고

ARQ는 이전에 전송한 데이터 패킷으로 에러 정정을 할 수 없는 경우 추가적인 데이터 패킷을 전송하기 위해 사용된다. 데이터 패킷을 전송할 때 수신 단말이 원하는 만큼의 데이터 패킷을 전송하는 방법이 아니라 능동적으로 수신 단말이 한 블록을 복구하기 위해 얼마나 많은 데이터 패킷이 필요한지 먼저 계산하고 이에 해당하는 수만큼의 데이터 패킷을 전송한다. 이에 따라 수신 단말이 재전송을 요청하는 패킷 수가 줄어들 뿐만 아니라 재전송 요청 횟수 자체가 줄어들게 됨으로써 위에서 언급한 두 가지 문제를 해결할 수 있다. 또한 비지톤을 사용하여 각 수신 단말이 언제 피드백 정보를 AP에 전송해야 하는지를 정확하게 알 수 있도록 한다.

1. 패킷 포맷

그림 3은 제안된 PTRM 방법에서 사용되는 패킷들의 포맷을 나타낸다. 이 포맷은 IEEE 802.11 무선 랜에서 사용하는 포맷을 변경한 것이다. 그림 3(a) 데이터 패킷 포맷에서 보인 것처럼 각 수신 단말에 대한 주소 대신에 멀티캐스트 주소 (MA: multicast address)를 사용하도록 하였다. 또한 현재 전송 중인 블록에 대해 블록 순서 번호, 블록 크기, 블록 내 데이터 패킷 순서 번호를 구분하기 위한 각 필드를 추가하였다. 이 필드들이 없으면 전송된 데이터 패킷에 대한 블록 정보를 얻을 수 없어 수신 단말이 블록 디코딩을 하는 것이 불가능하다.

그림 3(b)는 ACK 패킷에 대한 포맷을 보여준다. ACK 패킷에는 NIP (Number of Insufficient Packets) 정보를 포함하고 있다. 이 정보는 각 수신 단말이 블록을 디코딩하기 위해 부족한 패킷 수를 의미한다. 즉, 이 값은 블록 크기(*k*)에서 에러 없이 수신한 데이터 패킷 수를 뺀 값이다. 또한 AP에게 PER (Packet Error Rate) 정보를 전송하기 위해 PER 필드가 있다. 이 필드는 각 수신 단말이 측정한 PER 값을 설정한다. PER

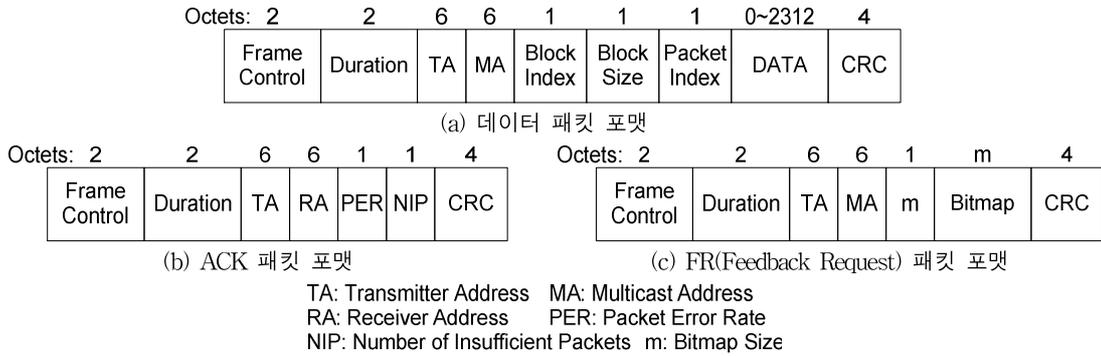


그림 3. PTRM 방법의 패킷 포맷
 Fig. 3. Packet format in PTRM.

값은 [0, 1] 범위의 실수이기 때문에 1바이트로 전송이 불가능하다. 이를 위해 본 논문에서는 PER 값을 양자화한다. 즉, 일정한 구간으로 잘라 그 구간 내에서는 동일한 값으로 간주하는 방법을 취한다. 이를 위해 각 수신 단말이 측정한 PER 값에 255를 곱하고 소수 첫 번째 자리에서 반올림한 후에 정수 부분 값을 취하여 그림 3(b)의 PER 필드에 설정하여 전송한다. 이를 수신한 AP는 PER 필드 값을 255로 나누어 실수의 PER 값을 얻는다. 비록 양자화 과정 중에 일부 손실이 발생할 수도 있지만 이 값이 최대 1/510으로 아주 작기 때문에 큰 영향은 없다.

그림 3(c)는 FR(Feedback Request) 패킷의 포맷을 나타낸다. 이 패킷은 AP가 수신 단말에게 ACK 패킷 전송을 요청하기 위해 사용된다. m 은 비트맵의 크기를 나타낸다. 비트맵은 바이트 단위이므로 현재 멀티캐스트 그룹에 가입한 수신 단말 수 (R)에 대해 8로 나눈 값으로 m 은 설정된다. 즉, $\lceil \frac{R}{8} \rceil$ 이다. $\lceil x \rceil$ 는 x 에 대해 올림을 의미한다. 비트맵은 각 수신 단말에 대해 1비트씩 할당하여 피드백 전송이 필요하면 1로 설정하고 필요하지 않으면 0으로 설정한다.

2. 수신 단말 구분 번호

비트맵을 사용하기 위해서는 각 멀티캐스트 수신 단말을 구분할 수 있는 유일한 번호가 필요하다. 비록 각 수신 단말은 MAC 주소를 가지고 있어 구분이 가능하지만 이 주소는 연속성을 보장하지 못해 비트맵에서 사용하는 것은 매우 비효율적이기 때문에 연속성을 보장할 수 있는 별도의 구분자가 있어야 한다. 본 논문에서는 수신 단말이 멀티캐스트 그룹에 가입할 때 AP가 각 수신 단말에게 1부터 시작하는 번호를 부여하는 방법을

사용하여 연속성을 보장한다. 중간에 탈퇴한 수신 단말로 인해 할당되지 않은 번호가 생길 수 있는데 이를 막기 위해 새로 가입하는 단말은 항상 현재 할당되지 않은 번호 중에서 가장 작은 번호를 할당한다. 새로운 구분 번호를 이용하여 비트맵을 할당한다. 즉, 수신 단말 i 를 위해 비트맵의 i 번째 비트를 사용한다.

3. 동작 원리

본 논문에서는 RTS/CTS 교환 과정에 대해서는 정의하지 않고 DATA/ACK 전송 과정에 대해서만 제안한다. RTS/CTS 교환 과정이 필요하면 기존에 제안된 다양한 방법에서 좋은 것을 선택하여 사용할 수 있다.

AP는 인터넷을 통해 수신한 스트림을 k 개의 정보 패킷으로 구성된 여러 개의 블록으로 나눈다. 그리고 블록 인코딩 방법을 적용하여 $n(n > k)$ 개의 패킷으로 인코딩한다^[11]. 즉, 무선 채널에서의 패킷 손실을 허용하기 위해 $n-k$ 개의 패리티 패킷을 생성하고 블록에 추가한다. 본 논문에서는 특별한 언급이 없는 한 정보 패킷과 패리티 패킷을 구분하지 않고 데이터 패킷이라고 한다. 인코딩 후 그림 3(a)와 같이 데이터 패킷을 구성하고 AP는 블록 단위로 수신 단말에게 패킷을 전송한다.

제안하는 방법은 수신 단말로부터의 피드백을 최소화하기 위해 각 수신 단말의 채널 상태에 따라 실제 정보 패킷 수보다 많은 데이터 패킷을 전송하는 능동적 전송 방법을 사용한다. 정보 패킷 수만큼만 전송하면 수신 단말에 에러가 발생하여 블록을 복구하기 위해서는 추가적인 데이터 패킷 전송이 필요하다. 이를 위해서는 각 수신 단말은 AP에 추가 전송 요청을 하는 피드백을 보내야 한다. 본 논문에서는 이를 최소화하기 위해 데이터 패킷을 전송할 때 각 수신 단말의 데이터 패킷 에러율을 고려하여 필요한 데이터 패킷 수를 계

산하고 이에 해당하는 패킷을 전송한다. 각 수신 단말의 데이터 패킷 에러율은 ACK 패킷의 PER 필드를 통해 얻는다.

AP는 데이터 패킷을 전송하기 위해 각 수신 단말이 전송한 PER 값을 고려하여 전송할 데이터 패킷 수를 계산한다. 수신 단말 i 를 위해 필요한 데이터 패킷 수 (N_i)는 다음과 같다.

$$N_i = \frac{X_i}{P_{err}^i} \quad (1)$$

여기에서 P_{err}^i 와 X_i 는 수신 단말 i 의 PER 값과 블록 복구하기 위해 필요한 패킷 수를 각각 나타낸다. X_i 는 $(k - NIP_i)$ 이며 NIP_i 는 수신 단말 i 가 ACK 패킷을 통해 전송한 NIP 이다. 각 블록의 첫 전송에서는 수신 단말이 블록 크기(k)의 데이터 패킷이 필요하므로 NIP 는 k 다. AP가 실제 전송할 패킷 수는 정수이므로 수식 (1)에서 계산한 N_i 값에 대해 반올림한다.

AP는 각 수신 단말을 위해 필요한 패킷 수를 계산한 후에 다음과 같이 가장 큰 값을 선택하여 데이터 패킷을 전송한다. 모든 수신 단말을 만족시켜야 하므로 가장 큰 값을 사용한다.

$$\max_{i \in R} N_i \quad (2)$$

예로, 두 개의 수신 단말(R1, R2)이 존재하고 각 수신 단말의 PER이 각각 0.1과 0.2인 상황에서 다섯 개의 패킷을 전송해야 할 경우에 AP는 수식 (1)과 (2)를 통해 전송해야 할 패킷 수 6개를 얻고 6개의 패킷을 전송한다. 즉, 다섯 개의 패킷을 수신 단말 R1에게 에러 없이 전송하기 위해서는 평균적으로 $5(\approx 5/(1-0.1))$ 개의 패킷 전송이 필요하다. 수신 단말 R2에게는 $6(\approx 5/(1-0.2))$ 개가 필요하다. 그러므로 AP는 큰 값인 6을 선택하고 6개

의 패킷을 전송한다.

AP는 수신 단말에게 피드백을 요청하기 위해 비지톤 또는 FR 패킷을 전송한다. 이 두 시그널은 능동적 전송 방법에서 마지막 패킷을 전송하고 한 타임 슬롯 시간 후에 전송된다. 비지톤은 한 타임 슬롯 길이를 가지며 모든 수신 단말에게 ACK 패킷을 전송하라는 의미이다. 이에 반해 FR 패킷은 비트맵에 포함된 수신 단말만 ACK 패킷을 전송하라는 의미이다. 일반 피드백 요청 패킷이 아닌 비지톤을 사용하는 이유는 무선 채널에서는 아무리 낮은 전송 속도로 패킷을 전송하더라도 손실 가능성이 있기 때문이다. 요청 패킷이 손실되면 수신 단말은 ACK 패킷을 전송하지 못한다. 이를 막기 위해 본 논문에서는 비지톤을 사용한다. 또한 비지톤이 짧기 때문에 FR 패킷을 사용하는 것보다 채널 사용을 줄일 수 있다. 비지톤을 수신한 수신 단말은 멀티캐스트 그룹에 가입할 때 부여받은 번호 순으로 ACK 패킷을 전송한다. 비지톤과 FR 패킷의 사용 시점은 다음과 같이 다르다. 비지톤은 모든 수신 단말로부터 피드백이 필요할 때 사용되고 FR 패킷은 일부 수신 단말로부터 피드백이 필요할 때 사용된다. 일반적으로 각 블록의 첫 번째 전송 후에는 모든 수신 단말로부터 피드백이 필요하기 때문에 비지톤이 사용되고 두 번째 전송부터는 일부 수신 단말로부터만 피드백이 필요하므로 FR 패킷이 사용된다.

그림 4는 AP와 수신 단말간 블록 전송에 대한 다이어그램을 보여준다. AP는 수식 (1)과 (2)를 통해 얻어진 값을 기반으로 첫 번째 전송에서 필요한 패킷 수(n)를 얻고 이에 해당하는 패킷을 전송한다. n 번째 패킷 전송 후에 AP는 비지톤을 전송한다. 수신 단말 R1은 k 개 이상의 에러 없는 패킷을 수신했기 때문에 추가적인 패킷 전송을 원치 않으므로 NIP 필드를 0으로 설정하

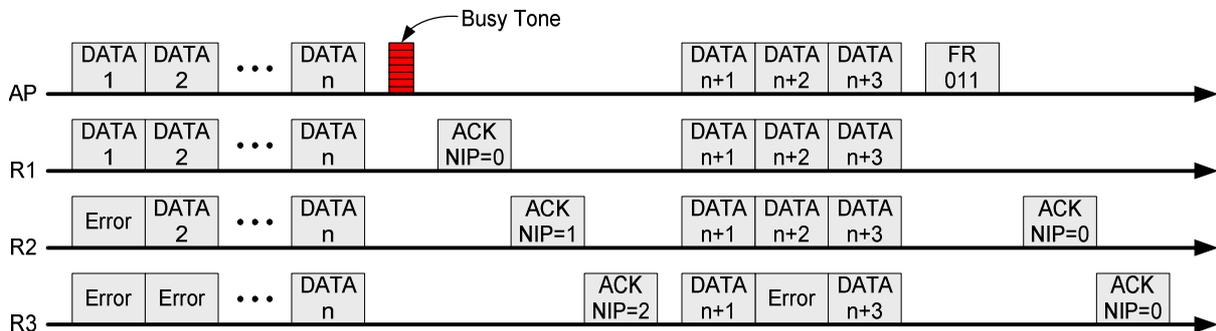


그림 4. 패킷 전송 동작 원리

Fig. 4. Diagram of packet transmission

여 ACK 패킷을 전송한다. 수신 단말 R2는 $k-1$ 개의 에러 없는 패킷을 수신했기 때문에 블락을 복구하기 위해서는 1개의 추가적인 데이터 패킷이 필요하므로 NIP 필드를 1로 설정하여 ACK 패킷을 전송한다. 수신 단말 R3는 2개의 데이터 패킷이 부족하여 NIP를 2로 설정하고 전송한다. AP는 ACK 패킷을 수신 단말로부터 수신한 후에 수식 (1)과 (2)를 통해 계산된 수(이 예제에서는 3이라 가정함)만큼 데이터 패킷을 전송한다. 추가적인 3개의 패킷을 전송한 후에 AP는 FR 패킷을 수신 단말에게 전송한다. FR 패킷에는 각 수신 단말에 대한 피드백 요청 여부의 정보를 갖는 비트맵이 포함되어 있다. 수신 단말 R1은 첫 번째 전송에서 블락을 복구하였으므로 더 이상의 피드백이 필요 없어 비트맵의 첫 번째 위치에 0으로 설정하였고 수신 단말 R2와 R3는 피드백이 필요하므로 두 번째와 세 번째 위치에 1로 설정하였다. 각 수신 단말은 FR 패킷을 수신한 후 비트맵에 1로 설정된 경우에만 순서에 맞게 ACK 패킷을 전송한다. 각 수신 단말의 전송 시간은 ACK 패킷을 전송하는데 필요한 시간(T)에 대해 자신보다 앞 번호를 갖는 수신 단말 중에 비트맵이 1로 설정된 수(r)를 곱하여 결정한다. 즉, 수신 단말 R2는 비트맵에 1로 설정된 앞 번호 수신 단말이 없으므로 $0 \times T$ 시간에 ACK 패킷을 전송하고 수신 단말 R3는 1로 설정된 앞 번호 수신 단말이 하나 있으므로 $1 \times T$ 시간에 ACK 패킷을 전송한다. AP로부터 FR 패킷을 수신한 후에 수신 단말 R2와 R3는 k 개 이상의 에러 없는 패킷을 수신했기 때문에 추가적인 패킷 전송을 원치 않으므로 NIP 필드를 0으로 설정하여 ACK 패킷을 전송한다. AP는 모든 수신 단말로부터 NIP가 0으로 설정된 ACK 패킷을 수신하면 현 블락의 전송을 끝내고 다음 블락의 전송을 시작한다.

제안하는 방법이 잘 동작하기 위해서는 비지톤을 일반 패킷과 구분할 수 있어야 한다. 이를 위해 전송 시간을 이용한다. 모든 패킷은 $20\mu s$ 의 물리계층 프리앰블과 헤더를 갖기 때문에 패킷 전송을 위한 시간은 최소한 3개의 타임 슬롯 시간이 필요하다. $20\mu s$ 값은 IV장의 표 1에서 계산된 값이다. 그러나 비지톤은 한 개의 타임 슬롯 시간만 필요하다. 따라서 비지톤과 일반 패킷의 전송은 쉽게 구분될 수 있다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 제안된 방법의 성능을 BARQ 방법과 시

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value
Data Bit Rate	54 Mbps
Control Bit Rate	6 Mbps
Slot Time	9 μs
SIFS	16 μs
Propagation Delay	1 μs
CRC	4 Octets
PHY PLCP Preamble Length	16 μs
PHY PLCP Header Length	5 Octets
Block Size	20 Packets
Packet Size	1500 Octets
CW_{min}	31

뮬레이션을 통해 비교 분석한다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 표 1에 나열하였다. IEEE 802.11 무선 랜 표준에서는 모든 수신 단말에게 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해 가장 낮은 전송 속도로 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송하도록 되어있다. 그러나 여기에서는 데이터 전송 속도가 54Mbps, 제어 패킷의 전송 속도가 6Mbps인 IEEE 802.11a 네트워크 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 유니캐스트 전송은 없고 AP만 멀티캐스트 전송을 수행하는 토폴로지를 고려하였다. 따라서 시뮬레이션에서 충돌은 발생하지 않는다. 또한 수신 단말간 데이터 패킷 에러는 독립적이라고 가정하였고 제어 패킷의 에러율은 데이터 패킷 에러율의 20%라고 가정하였다.

그림 5와 6은 데이터 패킷 에러율에 따른 성능을 보여준다. 수신 단말 수는 10이다. 그림 5에서 두 가지 방법 모두 다 효율은 데이터 패킷 에러율이 증가함에 따라 감소한다. 제안된 PTRM 방법에서는 데이터 패킷 에러율이 증가할수록 수신 단말은 더 많은 패킷에 대해 손실될 것이고 블락을 복구하기 위해 더 많은 패킷이 필요하기 때문에 감소한다. BARQ 방법에서는 에러가 발생한 패킷을 재전송하기 때문에 성능이 낮아진다. 그러나 수신 단말간 독립적인 손실에 대해서는 해결하지 못하기 때문에 제안된 방법에 비해 더 많은 패킷을 전송하게 되어 효율이 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다. 제안된 방법은 수신 단말간 독립적인 손실 문제를 FEC를 통해 해결하였다. 그림에서 데이터 패킷 에러율이 0일 때는 FEC 동작 여부와 상관없이 순수 동작 원리에 따른 성능 차이를 보여준다. 제안된 PTRM 방법은 여러 개의 데이터 패킷을 전송한 후에 한 번의

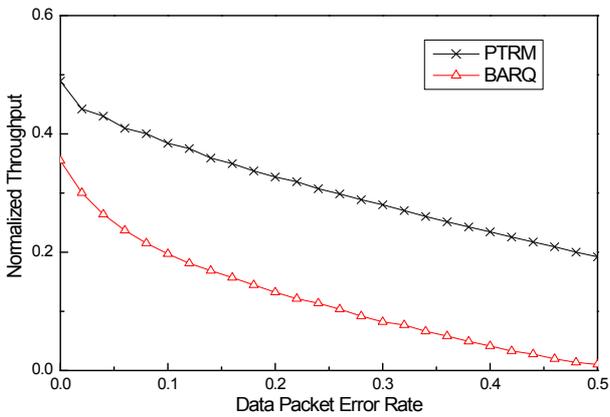


그림 5. 데이터 패킷 에러 율에 따른 효율
Fig. 5. Normalized throughput with different packet error rate.

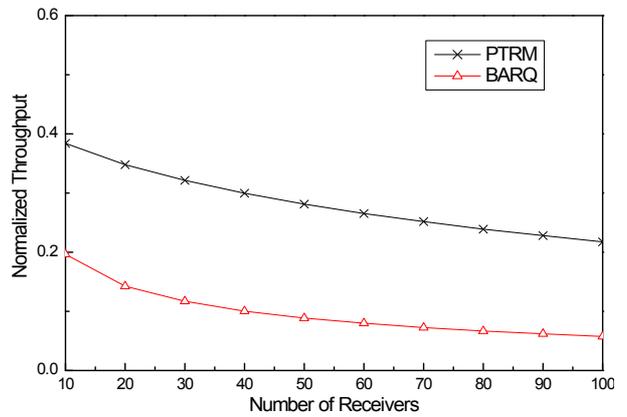


그림 7. 단말 수에 따른 효율
Fig. 7. Normalized throughput with different number of receivers.

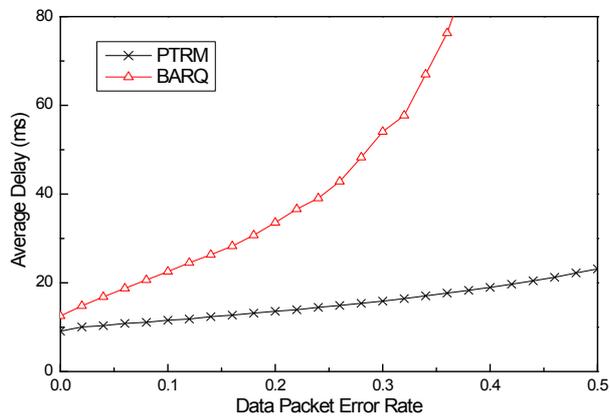


그림 6. 데이터 패킷 에러 율에 따른 지연
Fig. 6. Average delay with different packet error rate.

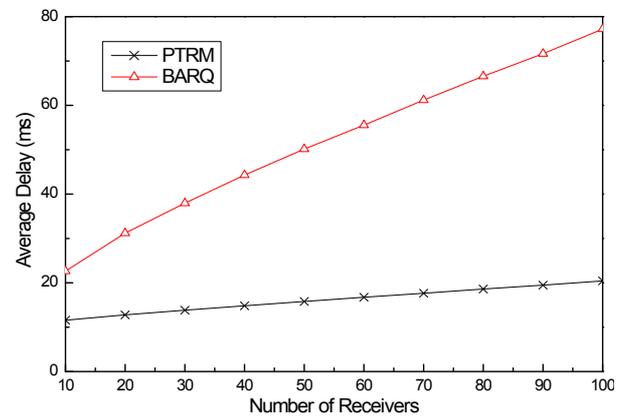


그림 8. 단말 수에 따른 지연
Fig. 8. Average delay with different number of receivers.

피드백을 필요로 하지만 BARQ 방법은 전송된 모든 패킷에 대해 피드백을 필요로 하므로 성능이 좋지 않다.

그림 6은 데이터 패킷 에러 율에 따른 지연을 보여준다. 두 방법 모두 데이터 패킷 에러 율이 증가함에 따라 지연이 증가한다. PTRM 방법은 각 수신 단말의 채널 상태에 따라 전송해야 할 패킷 수를 계산하고 이에 따라 패킷을 전송한다. 그리고 나서 피드백 요청을 한다. 따라서 증가하는 지연 값은 크지 않다. 그러나 BARQ 방법은 매 패킷에 대해 피드백을 요청할 뿐만 아니라 한 패킷에 대해서도 여러 번의 재전송을 수행한다. 즉, 여러 수신 단말 중 한 단말이라도 에러로 수신하게 되면 백오프 윈도우 값을 두 배로 증가시키고 경쟁 과정을 수행한 후에 데이터 패킷을 재전송한다. 따라서 에러 율이 증가함에 따라 지연은 가파르게 상승한다.

그림 7과 8은 수신 단말 수에 따른 성능을 보여준다. 데이터 패킷 에러 율은 0.1이다. 그림에서 두 가지 방법

모두 다 수신 단말 수가 증가함에 따라 성능이 감소한다. BARQ 방법에서는 수신 단말 수가 증가함에 따라 데이터 패킷에 포함되는 타임 유닛 할당을 위한 필드의 크기가 증가하게 되고 또한 피드백 시간도 증가하게 되어 성능이 떨어진다. PTRM 방법에서는 각 수신 단말이 ACK 패킷을 전송하기 위한 피드백 시간이 증가하게 되어 성능이 낮아진다. 그러나 수신 단말 수에 상관 없이 제안된 PTRM 방법은 BARQ 방법보다 항상 좋은 성능을 갖는다.

V. 결 론

IEEE 802.11 무선 랜은 신뢰성 있는 멀티캐스트를 지원하지 못한다. 이를 위해 제안된 기존 방법들은 에러 복구 과정에서 많은 제어 패킷의 사용으로 인해 과도한 제어 오버헤드를 발생시키고 또한 모든 수신 단말

을 만족시키기 위해 재전송이 이루어지기 때문에 여전히 신뢰성과 효율성에 있어 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 이러한 문제점을 해결하기 위해 FEC를 사용하여 수신 단말의 데이터 패킷 에러 율에 따라 능동적으로 전송할 패킷 수를 결정하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 또한 각 패킷마다 피드백을 요청하지 않고 여러 패킷을 전송한 후에 한 번의 피드백을 요청한다. 시뮬레이션 수행 결과, 제안된 방법이 다른 방법에 비해 데이터 패킷 에러 율과 수신 단말 수에 상관없이 항상 좋은 성능을 유지함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE, "Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," IEEE Standard 802.11, Jun. 1999.
- [2] R. Chandra, S. Karanth, T. Moscibroda, V. Navda, J. Padhye, R. Ramjee, and L. Ravindranath, "DirCast: a practical and efficient Wi-Fi multicast system," in Proc. *IEEE ICNP'09*, pp. 161-170, Oct. 2009.
- [3] D. Dujovne and T. Turletti, "Multicast in 802.11 WLANs: an experimental study," in Proc. *ACM MSWiM'06*, pp. 130-138, 2006.
- [4] J. Kuri and S.K. Kasera, "Reliable multicast in multi-access wireless LANs," *Wireless Networks*, vol. 7, no. 4, pp. 359-369, Aug. 2001.
- [5] Z. Li and T. Herfet, "BLBP: a beacon-driven leader based protocol for MAC layer multicast error control in wireless LANs," in Proc. *WiCom'08*, pp. 1-4, Oct. 2008.
- [6] K. Tang and M. Gerla, "MAC reliable broadcast in ad hoc networks," in Proc. *IEEE MILCOM'01*, vol. 2, pp. 1008-1013, Oct. 2001.
- [7] M. T. Sun, L. Huang, A. Arora, and T. H. Lai, "Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 439-453, Jun. 2003.
- [8] J. Peng, "A new ARQ scheme for reliable broadcasting in wireless LANs," *IEEE Communications Letters*, vol. 12, no. 2, pp. 146-148, Feb. 2008.
- [9] V. Srinivas and L. Ruan, "An efficient reliable multicast protocol for 802.11-based wireless LANs," in Proc. *IEEE WOWMOM'09*, pp. 1-6, Jun. 2009.
- [10] X.Wang, L.Wang, Y.Wang, and D. Gu, "Reliable multicast mechanism in WLAN with extended implicit MAC acknowledgement," in Proc. *IEEE VTC'08*, pp. 2695-2699, May 2008.
- [11] L. Rizzo, "Effective erasure codes for reliable computer communication protocols," *ACM Computer Communication Review*, vol. 27, no. 2, pp. 24-36, Apr. 1997.
- [12] P.K. McKinley, C. Tang, and A.P. Mani, "A study of adaptive forward error correction for wireless collaborative computing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 13, no. 9, pp. 936-947, Sep. 2002.
- [13] H. Liu, S. Mathur, S. Makharia, D. Li, and M. Wu, "IPTV multicast over wireless LAN using merged hybrid ARQ with staggered adaptive FEC," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 55, no. 2, pp. 363-374, Jun. 2009.
- [14] A. Majumdar, D.G. Sachs, I.V. Kozintsez, K. Ramchandran, and M. Yeung, "Multicast and unicast real-time video streaming over wireless LANs," *IEEE Trans. CSVT*, vol. 12, no. 6, pp. 524-534, Jun. 2002.

저 자 소 개



김 선 명(정회원)-교신저자
2000년 아주대학교 정보및컴퓨터
공학부 학사 졸업.
2002년 아주대학교 정보통신
공학과 석사 졸업.
2006년 아주대학교 정보통신
공학과 박사 졸업.

2008년~현재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어
공학과 조교수

<주관심분야: 무선 LAN, PAN, 및 MESH 네트
워크>



김 시 관(정회원)
1982년 경북대학교 전자공학과
(공학사)
1984년 한국과학기술원 전산학과
(공학석사)
2000년 한국과학기술원 전산학과
(공학박사)

2002년~현재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어
공학과 교수

<주관심분야: 모바일네트워크, 임베디드 시스템,
병렬처리>