JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 19, No. 4 : 787~793 Apr. 2015

신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 위한 스프레딩 코드 기반 피드백 기법

이호원*

Spreading Codes Based Multicast Feedback Scheme for Reliable Multicast Services

Howon Lee*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

요 약

브로드밴드 무선 접속 (Broadband Wireless Access) 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스는 자동 재전송 요구 (automatic repeat request, ARQ) 방식에 기반한 패킷 수신 정보 알림을 필요로 한다. 따라서, medium access control (MAC) 계층에서 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위해서, 본 논문에서는 스프레딩 코드 (Cumulative ACK 코드와 ARQ Feedback Request 코드) 기반 멀티캐스트 피드백 기법을 제안한다. 본 논문에서는 무선채널 환경에 대한 패킷 에러율 (packet error rate, PER) 분석을 기반으로, 다양한 무선채널 환경 변화에 대하여 유니캐스트 ARQ 피드백 메시지를 사용하는 기존 방안 대비 제안 방안이 요구되는 상향링크 자원의 양에서 매우 우수한 특성을 가짐을 확인할 수 있다.

ABSTRACT

In order to support reliable medium access control (MAC) layer multicast services in Broadband Wireless Access (BWA) networks, we here propose spreading codes (Cumulative ACK (CA) code and ARQ Feedback Request (AFR) code) based reliable multicast feedback scheme. The status indications based on the automatic repeat request (ARQ) mechanism are needed in some multicast services. In accordance with various wireless channel environments, we demonstrate the performance excellency of our proposed scheme with respect to required uplink resources compared with the original feedback scheme based on unicast ARQ feedback messages. In addition, we analyze packet error rate (PER) against the various wireless channel environments.

키워드 : 스프레딩 코드, 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스, 피드백 기법, 자동 재전송 요구

Key word : Spreading Code, Reliable Multicast Service, Feedback Scheme, automatic repeat request (ARQ)

Received 16 February 2015, **Revised** 02 March 2015, **Accepted** 17 March 2015

* **Corresponding Author** Howon Lee(E-mail:hwlee@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5198)
Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.4.787 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

차세대 무선통신 시스템은 모바일 데이터 트래픽 량의 폭발적 증가, 네트워크에 연결되는 디바이스 수의 증가, 사용자 요구 전송률 증가, 종단 간(end-to-end) 지연 감소 등과 같은 다양한 요구사항들을 고려해야 한다 [1]. IEEE 802.16 브로드밴드 무선 접속 (Broadband Wireless Access, BWA) 네트워크는 이러한 여러가지 요구사항들을 고려할 수 있도록 설계되었으며, 고속 전송률, 높은 확장성, 멀티미디어 서비스 지원 등의 여러 가지 장점들을 가지고 있다[2-4].

BWA 네트워크는 medium access control (MAC) 계층에서의 멀티캐스트(multicast) 서비스를 지원한다[4]. MAC 계층 멀티캐스트 서비스는 일반적으로 기지국이 여러 사용자들에게 동시에 같은 데이터를 전송하는 경우에 사용된다. 이 경우, 만약 기지국이 유니캐스트(unicast) 전송을 통해 데이터를 전송하게 된다면 하향링크(downlink) 자원의 낭비가 발생하게 된다. 따라서, 기지국은 이러한 경우에 멀티캐스트 전송을 이용함으로써, 하향링크 자원을 보다 효율적으로 운용할 수 있다. 특히, 신뢰성 있는 MAC 계층 멀티캐스트 서비스는 자동 재전송 요구(automatic repeat request, ARQ) 메커니즘에 기반한 ACK 또는 NACK 피드백을 필요로 한다. 예를 들어, 기지국이 멀티캐스트 전송을 하였는데, 사용자들이 ACK나 NACK 패킷을 피드백하지 않으면 기지국은 사용자들이 멀티캐스트 패킷을 잘 받았는지 받지 못하였는지를 확인할 방법이 없다. 하지만, ARQ 피드백 메시지는 기본적으로 크기가 작지 않기 때문에, 기지국이 멀티캐스트 전송마다 모든 사용자들에게 ARQ 피드백을 받게 되면 매우 많은 상향링크(uplink) 자원의 낭비 문제가 발생하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 스프레딩 코드(spreading code) 기반의 멀티캐스트 피드백 기법을 제안한다. 제안 방안을 활용하면, BWA 네트워크는 큰 오버헤드 없이 신뢰성 있는 MAC 계층 멀티캐스트 서비스를 지원할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 위한 제안 방안을 소개한다. 3장에서는 무선 채널 모델을 2-상태(state) 마르코프 모델로 가정하고 유니캐스트 ARQ 피드백 메시지 기반의 기존 방안과 제안 방안의 성능을 비교한다. 4장에서는 다양한 무선채널 환경에 대해서 제안 방안이 기존 방안과 비교할 때 요구되는 상향링크 자원량 관점에서 뛰어난 성능을 가짐을 보여준다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 스프레딩 코드 기반 멀티캐스트 피드백

본 논문에서는, BWA 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위하여 멀티캐스트 영역(multicast region), 멀티캐스트 슬롯 (multicast slot), cumulative ACK(CA) 코드, ARQ feedback request (AFR) 코드를 제안한다.

멀티캐스트 영역은 스프레딩 코드들을 전송하기 위해 할당된 영역을 의미하며, 여러 개의 멀티캐스트 슬롯으로 구성되어 있다. 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스가 시작되면, 기지국은 멀티캐스트 그룹 내의 사용자들에게 UL-MAP IE(uplink map information element)를 통해 멀티캐스트 영역과 멀티캐스트 슬롯에 대한 정보를 전달한다. 만약 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스가 존재하지 않으면, 기지국은 상향링크 영역에 멀티캐스트 영역을 할당하지 않는다. 사용자들은 멀티캐스트 영역의 멀티캐스트 슬롯 중 랜덤하게 하나를 선택하여 자신이 보내고자하는 스프레딩 코드를 전송할 수 있다. 스프레딩 코드는 직교성(orthogonality)을 가지고 있기 때문에 사용자들이 동시에 같은 멀티캐스트 슬롯에 전송을 한다고 하더라고 충돌이 발생하지 않는다.

멀티캐스트 서비스가 시작되면 기지국은 사용자들에게 직교성이 있는 2개의 스프레딩 코드(CA 코드, AFR 코드)를 각각 할당한다. BWA 네트워크에는 총 256개의 직교성이 있는 코드들이 존재한다 [4]. 이미, BWA 시스템에서 이 코드들은 초기 레인징(initial ranging) 과정, 주기적 레인징(periodic ranging) 과정, 대역폭 요청(bandwidth request) 과정 등을 위해서 일부가 사용되고 있다. 하지만, 동시에 같은 코드가 다른 사용자들을 통해서 전송되지만 않는다면 충돌이 발생하지 않기 때문에, 기지국이 서로 다른 코드들을 사용자에게 할당한다면 사전에 코드 전송에 의한 충돌 문제를 예방할 수 있다.

2.1. Cumulative ACK (CA) 코드

CA 코드는 사용자가 기지국에서 현재까지 전달된 모든 패킷들이 모두 잘 수신되었다는 것을 알려주기 위해 사용된다. CA 코드는 사용자들에게 독립적으로 할당되기 때문에, 기지국은 CA 코드를 수신하면 어떤 사용자가 자신에게 CA 코드를 전송하였는지 확인이 가능하다. 그러므로, 별도의 ARQ 피드백 메시지(누적(cumulative) ACK, 선택적(selective) ACK 등)가 없어도 사용자는 기지국에게 아주 간단히 자신의 패킷 수신 정보를 전달할 수 있다. 무선 채널 상황이 좋은 경우라면 제안하는 CA 코드를 활용하여 기지국은 많은 양의 상향링크 자원을 절약할 수 있게 된다. 이렇게 절약되는 자원들은 다른 서비스들을 위하여 활용될 수 있기 때문에, 전체적인 시스템 수율(system throughput) 향상에 크게 기여할 수 있게 된다.

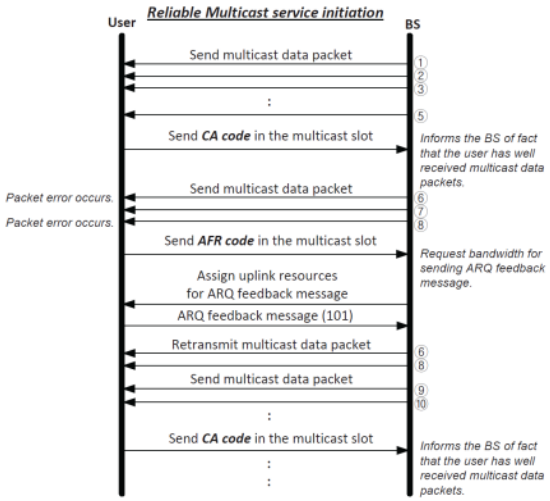

그림 1. 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스의 메시지 플로우 차트
Fig. 1 Message flow chart of reliable multicast service

2.2. ARQ Feedback Request (AFR) 코드

AFR 코드는 ARQ 피드백 메시지를 전송하기 위한 대역폭 요청용 코드이다. 일반적으로 패킷 에러가 발생하게 되면 사용자는 기지국에 ARQ 피드백 메시지를 전송하여 자신의 상태를 알려주어야 한다. 제안방안에서는 이 ARQ 피드백 메시지를 전달하기 위해 사용자가 먼저 AFR 코드를 전송하여 ARQ 피드백 메시지 전송을 위한 대역폭을 요청한다. CA 코드와 마찬가지로 AFR 코드도 사용자 별로 직교성을 가진 코드가 독립적으로 할당되어 있기 때문에, AFR 코드를 수신한 기지국은 해당 사용자에게 ARQ 피드백 메시지 전송을 위한 상향링크 자원을 바로 할당해 줄 수 있다.

신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스에서 멀티캐스트 영역과 멀티캐스트 슬롯은 상향링크 영역에 고정적으로 할당되어 있기 때문에, 멀티캐스트 사용자들은 스프레딩 코드 전송이 필요한 경우 언제나 이용이 가능하다. 그림 1은 제안하는 스프레딩 코드 기반 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스의 메시지 플로우 차트이다.

Ⅲ. 성능 분석

3.1. 무선 채널 모델

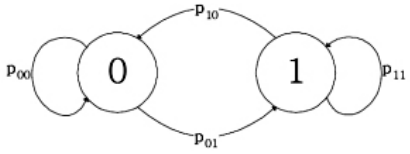

그림 2. 무선 채널 모델
Fig. 2 Wireless channel model

본 논문에서는 그림 2에서와 같이 휴지(quite) 상태(0)와 잡음(noisy) 상태 (1) 기반 2-상태 마르코프 모델을 이용하여 무선 채널을 모델링하였다[5-7]. 휴지 상태와 잡음 상태의 비트 에러율 (BER, bit error rate)은 각각 ϵ_o와 ϵ_1으로 정의하였다. p_{ij} $(i \neq j)$는 상태 i에서 상태 j로의 전이확률이며, $1-p_{ii}$와 같다[5-9]. 이를 이용하여, 평균 BER은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{avg} = \frac{p_{01} \times \epsilon_1 + p_{10} \times \epsilon_0}{p_{01} + p_{10}} \quad (1)$$

또한, 잡음 상태에 존재할 확률 (또는 잡음 버스트(noisy burst)의 듀티 사이클(duty cycle))은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$p_1 = \frac{p_{01}}{p_{01} + p_{10}} = \frac{\epsilon_{avg} - \epsilon_0}{\epsilon_1 - \epsilon_0} \quad (2)$$

그림 2에서, $p_1 = p_{01} = p_{11}$인 경우에, 무선 채널 모델은 p_1과 ϵ_{avg}에 의하여 완전하게 정의될 수 있다. 이 경우, McEliece와 Stark가 [6]에서 제안한 2-상태 블록 간섭(BI, block interference) 채널 모델과 동일해진다.

3.2. 패킷 에러율 (PER, packet error rate)

식 (2)으로부터 휴지 상태의 BER (ϵ_0)을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_0 = \epsilon_{avg} \times p_1 \tag{3}$$

또한, 식 (2)와 (3)으로부터 잡음 상태의 BER (ϵ_1)도 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_{avg}}{p_1} - (1-p_1) \cdot \epsilon_{avg}, \quad \text{for } p_1 > \frac{\epsilon_{avg} + \frac{1}{2} - \sqrt{(\frac{1}{2} - \epsilon_{avg})(\frac{1}{2} + 3\epsilon_{avg})}}{2\epsilon_{avg}} \tag{4}$$

이에 대한 구체적인 증명은 [5]에 잘 정리되어 있다. 또한, 그림 2에서 휴지 상태와 잡음 상태 각각의 안정 상태 확률(π_0, π_1)은 각각 p_{10}, p_{01}과 같다[7-9].

만약 패킷의 크기를 l bits라고 가정하면, 휴지 상태와 잡음 상태에서의 패킷 에러 확률은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$e_i = 1 - (1-\epsilon_i)^l \tag{5}$$

식 (3)-(5)으로부터, PER(P)은 다음과 같이 계산될 수 있다[7-9].

$$\begin{aligned} P(l, p_1, \epsilon_{avg}) &= \pi_0 \cdot (1-(1-\epsilon_0)^l) + \pi_1 \cdot (1-(1-\epsilon_1)^l) \\ &= (1-p_1) \cdot \left\{1-(1-p_1 \cdot \epsilon_{avg})^l\right\} \\ &\quad + p_1 \cdot \left\{1-(1-\frac{\epsilon_{avg}}{p_1} + (1-p_1) \cdot \epsilon_{avg})^l\right\} \end{aligned} \tag{6}$$

식 (6)에서와 같이, 본 논문에서 가정한 무선 채널 모델에서의 PER 값은 평균 BER 값(ϵ_{avg})과 잡음 상태에 머무를 확률 (p_1), 그리고 패킷 크기(l)에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있다.

3.3. 요구되는 상향링크 자원량 분석

신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스 지원을 위하여 요구되는 상향링크 자원량 분석을 위하여, 총 4종류의 서로 다른 PER값 (P_1, P_2, P_3, P_4)을 가지는 멀티캐스트 사용자 그룹이 존재한다고 가정하였다. 각 멀티캐스트 그룹 내의 사용자 수는 $N_{P1}, N_{P2}, N_{P3}, N_{P4}$이고, 전체 사용자수 N은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$N = N_{P1} + N_{P2} + N_{P3} + N_{P4} \tag{7}$$

이를 통하여 손상된 패킷을 받은 사용자의 수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$N_i^{er} = P_i(l_i, p_{1_i}, \epsilon_{avg_i}) \times N_{Pi} \tag{8}$$

식 (8)로부터, 손상된 패킷을 받은 전체 사용자(N_{tot}^{er})은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$N_{tot}^{er} = \sum_i N_{Pi} \times \left[\begin{array}{l} (1-p_{1_i})\left\{1-(1-p_{1_i}\epsilon_{avg_i})^{l_i}\right\} \\ + p_{1_i}\left\{1-(1-\frac{\epsilon_{avg_i}}{p_{1_i}} + (1-p_{1_i})\epsilon_{avg_i})^{l_i}\right\} \end{array} \right] \tag{9}$$

각 멀티캐스팅 그룹이 ARQ 피드백 메시지를 전송하기 위해 필요한 상향링크 자원의 양을 각각 L_{FM_i}, 멀티캐스트 영역에 할당된 상향링크 자원의 양을 L_{MR}이라 하자. 구체적인 값은 표 1에 나와 있다. 유니캐스트 전송을 기반으로 ARQ 피드백 메시지를 보내는 기존 방안의 경우 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스 지원을 위하여 필요한 상향링크 자원량(L_{ur})은 다음과 같이 계산할 수 있다.

표 1. 시스템 파라미터
Table. 1 System parameters

Parameters	Value
L_{FM_1}	1 uplink resource unit
L_{FM_2}	2 uplink resource units
L_{FM_3}	3 uplink resource units
L_{FM_4}	4 uplink resource units
L_{MR}	12 uplink resource units

$$L_{ur} = \sum_i N_{p_i} \cdot L_{FM_i} \tag{10}$$

CA 코드, AFR 코드와 함께 멀티캐스트 영역을 사용하는 제안 방안의 경우에는 필요한 상향링크 자원량(L_{cr})을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_{cr} &= L_{MR} + \sum_i L_{FM_i} N_{er_i} \\ &= L_{MR} + L_{FM_i}\left[N_{P_i}\left\{ \begin{array}{l} (1-p_{1_i})\left\{1-(1-p_{1_i}\epsilon_{avg_i})^{l_i}\right\} \\ +\, p_{1_i}\left\{1-(1-\frac{\epsilon_{avg_i}}{p_{1_i}}+(1-p_{1_i})\epsilon_{avg_i})^{l_i}\right\} \end{array} \right\} \right] \end{aligned} \tag{11}$$

Ⅳ. 성능 결과

본 논문에서, 1개의 무선 자원은 시간 축에서 3개의 OFDM 심볼(symbol)과 주파수 측에서 1개의 OFDM 부채널(subchannel)로 이루어져 있다. 여기서 1개의 OFDM 부채널은 16개의 OFDM 부반송파(subcarrier)들로 이루어져 있다. 총 80개의 상향링크 무선 자원이 존재하며 1개의 자원을 사용하면, QPSK와 1/2 코딩을 사용한다고 가정할 경우 6 bytes 만큼의 데이터를 전송할 수 있다. 성능 결과를 도출하기 위해서 우리는 다음과 같이 가정하였다. 1) 사용자들은 기지국으로부터 패킷을 받으면 스프레딩 코드 또는 ARQ 피드백 메시지를 이용하여 즉시 응답한다. 2) 스프레딩 코드와 ARQ 피드백 메시지 전송에는 에러가 발생하지 않는다. 3) 패킷의 크기와 잡음 버스트들의 듀티 사이클도 동일하다. 사용된 패킷의 크기와 PER 값에 대한 평균 BER 값은 표 2에 정리되어 있다.

표 2. 분석 파라미터
Table. 2 Analysis parameters

Parameters	Value
l_1, l_2, l_3, l_4	1×10^3 bits
ϵ_{avg_1} of N_{P_1}	5×10^{-3}
ϵ_{avg_2} of N_{P_2}	1×10^{-3}
ϵ_{avg_3} of N_{P_3}	1×10^{-4}
ϵ_{avg_4} of N_{P_4}	1×10^{-5}

무선 채널은 잡음 버스트들의 듀티 사이클의 변화에 따라 달라질 수 있다. p_1은 채널의 버스트니스(burstiness)를 결정한다[5]. p_1 = 1.0인 경우 정지된(stationary) 채널을 의미하며, p_1 = 0.05인 경우에는 밀집된(dense) 버스트 채널을 의미한다. 본 장에서는 이렇게 2가지 채널에 대한 성능 결과를 도출 하였다. 기본적으로, 유니캐스트 ARQ 피드백 메시지를 이용하는 기존 방법과 비교할 때, 제안 방안이 상당히 많은 양의 상향링크 자원을 절약할 수 있다는 것을 그림 3과 4로부터 확인할 수 있다. 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스에서 기존의 유니캐스트 ARQ 피드백 메시지를 이용할 경우 기지국은 각각의 사용자에게 ARQ 피드백 메시지를 보낼 수 있을 만큼의 자원을 고정적으로 할당해 주어야 한다. 일반적으로 메시지를 보내기 위하여 필요한 자원의 양은 크기가 작은 스프레딩 코드 등과 비교할 때 많은 양의 자원을 필요로 하기 때문에, 여기서 기존 방안의 자원 낭비가 발생하게 된다. 또한, 제안방안은 직교성을 가진 코드를 사용자들에게 독립적으로 할당하기 때문에, 동일한 상향링크 자원을 사용하여 많은 사용자들이 동시에 전송이 가능하다. 이로 인하여 제안방안이 기존방안과 비교할 때 많은 양의 상향링크 자원의 절약이 가능하다. 또한, 제안방안은 AFR 코드를 이용하여 ARQ 피드백 메시지를 보내야 하는 사용자들만 선택적으로 자원을 할당받기 때문에, 최적화된 피드백 자원의 사용이 가능하다.

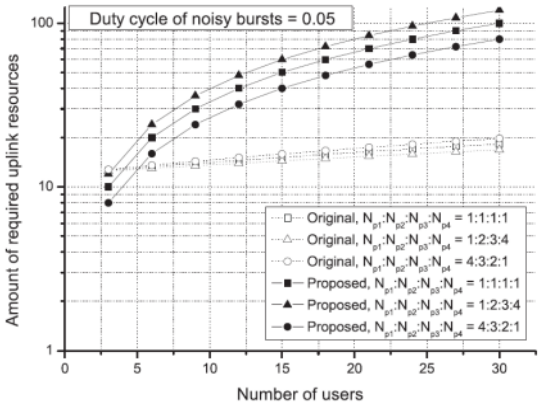

그림 3. P_1 = 0.05 인 경우, 필요한 상향링크 자원의 양 vs. 사용자 수
Fig. 3 Required resources vs. number of users when P_1 = 0.05

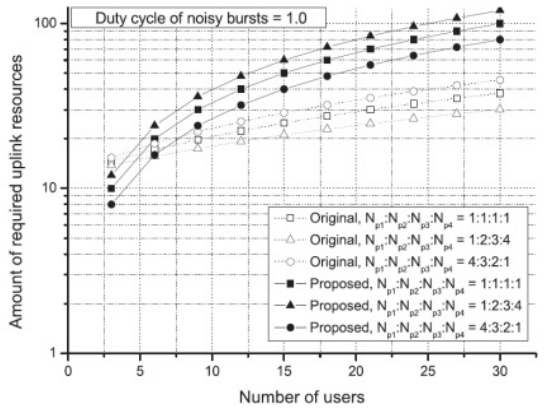

그림 4. P_1 = 1.0 인 경우, 필요한 상향링크 자원의 양 vs. 사용자 수
Fig. 4 Required resources vs. number of users when P_1 = 1.0

그림 3과 4는 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스 사용 시, 정지된 채널과 밀집된 버스트 채널에서 사용자 수의 변화에 따라 필요한 상향링크 자원의 양을 보여준다. 다양한 환경에서의 성능을 도출하기 위해서 다양한 BER 값(0.001, 0.005, 0.0001, 0.00001)을 가지는 사용자 그룹의 비율을 다르게 하였다. 제안방안은 밀집된 버스트 채널의 경우 정지된 채널 보다 상대적으로 적은 양의 자원을 사용하는 것을 볼 수 있다. 또한, 기존 방안과 비교하여 보면 밀집된 버스트 채널에서 정지된 채널일 때보다 더 큰 자원의 이득을 얻는 것을 볼 수 있다. 정지된 채널의 경우 무선 채널의 상황이 아주 좋지 않은 경우이지만, 이 경우에도 제안방안의 스프레딩 코드를 사용할 때가 기존방안에서와 같이 유니캐스트 ARQ 피드백 메시지를 사용하는 것과 비교할 때 큰 이득을 가지는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

제안하는 멀티캐스트 피드백 기법에서, 기지국은 직교성을 가진 2개의 스프레딩 코드인 CA 코드와 AFR 코드를 각각의 멀티캐스트 사용자들에게 독립적으로 할당한다. 기존의 유니캐스트 기반의 ARQ 피드백 메시지와 비교할 때, 제안 방안은 직교성을 가진 스프레딩 코드와 멀티캐스트 영역 및 슬롯을 활용하기 때문에 상대적으로 매우 적은 양의 상향링크 자원을 사용하여 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 지원할 수 있게 된다. 다시 말해서, ARQ 피드백을 위해서 사용되는 상향링크 자원을 절약할 수 있기 때문에 이를 기반으로 상향링크 성능의 향상을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 PER과 요구되는 상향링크 자원량에 대한 성능 분석과 이에 대한 결과를 통해서 기존방안 대비 제안방안이 우수함을 증명하였다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A1008705)

REFERENCES

[1] A. Osseiran, et al., "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014.

[2] WiMAX Forum Technical Specification. (2010, April). *WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard.* Available: http://www.wimax forum.org.

[3] WiMAX Forum Technical Specification. (2014, April). *Mobile Radio Specifications Rel. 2.1.* Available: http://www.wimaxforum.org.

[4] IEEE 802.16m-2011, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 3: Advanced Air Interface*, May 2011.

[5] L.R. Lugand et al., "Parity retransmission hybrid ARQ using rate 1/2 convolutional codes on a nonstationary channel," *IEEE T. Commun.*, vol. 37, no. 7, pp. 755-765, Jul. 1989.

[6] R.J. McEliece et al., "Channels with block interference," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 30, pp. 44-53, Jan. 1984.

[7] E. Kim et al. "Performance evaluation of data link protocol with adaptive frame length in satellite networks," *IEICE T. Commun.*, vol. E87-B, no. 6, pp. 1730-1736, Jun. 2004.

[8] H. Lee et al. "Capacity Improvement and Analysis for VoIP Service in Cognitive Radio System," *IEEE T. Veh. Tech.*, vol. 59, no. 4, pp. 1646-1651, May 2010.

[9] H. Lee et al., “An Enhanced Uplink Scheduling Algorithm Based on Voice Activity for VoIP Services in IEEE 802.16d/e System,” *IEEE Commun. Letters*, vol. 9, no. 8, pp. 216-218, Aug. 2005.

이호원(Howon Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 박사
2009년 ~ 2010년 KAIST IT융합연구소 선임연구원
2010년 ~ 2012년 KAIST IT융합연구소 팀장/연구조교수
2012년 ~ 현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수
2012년 ~ 현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수
※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, D2D 통신, 최적 CSMA, 지식융합기술 등