

# 에르고딕 인덱스 코딩을 바탕으로 한 효율적인 브로드캐스트 기법

최상원<sup>◦</sup>, 김주엽<sup>\*</sup>, 김용규<sup>\*</sup>

## Efficient Broadcast Scheme Based on Ergodic Index Coding

Sang Won Choi<sup>◦</sup>, Juyeop Kim<sup>\*</sup>, Yong-Kyu Kim<sup>\*</sup>

요약

본 논문은 재전송 모드가 지원되는 broadcasting에 알맞은 효율적인 코딩 기법을 제안한다. 구체적으로는, 사용자에 따른 ACK/NACK의 통계적인 패턴 및 index coding을 활용하여 사용자들의 feedback에 따라 적응적으로 packet들을 XOR 연산을 통하여 전송하고, 각 사용자는 이미 성공적으로 받은 packet 정보들을 활용하여 XOR 연산을 통하여 제대로 수신 받지 않은 packet들을 디코딩하게 된다. 이를 통해, index coding을 하지 broadcasting과 견주어 두드러지게 전체 평균 전송 횟수를 줄일 수 있음을 보였다. 제안한 broadcast 기법은 특히 delay tolerant한 데이터 서비스에 효과적으로 적용하여 이용될 수 있음을 전체 송신 packet 평균 전송 횟수 비교를 통해 보였다.

**Key Words:** Index coding, broadcast, ergodicity, ACK/NACK

### ABSTRACT

In this paper, an efficient broadcast scheme with acknowledged mode is proposed. Specifically, based on stochastic pattern of ACK/NACK across all users and index coding, adaptive coding scheme with XOR operation is used at the transmitter. At each receiver, packets are decoded using layered decoding method with already successfully decoded packets. From numerical results, proposed index coded broadcast scheme is shown to be more efficient than naive broadcast scheme in the sense of average total number of transmitted packets.

### 1. 서론

국가 공공 안전망으로 PS-LTE를 지원하는 LTE-A 방식으로 정해지면서, PS-LTE에 대한 관심이 높아지고 있다. 그룹통신과 관련되는 GCSE<sup>[1]</sup>와 MCPTT<sup>[2]</sup>에 대한 표준화가 활발히 진행되고 있으며, 효과적인 GCSE를 지원하기 위해서는 evolved multicast broadcast service에 (eMBMS)<sup>[3]</sup> 대한 개발이 반드시

필요하다.

국내에서는, 2014년 1월부터 삼성전자와 KT가 ‘올레 LTE 플레이’라는 명칭으로 방송용 eMBMS를 상용 서비스하기 시작하였다. 현재는 broadcasting 위주의 서비스에 주로 초점이 모아졌다면, 내년부터는 multicast 서비스까지도 본격적으로 서비스가 확대될 것으로 예상된다. LTE-A가 지원하는 eMBMS의 가장 큰 장점은 시간/주파수 자원을 사용자의 수에 상관

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1361, 국가 공공안전서비스를 위한 LTE기반 재난통신 시스템·단말 개발]

◦ First and Corresponding Author : ICT Convergence Research Team, Korea railroad research institute (KRRRI), swchoi@krrri.re.kr, 정회원

\* ICT Convergence Research Team, Korea railroad research institute (KRRRI)

논문번호: KICS2015-05-162, Received May 31, 2015; Revised August 11, 2015; Accepted August 11, 2015

없이 추가적인 resource의 확보 없이 지원할 수 있다는 점이다.

이와 같은 장점은 재난망에서는 사고 현장에 있는 사람들의 수에 상관없이 재난 통신을 지원하는 것으로 이어질 수 있다. 또한, 모바일 트래픽의 증가현상을 해결하기 위한 효과적인 방안으로 의견이 모아지고 있다. 특히, 모바일 사용자의 동영상 폭주 현상, 예컨대, 동일한 형태의 방송 콘텐츠의 (월드컵, 콘서트 등) 실시간 동영상 감상 등으로 이벤트 성으로 발생하는 데이터 폭주를 대처하는 데 적합한 기술이다. 아래 표는 2014년 6월 KT가 분석한 한국-러시아 월드컵이 열렸을 당시에 전주와 비교한 모바일 데이터 트래픽을 나타낸다.

국제적으로도, eMBMS를 활용한 LTE broadcasting 서비스를 시작하였고, multicast service로까지 확장한 연구/개발이 활발히 이루어지고 있다<sup>14-6)</sup>.

한편, eMBMS는 서비스의 종류에 따라 추가적인 issue 사항이 존재한다. 구체적으로는, delay에 민감한 real-time service에서는, 현재의 LTE 기술로도 충분히 방송 및 재난 안내 등의 서비스가 가능하지만, delay tolerant한 데이터 서비스에서는 사용자의 feedback이 없는 (ACK 또는 NACK) eMBMS로는 신뢰성을 높이는 데 한계가 있다.

Index coding은 network coding의 기술 가운데 하나로, 각 수신단에서 이미 알고 있는 data를 기반으로 간단한 연산을 통해 효율적으로 송수신할 수 있는 기법이다. 최근에는 index coding을 활용하여 여러 network topology에 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>17,8)</sup>.

본 논문에서는, network coding의 기술 가운데 하나인 index coding을 활용하여 delay tolerant한 eMBMS에 적용될 수 있는 기법을 제안한다. 먼저, index coding을 활용하지 않은 eMBMS의 전체 전송 횟수를 formulation하고, index coding을 활용한 eMBMS의 전체 전송 횟수와 비교하여, 다수의 사용자에게 동일한 콘텐츠를 송신하고자 하는 경우에 효율적인 코딩 기법임을 보인다.

표 1. 월드컵 경기가 있었던 주와 없었던 주의 모바일 데이터 양  
Table 1. Mobile data rates during a week with and without World Cup game

	Week without WorldCup game	Week with WorldCup game
NAVER	495GB	8,372GB
DAUM	254GB	4,614GB

## II. 본 론

### 2.1 Overview of index coding

Index coding은 기본적으로 각 사용자마다 성공적으로 decoding한 packet 정보를 활용하는 기법이다. 예를 들어, 2명의 사용자를 가정하여 각각의 사용자가 두 packet X1과 X2를 받아야하는 상황에서 X1과 X2만을 각각 성공적으로 decoding한 경우, X1과 X2를 따로 보낼 필요 없이  $X1 \oplus X2$ 를 보내고 수신단에서는 이미 성공적으로 decoding한 packet을 이용하여 나머지 packet을 성공적으로 decoding하게 된다. 결국, index coding을 활용하여 재전송 횟수를 2회에서 1회로 줄일 수 있는 것이다.

본 논문에서는 다음과 같은 표기법과 가정을 한다. PS-LTE를 지원하는 LTE-A system 및 delay tolerant service를 가정하고, K는 사용자 수, P는 packet의 오류율을 뜻한다. 성공적인 수신율로 둔다. 여기서, P는 사용자마다 동일하다고 가정한다. 이론적인 분석을 위하여 사용자의 packet data buffer량이 제한이 없는 것으로 가정하였다.

### 2.2 제안한 기법

임의의 멀티미디어 서비스를 위해 필요한 데이터 packet의 개수를 n이라 하고 이때 n이 충분히 크다고 가정을 해보자. 송신단에서 broadcast 방식으로 주어진 데이터를 보낸다고 했을 때 K개의 각 수신단에서의 성공적인 packet의 decoding 여부 곧, ACK과 NACK의 분포는 random process의 ergodicity에 의하여 규칙적인 분포를 보이게 된다. 아래 보기를 통하여 제안한 기법의 주요 아이디어를 파악해보도록 한다.

Delay tolerant service를 고려하기 때문에 각 사용자는 고유의 data buffer에 packet을 모두 저장하고, 한 번에 decoding하여 ACK 또는 NACK에 따라 data packet을 구분하여 저장한다.

#### 2.2.1 Example 1. K=2일 때 broadcast scheme Index coding을 한 경우

K=2인 경우에 송신단에서 전송한 전체 data packet의 수를 n이라 두고, n을 무한대로 보내면, 시간에 따른 packet의 성공적인 decoding 여부 곧, ACK/NACK 패턴은 ergodicity를 통하여 아래 표와 같이 나타낼 수 있다.

먼저, 송신 측면에서 살펴보도록 한다. 패턴0인 경우에는 index coding을 걸 수 없으므로, 여기에 해당하는 packet은 그대로 재전송한다. 패턴1인 경우에는 2가지로 나뉘는데 첫 번째 사용자만 ACK인 경우의 (그룹1)

표 2. K=2이고 index coding을 한 경우의 ACK/NACK 패턴에 따른 해당 packet의 개수  
Table 2. ACK/NACK pattern and corresponding group for index coded broadcast when K=2

ACK/NACK pattern	Pattern0	Pattern1		Pattern2
Packet group	Group0	Group1	Group2	Group3
1 <sup>st</sup> user	NACK	ACK	NACK	ACK
2 <sup>nd</sup> user	NACK	NACK	ACK	ACK

packet을 S1, 두 번째 사용자만 ACK인 경우의 (그룹2) packet을 S2라 하면, 송신단에서 S1 ⊕ S2로 index coding 하여 전송하므로, 한 번 재전송시 packet의 개수를 2nP(1-P)에서 nP(1-P)로 줄일 수 있게 된다. 마지막으로, 패턴2는 두 사용자 모두 성공적으로 decoding하였으므로, 재전송이 필요 없게 된다. Index coding을 결국 XOR 연산을 이용한 여러 packet을 마치 하나의 packet으로 코딩하여 전송하는 것이다. 이때, sequence number도 index coding이 걸린 모든 packet에 대해서 다수의 sequence number들이 전송되어야 한다.

수신 측면에서는, 송신단으로부터 전송받은 sequence number들과 수신단에서 이미 성공적으로 decoding한 packet들을 이용하여 XOR 재연산을 통하여 아직 성공적으로 수신하지 못한 packet들에 대한 decoding을 완료한다. 패턴0과 같이 index coding이 걸리지 않은 packet 들은 기존 기법대로 다시 decoding을 시도한다.

이제, 패턴0과 패턴1에 대해서 모든 재전송 횟수를 포함한 전체 전송 횟수를 통계적으로 얻어 보도록 한다.

Lemma 1. 어떤 사건 E가 일어날 확률이 Q라면, 그 사건 E가 일어나기 위해서는 평균적으로 1/Q의 시도가 필요하다.

Proof: 자명하므로, 증명은 생략한다.

위 Lemma 1을 이용하면, 아래와 같이 각 패턴에 따른 전체 재전송 횟수를 통계적으로 얻는다.

$$\text{패턴 0: } \frac{nP^2}{(1-P)^2}, \text{ 패턴 1: } \frac{nP(1-P)}{(1-P)^2}, \quad (1)$$

패턴 2: 0.

따라서, K=2인 경우에 n개의 송신 packet에 대해서 전체 재전송을 포함한 전체 송신 packet의 개수는 평균적으로 다음과 같다.

$$\frac{n(1-P+P^2)}{(1-P)^2} \quad (2)$$

Index coding을 하지 않은 경우 (packet을 그대로 재전송한 경우):

두 사용자가 모두 ACK인 경우를 제외하고는 모두 packet을 있는 그대로 다시 전송해야 하기 때문에 아래와 같이 두 개의 패턴으로 나뉘어지고 전체 송신 packet의 수는 평균적으로

$$\frac{n}{(1-P)^2} \quad (3)$$

과 같다. 수식 2와 수식 3으로부터 index coding을 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 전체 송신 packet의 수가 항상 작거나 같음을 알 수 있다. K=2인 경우를 통해서 index coding을 걸면, 송신할 packet의 개수 자체가 줄어들기 때문에 전체 송신 packet의 수가 줄어든다.

2.2.2 Example 2. K=3일 때 broadcast scheme Index coding을 한 경우:

K=3인 경우 ergodicity를 이용하여 송신단에서 전송할 packet의 수 n이 충분히 크면 아래와 같은 패턴들을 얻는다. 송신 측면에서, 패턴 0에 대해서는 각 수신단에서 성공적으로 decoding한 packet이 전혀 없으므로, index coding을 이용할 수 없다. 따라서, 이 패턴에 해당하는 packet은 그대로 전송한다.

패턴 1은 세 개의 수신단 각자가 단독으로만 packet을 성공적으로 decoding한 경우이다. 표기법으로, k째 사용자만 성공적으로 decoding한 packet을 Sk라 하면, 송신단에서는 총 3종류의 packet을 보낸다. 곧, S1 ⊕ S2, S1 ⊕ S3, S2 ⊕ S3를 해당 sequence number들과 함께 보낸다. 패턴 2에 대해서는 index coding한 packet S1 ⊕ S2 ⊕ S3를 전송한다. 마지막으로, 패턴 3에 대해서는 모든 수신

표 3. K=2이고 index coding을 하지 않은 경우의 ACK/NACK 패턴에 따른 해당 packet의 개수  
Table 3. ACK/NACK pattern and corresponding group for naive broadcast when K=2

ACK/NACK pattern	Pattern0			Pattern1
Packet group	Group0			Group1
1 <sup>st</sup> user	NACK	ACK	NACK	ACK
2 <sup>nd</sup> user	NACK	NACK	ACK	ACK

표 4. K=3이고 index coding을 한 경우의 ACK/NACK 패턴에 따른 해당 packet의 개수  
Table 4. ACK/NACK pattern and corresponding group for index coded broadcast when K=3

ACK/ NACK pattern	Pattern 0	Pattern1			Pattern2			Pattern 3
Packet group	Group0	Group1	Group2	Group3	Group4	Group5	Group6	Group7
1 <sup>st</sup> user	NACK	ACK	NACK	NACK	ACK	ACK	NACK	ACK
2 <sup>nd</sup> user	NACK	NACK	ACK	NACK	ACK	NACK	ACK	ACK
3 <sup>rd</sup> user	NACK	NACK	NACK	ACK	NACK	ACK	ACK	ACK

단어 성공적으로 packet들을 decoding하였으므로, 재전송이 필요 없다.

수신 측면에서, K=2인 경우와 마찬가지로 전송된 sequence number들과 index coding된 packet들과 이미 성공적으로 decoding한 packet을 이용하여 나머지 packet들을 decoding한다. 패턴0인 경우와 기존 기법대로 다시 decoding을 시도한다.

송신단에서 전송하게 되는 전체 packet의 수를 알아 보도록 한다. K=2인 경우와 마찬가지로 패턴 2는 index coding을 이용함으로써 인해 재전송하는 packet의 개수 자체를 줄이게 된다.

한편, 패턴 1은 K=2에서는 보이지 않은 흥미로운 특징을 얻게 된다. 구체적으로는, index coding을 이용하여 재전송하는 packet의 개수 자체는 index coding을 걸지 않은 경우와 동일하나, 성공적으로 decoding할 수 있는 확률을 상대적으로 높임으로 인해 전체 재전송하는 packet의 수를 줄일 수 있다는 것이다. Lemma 1을 이용하여 전체 송신 packet의 수를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{패턴 0: } & \frac{nP^3}{(1-P)^3}, \\
 \text{패턴 1: } & \frac{3n(1-P)P^2}{3(1-P)^2P+(1-P)^3}, \\
 \text{패턴 2: } & \frac{n(1-P)^2P}{(1-P)^3}, \\
 \text{패턴 3: } & 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

따라서, K=3인 경우에 n개의 송신 packet에 대해서 전체 재전송을 포함한 전체 송신 packet의 개수는 평균적으로 다음과 같다.

$$\frac{n(5P^4-3P^3+1)}{(1-P)^3(2P+1)}. \tag{5}$$

Index coding을 하지 않은 경우 (packet을 그대로 재전송한 경우):

두 사용자가 모두 ACK인 경우를 제외하고는 모두 packet을 있는 그대로 다시 전송해야 하기 때문에 아래와 같이 두 개의 패턴으로 나뉘어지고 전체 송신 packet의 수는 평균적으로

$$\frac{n}{(1-P)^3} \tag{6}$$

가 된다. 결론적으로, K=3인 경우는 index coding을 하는 경우 재전송하는 packet 자체를 줄이는 것과 재전송하는 packet의 수는 같으나 성공적으로 decoding할 확률을 상대적으로 높임으로 인해 index coding을 걸지 않는 경우보다 전체 송신 packet의 수를 줄일 수 있다.

### 2.2.3 일반화

앞의 K=2 및 K=3인 경우를 통해서 index coding으로 인해 송신단에서 보내는 송신 packet의 수를 줄일 수 있는 것을 살펴보았다. 구체적으로는 아래와 같이 두 가지로 인해 재전송의 packet양을 줄일 수 있다.

- Index coding으로 인해 송신 packet의 수 자체를 줄일 수 있다. 이는 수신단에서 이미 성공적으로 decoding한 packet을 이용한다는 점에서 가능하다
- 주어진 packet 오류 확률 P에 대해서, index coding을 건 packet들 가운데 모두가 아닌 몇 개 이상의 packet만 decoding하여도 각 수신단에서 성공적으로 packet을 decoding할 수 있다.

이제, 일반적인 사용자 K인 경우에 대해서 송신 및 수신 관점에서 코딩 기법을 살펴보도록 한다.

### Index coding을 한 경우:

송신 측면에서는, K개의 사용자에 대해서 총 K+1개의 패턴을 얻는다. 곧, K명의 사용자에 대해서 0개의 ACK 패턴을 갖는 packet들의 집합부터 K개의 ACK을

표 5. K=3이고 index coding을 하지 않은 경우의 ACK/NACK 패턴에 따른 해당 packet의 개수  
Table 5. ACK/NACK pattern and corresponding group for naive broadcast when K=3

ACK/ NACK pattern	Pattern0							Pattern 1
Packet group	Group0							Group1
1 <sup>st</sup> user	NACK	ACK	NACK	NACK	ACK	ACK	NACK	ACK
2 <sup>nd</sup> user	NACK	NACK	ACK	NACK	ACK	NACK	ACK	ACK
3 <sup>rd</sup> user	NACK	NACK	NACK	ACK	NACK	ACK	ACK	ACK

갖는 packet들의 집합까지 총  $K+1$ 개의 패턴을 이룬다. 각각의 패턴에 대해서 아래와 같이 구체적으로 index coding을 걸어 전송한다.

- 패턴0: 여기에 해당하는 packet은 각 수신단에서 사전 정보로 활용할 수 있는 (이미 성공적으로 decoding된) packet들이 없기 때문에 index coding을 걸 수가 없다. 이에, 그대로 해당 packet을 전송한다.

- 패턴k ( $k=1, 2, \dots, K-1$ ): 패턴k에 속하는 packet 그룹들에 대해서 각각의 그룹에서 차례 차례로 packet을 선정 한 뒤,  $\frac{\binom{K-C_k}{k}}{K} + 1$ 개의 조합으로 index coding을 걸어 송신한다. 예를 들어,  $K=3$ 인 경우에 패턴1인 경우에는 표4에서와 같이 그룹1, 그룹2, 그룹3에 해당하는 packet을 각각  $S_1, S_2, S_3$ 라고 했을 때,  $\frac{\binom{3-C_1}{1}}{3} + 1 = 2$ 개의 조합인  ${}_k C_{k+1} = {}_3 C_2 = 3$ 개의  $S_1 \oplus S_2, S_1 \oplus S_3, S_2 \oplus S_3$ 로 index coding하여 전송한다.

- 패턴K: K개의 모든 사용자가 성공적으로 packet을 decoding했기 때문에 재전송이 필요 없다.

수신 측면에서는, index coding된 packet과 그에 대응하는 sequence number를 확인한 뒤, 이미 성공적으로 decoding한 packet에 해당하는 sequence number들과 matching되는 것이 있으면 layered decoding 방식으로 XOR 연산을 해주어 아직 decoding되지 않은 packet들로만 이루어진 선형 방정식을 얻고 0과 1로 이루어진 matrix의 inversion을 통해 packet들을 decoding한다.

재전송을 포함한 전체 송신 packet의 개수는 수치적으로 계산 가능하며, 본 논문에서는 생략하기로 한다.

Index coding을 하지 않은 경우 (packet을 그대로 재전송한 경우):

K명의 사용자가 모두 decoding한 packet들과 그렇지 않은 packet들로 2개의 패턴 및 2개의 packet 그룹으로 나뉘고, 그룹0에 대해서 다시 재전송을 하므로, 결국 아래와 같은 식의 전체 송신 packet의 수를 얻는다.

$$\frac{n}{(1-P)^K} \tag{7}$$

### 2.2.4 송신단 및 수신단의 구성

앞에 설명한바와 같이 index coding을 적용한 경우에는 전체 송신 packet의 개수를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 장점을 얻기 위해서 송신단과 수신단에서 각각 요구되는 기능들이 있다. 구체적으로는 각각 그림1과2와 같다. 그림1과2에서 보는바와 같이 index coding을 가능케하기 위해서는 수신단에서 이미 성공적으로

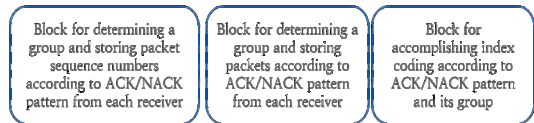


그림 1. Index coded broadcast를 위한 송신단 구성  
Fig. 1. Transmitter blocks for index coded broadcast

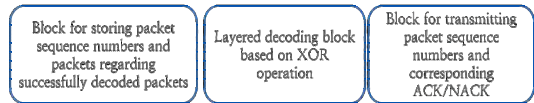


그림 2. Index coded broadcast를 위한 수신단 구성  
Fig. 2. Receiver blocks for index coded broadcast

decoding한 packet들에 대해서 binary 레벨로 저장되어 있어야 하며, 송신단/수신단 모두 packet에 대한 저장 뿐만 아니라, packet sequence number를 저장/관리하는 것이 모두 필요하다.

### 2.2.5 구현적인 측면

Index coding은 적어도 두 개 이상의 packet에 대해서 XOR 연산을 기반으로 하기 때문에 multiple packet sequence number들에 대한 전송이 불가피하다. 따라서, 해당하는 packet에 대한 sequence number들을 naive하게 전송하는 대신 한 개의 packet sequence number를 기준으로 나머지 packet sequence number들에 대해서는 차이만을 전송하는 방법을 생각할 수 있다.

아울러, 수신단에서 packet에 대한 decoding을 위해서는 system matrix를 만들고 해당하는 matrix inversion이 필요하다. 따라서, matrix inversion에 대한 low complexity scheme의 확보 또한 고려되어야 한다.

한편, 국내적으로 3GPP eMBMS 서비스에 대한 연구가 활발하게 진행되었고[9-11], 3GPP 규격에서는 broadcasting service를 위한 기술적인 논의가 활발하게 진행되고 있다[12]. 이와 관련하여 현재로는 사용자의 feedback이 없는 broadcasting에 초점을 맞추어 표준화가 진행되고 있다. 셀을 기준으로 coverage가 제대로 확보되지 않은 지역에서는 사용자의 feedback이 없는 한 오류에 대한 회복이 어렵다. 따라서, mission critical과 같은 신뢰성의 확보가 필요한 broadcasting과 같은 service를 위해서는 사용자의 feedback에 대한 고려 및 재전송을 효율적으로 할 수 있는 index coding 기반의 broadcasting이 필요할 것으로 예상된다.

### 2.3 성능 비교

Delay tolerant한 멀티미디어 서비스를 가정하고, 충분한 packet 양을 고려하여 기존의 scheme과 (Naive

broadcast) index coding 기반의 scheme의 (index coded broadcast) 총 송신 packet의 개수를 비교하였다. 기존의 scheme은 ACK/NACK 기반으로 사용자 한 명이라도 NACK을 보낸 packet에 대해서는 다시 재전송하는 것이고, index coding 기반의 scheme은 index coding을 기반으로 효율적으로 전송하는 기법을 뜻한다. 이 분석은 평균적인 의미에서의 총 송신 packet의 수를 뜻하며, 10,000개의 packet을 가정하였다.

그림 3은 packet error rate이 0.01부터 0.1인 경우의 전체 송신 packet의 개수를 나타낸다. K=2인 경우도 index coded broadcast의 상대적인 packet 전송 효율성을 알 수 있다. K가 증가하면 index coding의 총 전송 packet 개수 측면에서의 효율성이 더욱 두드러짐을 예상할 수 있다. 물론, 전체 전송 packet 수 측면에서의 성능과 구현 복잡도 사이의 trade-off 관계는 아래표와 같이 존재하며, 성능과 구현 사이의 균형적인 선택은 필요하다. 구

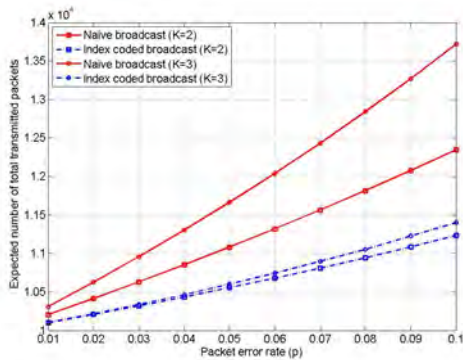


그림 3. Index coding을 한 경우와 하지 않은 경우의 broadcast scheme의 총 (평균적인 관점에서의) 송신 packet 수 (raw data가 10,000개의 packet인 경우)

Fig. 3. Expected numbers of total transmitted packets of broadcast schemes with and without index coding

표 6. Naive broadcast와 index coded broadcast 비교표  
Table 6. Performance and complexity of naive broadcast and index coded broadcast

	Performance	Complexity
Naive broadcast	Relatively higher number of retransmitted packets are required.	- 1 packet sequence number management
Ergodic index coded broadcast	Relatively lower number of retransmitted packets are required based on index coding.	- Multiple packet sequence number management - Requirement for store regarding successfully decoded packets

체적으로는, 저장장치의 유한성 및 broadcast 서비스의 tolerance 정도를 고려하여 양 극단 사이의 (Naive broadcast와 Ergodic index coded broadcast) 적절한 scheme을 적용해야 할 것이다.

### III. 결 론

본 논문에서는 사용자 수 일반적인 사용자 수 K인 경우에 delay tolerant한 broadcasting service를 효율적으로 제공하기 위한 방안을 구체적으로 제시하였다. 송수신단에서 index coding을 활용하여, 송수신단에서는 여러 packet들을 XOR 연산을 기반으로 코딩하여 보내고 수신단에서는 이미 성공적으로 수신한 packet을 바탕으로 제대로 수신하지 못한 packet들을 성공적으로 수신되 재전송횟수는 크게 줄일 수 있음을 보였다. 이와 같은 코딩 기법은 통신 신호의 reliability가 보장되어야 하는 통신 서비스에 효과적으로 적용될 수 있다.

### References

- [1] 3GPP TR 23.768 v12.1.0, *Study on architecture enhancements to support group communication system enablers for LTE (GCSE\_LTE)*, 2014.
- [2] 3GPP TS 22.179 V13.0.0, *Mission critical push to talk (MCPTT) over LTE: Stage 1*, Dec. 2014.
- [3] 3GPP TS 23.246 V12.4.0, *Multimedia broadcast/multicast service (MBMS); architecture and functional description*, Dec. 2014.
- [4] Alcatel-Lucent, *eMBMS for more efficient use of spectrum*, Nov. 2011.
- [5] MarketWatch, *Sequans and Huawei collaborate to advance LTE broadcast technology*, Dec. 2013.
- [6] Qualcomm Press Release, *Qualcomm demonstrates live public LTE-TDD broadcast*, May 2014.
- [7] S. E. Rouayheb, A. Sprintson, and C. Georgiades, "On the index coding problem and its relation to network coding and matroid theory," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 56, no. 7, pp. 3187-3195, Jul. 2010.
- [8] T. Oshima and T. Wadayama, "Index ARQ protocol for reliable contents distribution over

broadcast channels,” *arXiv:1503.08933v1[cs.IT]*, Mar. 2015.

- [9] J. Kim and S. Moon, “Evolved-MBMS: Mobile IP TV technique for 3GPP LTE,” *J. KICS, (Inf. and Comm. Mag.)*, vol. 30, no. 2, pp. 66-74, Jan. 2013.
- [10] J. Kim and H. Choi, “A study on the secure and efficient handover scheme for 3GPP MBMS services,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 805-806, Nov. 2009.
- [11] H. Kang and S. Park, “A study on implementation of IGMP extension with E-MBMS for mobile IPTV services,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 549-550, Jun. 2010.
- [12] 3GPP TS 23.246 v12.5.0, *Technical specification on group services and system aspects; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description*, 2015.

**최 상 원 (Sang Won Choi)**



1998년 3월~2002년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업  
 2002년 3월~2004년 3월: KAIST 전자전산학과 전기 및 전자공학전공 석사  
 2004년 3월~2010년 1월: KAIST

전기 및 전자공학과 박사  
 2010년 2월~2014년 3월: 삼성전자 무선사업부 책임연구원  
 2014년 4월~현재: 한국철도기술연구원 ICT융합연구팀 선임연구원  
 <관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 통신 신호처리, 특수 목적 통신, 공공 안전망, 단말 알고리즘 개발, ICT융합기술 연구개발

**김 주 엽 (Juyeop Kim)**



2000년 3월~2004년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
 2004년 3월~2010년 1월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2010년 3월~2011년 2월: KAIST Institute IT융합연구소 박사후 연구원

2011년 4월~2013년 12월: 삼성전자 무선사업부 책임연구원  
 2014년 1월~현재: 한국철도기술연구원 ICT융합연구팀 선임연구원  
 <관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 사물인터넷, 철도전용 통합무선망, SW 공학, ICT융합기술 연구개발

**김 용 규 (Yong-Kyu Kim)**



1984년: 단국대학교 학사  
 1987년: 단국대학교 석사  
 1993년: 프랑스 로렌 국립공학원 (INPL) DEA  
 1997년: 프랑스 로렌 국립공학원 (INPL) 박사  
 1997년~현재: 한국철도기술연

구원ICT융합연구팀 수석연구원  
 <관심분야> ICT융합기술 연구개발