

# 3G 방송망에서의 효율적인 멀티미디어 전송을 위한 유틸리티 기반 하이브리드 에러 복구 기법

(A Utility-Based Hybrid Error Recovery Scheme for  
Multimedia Transmission over 3G Cellular Broadcast Networks)

강 경 태 <sup>†</sup>    조 용 진 <sup>†</sup>    조 용 우 <sup>†</sup>    조 진 성 <sup>\*\*</sup>    신 현 식 <sup>\*\*\*</sup>  
(Kyungtae Kang)    (Yongjin Cho)    (Yongwoo Cho)    (Jinsung Cho)    (Heonshik Shin)

**요 약** cdma2000 1xEV-DO 이동통신 시스템은 멀티미디어 데이터 전송에 대한 요구 증가를 수용하기 위하여 브로드캐스트와 멀티캐스트 서비스(BCMCS)를 제공한다. 이러한 데이터 브로드캐스트 서비스를 제공하기 위해서는 무선 전송 채널의 특성 즉 유선에 비해서 에러 발생 빈도가 높고 신뢰성이 떨어진다는 사실을 고려해야 한다. 따라서 전송 에러의 복구를 위해 MAC 계층에서 순방향 에러 교정(FEC: Forward Error Correction)을 사용하며, BCMCS에서는 순방향 에러 교정을 위해 리드-솔로몬(Reed-Solomon) 코딩을 사용한다. 본 논문에서는 먼저 리드-솔로몬 코딩의 성능을 분석하였고, 그 결과가 이 방식이 천천히 움직이는 모바일 노드에 대해 취약함을 확인하였다. 따라서 이러한 점을 해결하고 에러 복구 성능을 향상시켜서 MPEG-4 FGS 비디오의 재생 품질을 개선하기 위하여 리드-솔로몬 코딩과 재전송 방법을 혼용한 하이브리드 방식의 에러 복구 기법을 제안하였다. 이는 리드-솔로몬의 코딩 오버헤드를 줄이는 대신, 그 결과로 얻어진 전송 슬롯을 활용하는 방법이다. 이렇게 얻어진 전송 슬롯은 제한적이기 때문에 활용도가 큰 패킷을 우선적으로 재전송 할 필요가 있다. 이를 위해 유틸리티 함수를 제안하였으며, 함수 값은 각 모바일 노드의 에러 제어 블록(ECB: Error Control Block)을 이용해서 계산할 수 있다. 또한 하이브리드 방식의 에러 복구 기법은 MPEG-4 FGS의 특징을 활용하며, 이를 통해 채널의 상태가 불리할 경우는 물론 그렇지 않은 경우에 대해서도 비디오의 평균 재생 품질을 크게 향상시킬 수 있다.

**키워드** : 리드-솔로몬, 하이브리드 에러복구, 브로드캐스트 및 멀티캐스트, MPEG-4 FGS

**Abstract** The cdma2000 1xEV-DO mobile communication system provides broadcast and multicast services (BCMCS) to meet an increasing demand from multimedia data services. The servicing of video streams over a BCMCS network must, however, face a challenge from the unreliable and error-prone nature of the radio channel. The BCMCS network uses Reed-Solomon coding integrated with the MAC protocol for error recovery. We analyze this coding technique and show that it is not effective in the case of slowly moving mobiles. To improve the playback quality of an MPEG-4 FGS video stream, we propose the Hybrid error recovery scheme, which combines Reed-Solomon with ARQ, using slots which are saved by reducing the Reed-Solomon coding overhead. The target packets to be retransmitted are prioritized by a utility function to reduce the packet error rate in the application layer within a fixed retransmission budget. This is achieved by considering of the map of the error control block at each mobile node. The proposed Hybrid error recovery scheme also uses the characteristics of MPEG-4 FGS (fine granularity scalability) to improve the video quality even when conditions are adverse: slow-moving nodes and a high error rate in the physical channel.

**Key words** : Reed-Solomon, Hybrid error recovery, BCMCS, MPEG-4 FGS

<sup>†</sup> 학생회원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부  
ktkang@cslab.snu.ac.kr  
yongjin@cslab.snu.ac.kr  
xtg05@cslab.snu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 경희대학교 전자정보학부 교수

chojs@khu.ac.kr  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수  
shinhs@cslab.snu.ac.kr  
논문접수 : 2006년 2월 13일  
심사완료 : 2006년 4월 20일

## 1. 서론

최근 3GPP(Third Generation Partnership Project)와 3GPP2 그룹은 3세대 이동통신 네트워크에서 브로드캐스트와 멀티캐스트 서비스(BCMCS: Broadcast and Multicast Services)를 지원하기 위한 표준을 만드는 작업에 박차를 가하고 있다[1,2]. 3GPP2 그룹은 cdma-2000 네트워크에서 고속의 브로드캐스트 패킷 데이터 서비스를 제공하는데 필요한 인터페이스에 관한 명세를 정립 하였다[3,4]. 브로드캐스트 서비스는 일반적으로 무선 환경에서 구현되는데, 무선 채널은 유선 채널에 비해서 데이터 전송시 에러율이 매우 높으며 채널 상태가 좋지 않을 때 에러가 연속적으로 발생하는 경향을 보인다. 따라서 에러를 복구하기 위한 방법이 필연적으로 요구되며, 특히 브로드캐스트 서비스에서는 이를 위하여 순방향 에러 방식을 사용한다. BCMCS에서는 MAC 계층의 순방향 에러 교정 방법으로 리드-솔로몬 코딩을 사용하고, 리드-솔로몬 코딩은 연속적으로 발생하는 에러를 효과적으로 교정시킬 수 있다[5,6].

본 연구에서는 현재 리드-솔로몬 코딩의 손실된 패킷에 대한 복구 성능을 다양한 채널 환경과 모바일 노드의 이동 패턴을 적용해서 분석하였다. 그 결과 리드-솔로몬 코딩은 모바일 노드의 이동성이 현저히 떨어지거나, 채널의 패킷 에러율(Packet Error Rate)이 크게 증가하는 환경에서 성능이 크게 저하된다는 것을 확인하였으며, 이를 보완하기 위해서 하이브리드 방식의 에러 복구 기법을 제안하였다. 하이브리드 방법은 리드-솔로몬 코딩의 패리티 정보에 해당하는 부분인 코딩 오버헤드를 줄이는 대신 이로 인해 얻어진 여분의 대역을 활용하여 손실된 패킷을 재전송한다. 즉 현재의 리드-솔로몬 코딩과 재전송 복구 방법을 혼용하여 복구를 수행한다. 이때 손실된 패킷들 중에 재전송하였을 경우 보다 이득이 큰 패킷을 재전송하는데, 이는 응용 계층의 MPEG-4 FGS[7]의 특징을 이용해서 이루어진다. 이를 위해 본 연구에서는 이득이 큰 패킷을 선별하기 위한 유틸리티 함수를 제안하였고, 이 함수의 목적은 크게 두 가지이다. 첫째는 MPEG-4 FGS 비디오의 디코딩과 재생 품질에 공헌도가 큰 패킷을 우선적으로 복구함으로써 보다 끊김 없는 부드러운 화면을 모바일 노드에 제공하는 것이고, 둘째는 주어진 여분의 대역은 제한적이기 때문에 최소의 재전송으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 패킷을 선별하는 것이다.

모든 모바일 노드는 손실된 패킷에 대한 유틸리티 함수 값을 계산하여 보고하며 이렇게 재전송 요청된 패킷들의 유틸리티 함수 값을 토대로 재전송할 패킷들을 스케줄링 한다. 이를 통해 모든 모바일 노드의 상위 계층

에러 손실을 줄이고 비디오의 평균 재생 품질을 향상시킬 수 있다. 실제와 유사한 환경에서의 광범위한 실험을 통해 본 논문이 제안한 하이브리드 에러 복구 방법이 모바일 노드의 느린 이동성과 높은 패킷 에러율 같은 열악한 환경에서는 물론이고 그 밖의 일반적인 서비스 환경에서도 보다 향상된 에러 복구 성능을 보임을 확인하였다. 그 결과 모바일 노드들의 평균적인 비디오 재생 품질도 크게 향상되었다. 이를 통해 브로드캐스트 혹은 멀티캐스트 네트워크에서 보다 고신뢰, 고품질의 멀티미디어 서비스가 가능하며 모든 가입자 노드에게 보다 부드럽고 끊김 없는 비디오 스크린을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 논문과 관련된 연구 분야의 기본 배경을 소개하고, 3절에서는 본 연구의 동기와 본 논문에서 제시하는 하이브리드 에러 복구 방법을 설명하며, 4절에서는 현재 에러 복구 방법의 수학적 분석 모델을 제시한다. 5절에서 실험 결과에 대해서 설명한 후에 마지막으로 6절에서 본 논문의 결론을 언급한다.

## 2. 배경 연구

### 2.1 cdma 2000 1xEV-DO에서의 브로드캐스트

제3세대 동기식 이동통신 시스템을 위한 국제표준단체인 3GPP2는 최근 cdma2000 1xEV-DO 이동통신 네트워크를 이용한 방송서비스인 BCMCS(Broadcast and Multicast Services)에 대한 표준을 제정하였다. 이 표준에 따르면 BCMCS는 기존의 1xEV-DO의 순방향 트래픽 채널(Forward Traffic Channel)을 이용하는 구조로 되어 있으며, 순방향 채널은 1.67ms 길이의 시간 슬롯을 통해 데이터 패킷을 전송한다. BCMCS는 여러 사용자가 데이터 패킷을 동시에 받기 때문에 전송 속도 결정 방식은 기존의 순방향 트래픽 채널의 속도 결정 방식과 다르다. 즉 1xEV-DO 시스템에서 순방향 트래픽 채널의 전송 속도는 단말에서 측정된 순방향 링크의 채널 상태에 따른 데이터 속도를 역방향 링크의 DRC 채널을 통해 기지국에 알려줌으로써 단말이 서비스 받을 수 있는 데이터 속도가 결정되는 반면에[8], BCMCS는 전송 데이터 속도를 기지국이 결정하여 단말기에 메시지로 통보하여 일정한 속도로 데이터 패킷 서비스를 제공한다. BCMCS를 제공하기 위한 cdma2000 네트워크의 기본적인 구조와 cdma2000 망에서 BCMCS를 제공하기 위한 자세한 서비스 절차와 망 구성 요소들의 역할에 대한 내용은 [1,2,9]를 참고하기 바란다.

### 2.2 MPEG-4 FGS 개요

전통적인 멀티미디어 분야의 주 연구 방향은 주어진 전송률 내에서 보다 높은 압축률을 얻는 방법에 대한

것이였다. 하지만 근래에 들어서는 인터넷과 같이 연결 상태, 네트워크 트래픽 등 다양한 환경에 의해 네트워크 채널의 대역폭이 변동되는 패킷망이 멀티미디어 전송 매체로 대두됨에 따라 이러한 가변적 특성을 고려한 여러 멀티미디어 계위 전송방식들에 대한 연구 역시 함께 진행되게 되었다. MPEG은 이러한 가변적 스트림 전송에 대한 요구를 수렴하여 FGS(Fine Granularity Scalability)라는 계위 부호화 방식을 발표하였다.

MPEG-4 비디오의 FGS 방식은 효율적인 압축율을 제공함과 동시에 네트워크 환경에 맞춰 비트전송량을 자유롭게 변경할 수 있도록 한다. FGS방식은 각각의 비디오 프레임에 정보의 우선순위에 따라서 DCT 계수의 비트플레인(bit-plane) 부호화를 활용하여 2개의 계층으로 나누어서 부호화 한다[10]. 이 두 계층 가운데 전체 비디오 스트림의 재생에 있어 필수적인 정보를 포함하는 계층을 기본 계층(base layer)이라고 지칭하는데, 이 계층은 낮은 비트전송량을 가지며, 이 계층을 통해 전송 화상의 최저 화질을 보장받을 수 있다. 나머지 계층은 확장 계층(enhancement layer)이라고 지칭하며, 이 계층의 데이터를 기본 계층의 데이터와 함께 복호화함으로써 더 높은 화질의 화상을 얻을 수 있게 된다. 확장 계층은 기본 계층의 역양자화 및 복호화의 결과로 열화된 화상과 아무런 손실이 없는 원본 화상 간의 DCT 계수 차분에 대한 비트플레인 부호화를 통해 생성된다. 비트플레인 부호화는 각각의 양자화 DCT 계수를 이진 부호화하기 때문에 확장 계층의 모든 비트플레인은 최상위 비트에서부터 최하위 비트에 이르기까지 각 비트별로 고유의 우선순위를 가지게 된다. 이 때 확장 계층은 어떤 비트 크기로도 잘릴 수 있으며, 이 경우 그 비트플레인의 중요도만큼 화질을 향상시키게 된다. 즉 일단 기본 계층의 모든 데이터를 수신한 이후에는 추가로 수신되는 확장 계층 정보의 비트량에 비례하여 화질 향상을 꾀할 수 있게 된다. 이 때 계층 분리에 따른 PSNR의 오버헤드는 최대 2dB 이하임이 확인되었다[11]. 따라서 FGS방식은 매우 효율적인 계위 전송을 가능하게 한다.

한편 기본 계층의 데이터는 채널 오류 발생에 대해 매우 민감하게 영향을 받게 된다. 만일 복호기에 입력된 기본 계층 데이터 가운데 단 하나라도 오류가 발생하게 되면, 이와 관련된 모든 확장 계층의 데이터는 그 오류 여부에 관계없이 무용지물이 되게 된다. 만일 기본 계층 데이터 오류에 대한 복구를 실패하는 경우, 이러한 오류는 다음번 GOP(Group Of Pictures)가 시작되기 전까지의 모든 프레임의 관련 데이터에 대해 지속적인 열화를 초래하게 된다. 기본 계층 데이터의 정확한 전송이 비디오 스트림 재생에 있어 결정적인 영향을 끼치는 데

에 비해, 확장 계층의 데이터는 앞서 기술한 바와 같이 비교적 적은 열화를 가져온다. 즉 확장 계층에서는 오류가 발생하여도 기본 계층이 제공하는 최저 화질 이하로는 화질 열화를 일으키지 않는다. 따라서 이러한 계위성을 활용하기 위해서는 기본 계층을 보다 높은 신뢰도로 전송하여야만 한다. 그런데 현재의 BCMCS 표준에서는 분리된 계층의 전송에 있어 특정 데이터에 대한 우선순위 할당을 고려하지 않기 때문에 전송시의 오류는 모든 계층에 있어 균일하게 발생한다.

### 2.3 현재의 BCMCS에서 에러 복구 방법

cdma2000 1xEV-DO의 유니캐스트(unicast) 서비스와는 다르게 BCMCS는 ACK/NAK를 액세스 네트워크에 전달할 역방향 링크가 없기 때문에 자동 반복 요구(ARQ: Automatic Repeat Request)에 기반을 둔 에러 복구 방법을 사용하지 않는다. 대신에 리드-솔로몬 코딩을 사용하는 순방향 에러 교정을 사용한다[3,4].

그림 1은 현재 BCMCS에서 데이터 전송시 사용되는 에러 복구 방법의 구조를 보여주고 있다. 각각의 논리적 브로드캐스트 채널은  $(N, K, R)$ 의 리드-솔로몬 코드를 이용하는 에러 제어블록(ECB: Error Control Block)을 구성하며 하나의 에러 제어 블록의 행마다  $M$ 개의 MAC 계층 패킷을 갖는다.  $N$ 은 리드-솔로몬 코드워드(code word)내의 옥텟의 수를 나타내며, 송신단의 리드-솔로몬 인코더는  $K$ 개의 데이터 프레임으로부터  $R$ 개의 패리티 프레임 생성한다. 수신단의 리드-솔로몬 디코더는 각각의 코드워드에 대해서 최대  $R$ 개의 옥텟 에러까지를 교정할 수 있다. 리드-솔로몬 코딩은 에러 제어 블록의 열 단위로 적용되고, 전송은 행 단위로 이루어지며, 하나의 MAC 패킷은 하나 혹은 하나 이상의 물리 계층 시간 슬롯을 이용해서 전송된다.

## 3. 하이브리드 에러 복구 방법

### 3.1 연구 동기 및 하이브리드 에러 복구를 위한 전송 슬롯 확보

본 연구에서는 현재의 리드-솔로몬을 이용한 교정 방법이 모바일 노드의 이동성이 현격히 떨어지거나 채널의 수신상태가 악화되어 패킷 데이터가 상당히 긴 시간 동안 연속적으로 손실되는 상황에 효율적으로 대처하지 못함을 성능 분석을 통해 확인하였다. 이와 더불어 패킷 데이터 별로 비디오 재생에 기여하는 공헌도가 다름에도 불구하고 이에 대한 고려가 전혀 없이 모든 패킷의 중요도를 동일하게 처리한다는 것을 알 수 있었다. 이로 인해 채널 상태가 나쁠 경우 비디오 데이터를 수신하는 과정에서 잦은 화면 끊김과 같은 재생 품질 저하가 발생하게 된다. 하이브리드 방식의 에러 복구 기법은 이러한 문제를 보완하기 위하여 리드-솔로몬 코딩과 재전송

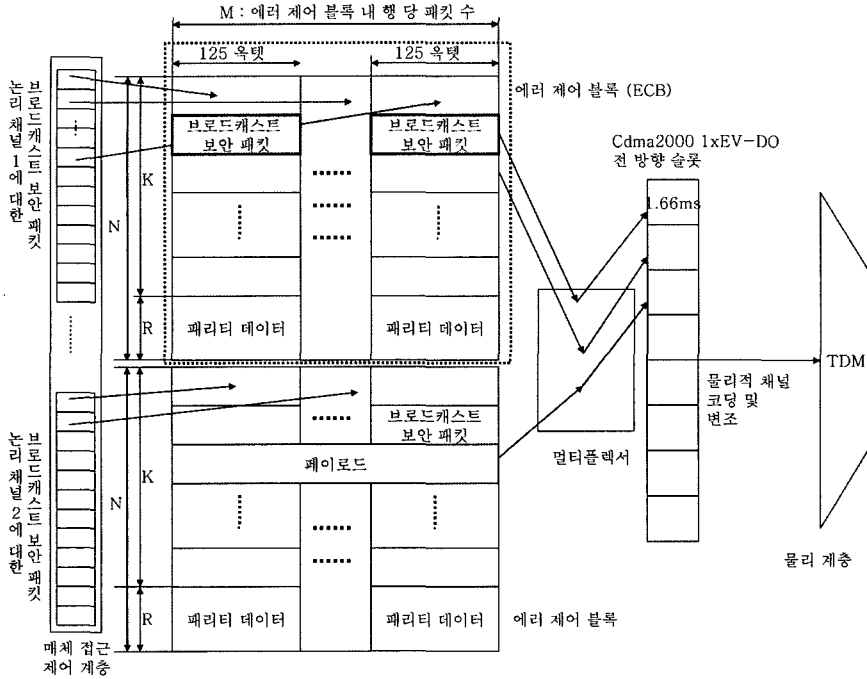


그림 1 에리 제어 블록의 구조와 BCMCS에 대한 데이터 전송 방법

기법을 혼용하여 사용하고, 더불어 패킷 데이터 별로 비디오 디코딩에 기여하는 공현도에 따라 각각 다른 가중치를 줌으로써 극단적인 경우에도 비디오 품질의 저하를 최소화한다.

현재 BCMCS 표준화 문서에 의하면 에리 제어 블록을 구성하기 위해 (16,12,4)와 (16,13,3)과 (16,14,2)의 세 가지 리드-솔로몬 코드가 사용된다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 (16,12,4) 코드는 12개의 데이터 프레임으로부터 4개의 패리티 프레임을 발생시킨다. 마찬가지로 (16,13,3) 코드와 (16,14,2) 코드는 13개와 14개의 데이터 프레임으로부터 각각 3개, 2개의 패리티 프레임을 발생시킨다. 즉 실 데이터를 전송하기 위해 추가적인 패리티 정보인 코딩 오버헤드가 필요함을 알 수 있다. 이를 좀 더 구체적인 예를 통해 살펴보도록 하자. 그림 2는

현재 BCMCS의 MAC 프로토콜 구성요소와 리드-솔로몬의 코딩 오버헤드를 보여준다. BCMCS의 순방향 트래픽 채널의 초당 슬롯의 수는 총 600개이며 만약 450개의 슬롯을 이용하여 보내고자 할 데이터가 있을 때, 실제로 필요한 슬롯의 수는 세 가지 리드-솔로몬 코드에 대해 각각 600개, 554개, 495개임을 알 수 있다. 다시 말해 패리티 정보를 위한 코딩 오버헤드를 줄임으로써 (16,13,3) 코드는 초당 46개의 빈 슬롯을 확보할 수 있으며, (16,14,2) 코드는 초당 105개의 빈 슬롯을 확보할 수 있다. 이 여분의 슬롯들을 활용하여 중요도가 큰 데이터 패킷을 우선적으로 재전송 함으로써 상위 계층의 데이터 손실을 줄일 수 있고, 동시에 응용 계층의 비디오 품질을 향상시킬 수 있다.

3.2 하이브리드 에리 복구 방식에서의 재전송 패킷 선정

앞서 설명한대로 코딩 오버헤드를 줄임으로써 얻어진 제한된 빈 슬롯의 활용도를 극대화 하기 위하여 재전송 패킷을 신중히 선택할 필요가 있다. 따라서 이러한 재전송 패킷 선정을 위하여 크게 두 가지를 고려해야 한다. 첫째, 끊임 없는 부드러운 비디오 스크린을 제공하기 위해서 비디오 디코딩에 더욱 중요한 기본 계층의 패킷을 확장 계층의 패킷보다 우선적으로 복구해야 한다. 둘째, 최소의 재전송으로 최대의 효과를 거두도록 설계함으로써 제한된 개수의 슬롯을 충분히 활용할 수 있도록 해야 한다. 이 두 가지 사항을 모두 반영하여 모든 손실된

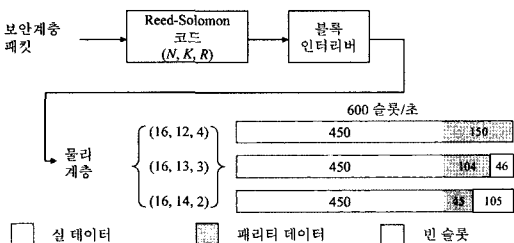


그림 2 BCMCS MAC 프로토콜 구성요소 및 리드-솔로몬의 코딩 오버헤드

패킷들의 중요도를 수식화 하였으며, 이 과정은 본 연구에서 제안한 유틸리티 함수를 통해 이루어진다. 이는 다음의 예를 통해 좀 더 구체적으로 살펴보도록 하였다.

그림 3은 두 모바일 노드의 (16,14,2) 코드에 대한 에러 제어 블록을 보여주고 있다. 각 노드는 물리 계층 전송에 1228.8kbps의 QPSK 변조 방식을 사용하고 MPEG-4 FGS 비디오의 기본 계층과 확장 계층의 전송률은 동일하다고 가정한다. 그리고 MAC 계층 패킷은 125 바이트의 고정 크기를 가지고 물리 계층 패킷의 크기는 256 바이트이므로 에러 제어 블록 내 두 개의 MAC 계층 패킷이 하나의 물리 계층 패킷을 형성하게 된다. 각 노드의 ECB 서브블록은 기본 계층의 패킷 또는 확장 계층의 패킷을 포함하며 패킷 손실이 발생하여 이를 재전송하여 복구할 필요가 발생시 기본 계층의 패킷을 포함한 서브블록의 패킷들을 먼저 재전송한다. 이와 더불어 복구를 수행하기 위해 각각의 서브블록에서 필요한 재전송 개수가 중요한 고려 대상이 된다. 그림 3에서 만약 패킷  $\textcircled{a}$  이 블록(서브블록당 에러가 두 개 이하)에만 국한된다면 이 에러들은 리드-솔로몬에 의해 모두 복구된다. 그러나 연속된 에러의 길이가 증가하여 각 서브블록당 에러의 개수가 세 개 이상으로 증가한다면  $\textcircled{b}$  블록(굵은 사각형 블록)을 포함한 서브블록에서는 1개,  $\textcircled{c}$  블록(점선 사각형 블록)을 포함한 서브블록에서는 2개, 그리고  $\textcircled{d}$  블록(굵은 점선 사각형 블록)을 포함한 서브블록에서는 3개의 손실된 패킷들을 재전송해야만 손실 패킷 모두를 복구할 수 있다. 따라서 재전송시  $\textcircled{b}$ 를 포함한 서브블록내 손실 패킷에 가장 큰 우선순위를 두며, 그 다음  $\textcircled{c}$ 를 포함한 서브블록내 손실 패킷, 그리고  $\textcircled{d}$ 를 포함한 서브블록 내 손실 패킷 순으로 우선순위가 주어진다. 마지막으로 하나의 패킷에 대해서 여러 노드가 재전송을 요구할 경우에는 한번의 재전송

으로 여러 노드에게 혜택이 주어지므로 이러한 패킷에도 가중치를 준다.

위와 같이 손실된 패킷들에 우선 순위를 부여하기 위해 다음과 같이 유틸리티 함수를 사용한다. 유틸리티 함수의 입력은 손실된 패킷이 포함된 클래스(기본 계층 또는 확장 계층) 타입과 해당 서브블록 내 손실 패킷들을 복구하기 위해 재전송해야 할 패킷의 개수이며, 출력은 해당 패킷의 유용성을 나타내는 정수 값( $f_1$ )과 몇 개의 노드가 해당 패킷에 대한 재전송을 요구했는지를 나타내는 중복 계수( $f_2$ )로 구성되는 벡터 값이다. 따라서 손실된 패킷  $\tau_i$ 에 대한 유틸리티 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{utility}(\tau_i) = \langle f_1(\tau_i), f_2(\tau_i) \rangle,$$

$$f_1(\tau_i) = f_{contents}(\tau_i) + (R - N_{retransmission}(\tau_i)).$$

이때  $f_{contents}(\tau_i)$ 는 해당 손실 패킷이 기본 계층에 해당할 경우에는 R의 값을 가지며 반대로 확장 계층에 해당할 경우에는 0의 값을 가진다. 또한  $N_{retransmission}(\tau_i)$ 는  $\tau_i$ 가 포함된 서브블록내 손실 패킷들을 복구하기 위해 필요한 패킷의 개수를 의미한다.  $f_2(\tau_i)$ 는 손실된 패킷  $\tau_i$ 에 대한 재전송을 요청한 노드의 개수로 정의한다. BCMCS의 재전송 스케줄러는 유틸리티 함수의 출력 벡터를 토대로  $f_1$  값이 큰 재전송 패킷을 우선 스케줄링하고 만약 재전송 대상 패킷들의  $f_1$  값이 같을 때는  $f_2$  값이 가장 큰 패킷에 대해 더 높은 우선순위를 준다. 즉  $f_2$  값은 중복 요구된 손실 패킷에 대한 가중치를 주기 위한 용도로 사용된다.

#### 4. 리드-솔로몬 코딩의 성능 분석 모델

##### 4.1 채널 모델 및 성능 모델

본 논문에서는 사전의 연구를 통해서 현재의 리드-솔

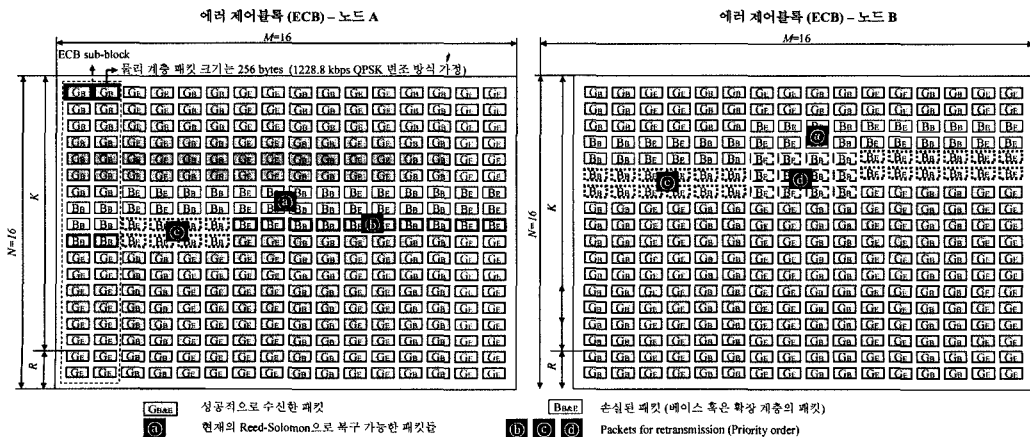


그림 3 에러 제어 블록을 고려한 하이브리드 에러 복구 활용 예

로몬 코딩의 성능을 수학적 모델을 통해 분석하였으며 이러한 분석을 통해 현재 BCMCS 표준에 제안된 복구 기법의 취약성을 찾아내었다. 분석을 위하여 QPSK 변조 방식을 이용한 무선 채널환경을 가정하였으며, 이때 Zorzi[12,13]의 임계 모델에 따라 Rayleigh Fading 채널 상에서의 에러 발생 경향을 first-order 2-state Markov 프로세스를 통해 모델링 하였다. 이때 양호→불량 상태전이 확률을  $\alpha$ , 불량→양호 상태전이 확률을  $\beta$ , 전체 에러 발생확률을  $\epsilon$ 으로 정의하였다.

무선 채널에서는 에러가 연속적으로 발생하기 때문에 단순히 임의의 패킷이 에러인지에 관한 확률만 가지고는 분석 할 수 없다. 따라서 연속한 에러의 길이를 고려해야 한다. 이와 같은 무선 채널의 에러발생의 특성을 모델링한 수식을 이용해서 리드-솔로몬 코딩으로 에러를 교정한 후에도 남아 있는 손실 패킷의 개수에 대한 확률을 계산할 수 있고, 이를 이용해서 에러 교정후의 패킷 에러율(PER)을 수학적으로 계산할 수 있다. 이에 관한 자세한 사항은 [14] 논문을 참조하기 바란다.

5. 실험을 통한 분석

5.1 실험 환경

본 연구에서는 실험을 위해 채널당 가입자 수가 균등하게 분포된 4개의 비디오 채널을 브로드캐스트하는 환경을 사용하였다. 각 채널로 전송되는 비디오는 초당 30개 프레임을 응용 계층에 전달하는 Foreman MPEG-4 FGS 스트림을 사용하였다. 이러한 비디오를 처리하기 위한 MPEG-4 FGS 코덱으로는 MoMuSys[15] 인코더와 디코더를 사용하였고, 비디오의 기본 계층 전송률과 확장 계층 전송률은 110 kbps로 동일하게 인코딩되어 있다고 가정하였다. 각 채널별로 인코딩된 비디오 데이터는 1228.8 kbps의 데이터 전송률을 가지는 QPSK 방식으로 변조되고, 256바이트씩 한 개의 물리 계층 순방향 슬롯을 통해 단말로 전달된다.

하위 계층으로부터 받는 패킷의 에러 패턴에 영향을 끼치는 요소는 페이딩 값( $f_a N_{BL} T$ ,  $N_{BL}=256$  bytes)

[12,13], 패킷 에러율 ( $\epsilon$ ) 2가지가 있다. 페이딩 값은 모바일 노드의 이동성에 관련된 요소로써 상당히 느리게 이동하는 모바일 노드를 위해 0.001~0.003을 주고, 비교적 천천히 이동하는 노드를 위해 0.01~0.03의 값을 주어서 실험을 하였다. 그리고 패킷 에러율은 0.01에서 0.05까지를 가변적으로 조정하였다. 리드-솔로몬 코드는 하이브리드 방식을 사용하지 않은 (16,12,4) 코드와 하이브리드 방식을 사용한 (16,13,3)\*, (16,14,2)\* 코드(\*는 하이브리드 방식을 사용함을 의미함)를 사용하여 실험하였으며, 에러 제어 블록의  $M$ (ECB 행당 MAC 패킷의 수) 값은 가장 좋은 복구 성능을 취하기 위하여 16을 사용하였다. 이러한 다양한 조건을 바탕으로 수행한 실험을 통해 에러 복구 후 상위 계층으로 전달되는 패킷의 에러 정보를 얻었으며, 이 정보를 반영하여 MPEG-4 FGS 비디오의 품질을 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 측면에서 도출하였다. 그리고 이 값의 비교를 통해 제안한 하이브리드 에러 복구 기법의 우수성을 입증하였다.

5.2 실험 결과

그림 4는 10개의 노드에 대해 채널 수신단의 평균 패킷 에러율을 달리 할 때 기존의 리드-솔로몬의 에러 복구 성능을 보여주는 그래프이다. 왼쪽 그림은 페이딩 값이 0.001과 0.002로 매우 느리게 움직이는 노드에 대한 그래프이고, 오른쪽 그림은 페이딩 값이 0.01과 0.02로 일반적인 보행시의 그래프이다. 왼쪽 그림을 통해서 세 개의 리드-솔로몬 코드 중 가장 좋은 복구 성능을 가지는 (16,12,4) 코드조차도 천천히 이동하는 모바일 노드에 대해서는 복구율이 크게 떨어진다는 것을 알 수 있다. (16,12,4) 코드의 경우 페이딩 값이 0.001일 때 채널 수신단의 패킷 에러율이 0.01이면 복구 후 패킷 에러율이 0.0068로 복구율이 32%에 불과하고, (16,14,2) 코드는 그 정도가 더욱 심해 복구율이 13%에 지나지 않는다. 또한 페이딩 값이 0.002일 때에도 (16,12,4) 코드와 (16,14,2) 코드의 복구율은 각각 62%와 31%에 불과하다. 이에 비해 오른쪽 그림에서와 같이 페이딩 값이 0.01,

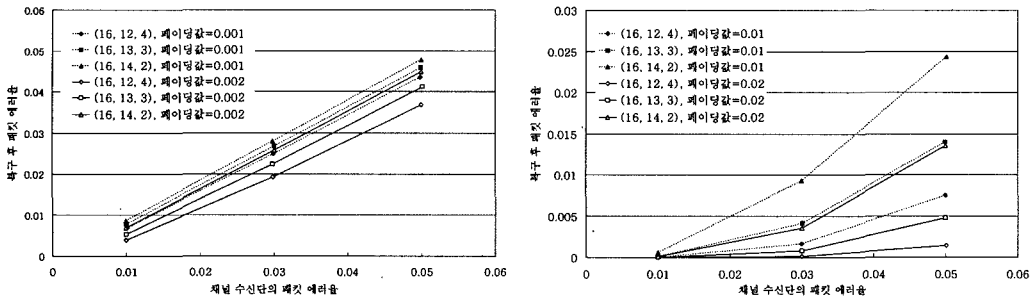


그림 4 페이딩 값과 채널 수신단의 패킷 에러율에 따른 상위 계층 패킷 에러율

0.02일 때 즉 노드가 상대적으로 더 빨리 움직일 때에는 복구율이 증가한다. 이러한 결과를 종합해 볼 때 모바일 노드가 빨리 이동하는 경우보다 천천히 이동하는 경우에 기존의 리드-솔로몬 코딩의 에러 복구 성능이 상대적으로 크게 감소한다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 기존의 리드-솔로몬 코딩과 제안한 하이브리드 방식의 에러 복구 기법의 성능을 페이딩 값 0.001과 0.002에 대해 비교한 것이다. 실험에는 기존의 리드-솔로몬 코딩만 사용한 (16,12,4) 코드와 하이브리드 방식을 사용한 (16,13,3)\*, (16,14,2)\* 코드를 사용하였다. 모바일 노드의 수는 20개와 40개를 사용하였는데, 이는 하이브리드 방법이 고정된 개수의 전송 슬롯을 활용하여 재전송을 하는 방식이어서 에러 복구 성능이 모바일 노드의 수에 의존적이기 때문이다. 그리고 (16,13,3)\* 코드와 (16,14,2)\* 코드는 MPEG-4 FGS 비디오의 확장 계층 패킷보다 기본 계층 패킷을 우선적으로 복구하기 때문에 각 계층의 패킷 에러율과 평균 패킷 에러율을 구분하여 표시하였다. 반면 (16,12,4) 코드는 두 계층을 구분하여 고정하는 방식이 아니기 때문에 복구 후 두 계층의 평균 패킷 에러율은 같을 수 밖에 없고, 따라서 평균 패킷 에러율만 표시하였다. 그림을 통해서 페이딩 값 0.001, 0.002 모두 제안한 하이브리드 방식이 기존의 리드-솔로몬 코딩에 비해 복구 후 평균 패킷 에러율이 낮고 이 차이는 기본 계층의 경우에 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 모바일 노드의 수가 40으로 증가하

면 20일 때에 비해 하이브리드 방법의 복구 후 패킷 에러율이 다소 증가하지만, 여전히 리드-솔로몬 코딩에 비해 복구율이 향상되며 기본 계층의 패킷 에러율도 상당히 크게 감소한다는 것도 알 수 있다. 즉 하이브리드 방식을 이용하면 MPEG-4 FGS 비디오의 디코딩에 공헌도가 훨씬 큰 기본 계층의 패킷 에러율을 큰 폭으로 감소 시킴으로써 보다 향상된 재생 품질을 얻을 수 있으며 화면의 끊김 현상을 크게 줄일 수 있다.

본 연구에서는 위와 비슷한 실험을 페이딩 값 0.01과 0.02에 대하여도 수행하였으며, 그 결과에 대한 그래프는 그림 6에서 정리하였다.

그림 6은 이동성이 더 큰 모바일 노드들에 대한 에러 복구 성능 역시 기존의 리드-솔로몬 코딩에 비해 제안한 하이브리드 에러 복구 기법의 성능이 우수함을 보여준다. 채널 수신단의 패킷 에러율이 0.01 미만일 경우에는 두 복구 방식의 복구 후 평균 패킷 에러율이 거의 차이가 없다. 즉 채널의 상태가 좋을 때는 모바일 노드의 수와 상관없이 비슷한 수준의 복구 성능을 보인다. 그러나 채널의 상태가 악화되어 수신단의 패킷 에러율이 증가하면 제안한 하이브리드 에러 복구 방법의 복구 후 평균 패킷 에러율이 상대적으로 크게 감소함을 알 수 있다. 이는 채널의 상태가 나빠질수록 에러가 더 연속적으로 발생하기 때문에 리드-솔로몬 에러 교정 방법의 성능이 급감함을 보여준다. 그러나 이러한 경우에도 하이브리드 에러 복구 방법은 기 설명한 바와 같이 최

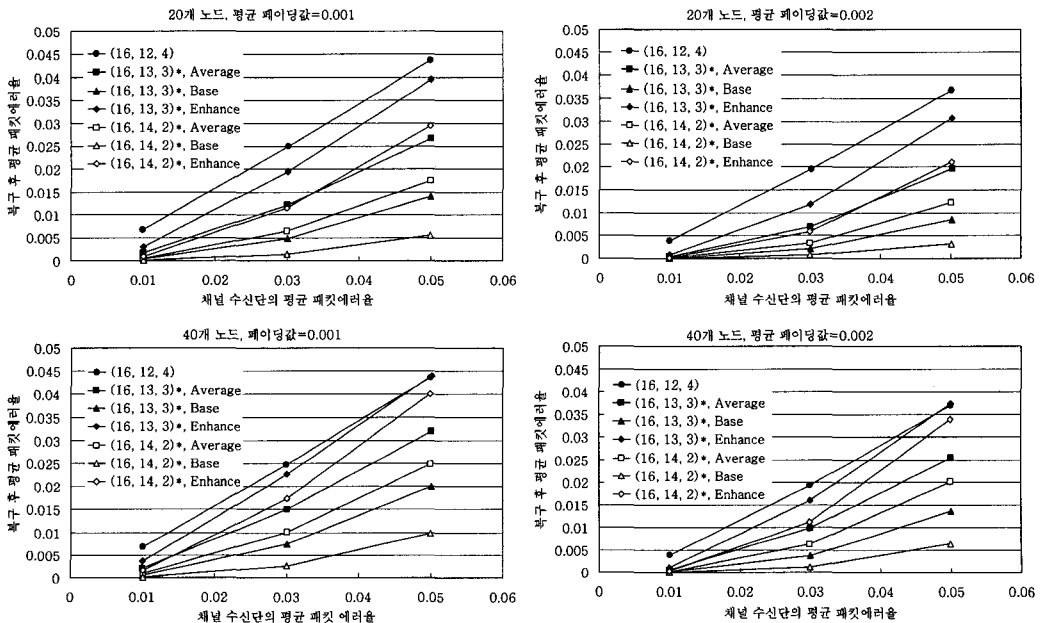


그림 5 하이브리드 에러 복구 방식과의 성능 비교 (페이딩 값 0.001과 0.002)

소의 재전송으로 가능한 많은 손실 패킷들을 복구할 수 있기 때문에 복구 후 상대적으로 훨씬 낮은 평균 패킷 에러율을 보인다. 두 방식의 상대적인 성능 차이는 채널의 상태가 더욱 악화될수록 더욱 증가한다.

위의 그림 5와 그림 6을 통해 제안한 하이브리드 에러 복구 방법이 느린 모바일 노드에 대해서뿐만 아니라 빠른 모바일 노드에 대해서도 기존의 방식에 비해 향상된 복구 성능을 보임을 확인하였다. 또한 특정 비디오 채널에 대한 가입자 수가 증가하거나, 채널의 수신 상태가 악화되어도 좋은 복구 성능을 보이며, 특히 기본 계층의 패킷을 우선적으로 복구함으로써 응용 계층의 비디오 재생 품질을 크게 향상 시킬 수 있다.

그림 7은 두 가지 페이딩 값에 대한 서비스 지역내에 있는 모든 모바일 노드들의 평균 PSNR 값을 보여주고 있다. 채널 수신단의 평균 패킷 에러율은 3%와 5%이며 서비스 지역내의 가입자 수는 20과 40으로 실험하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이 하이브리드 복구 방식을 사용하였을 경우에 평균 비디오 품질이 향상 되었으며, 특히 페이딩 값이 0.001과 같이 작을 때 즉 노드의 이동성이 작거나 채널 수신단의 평균 패킷 에러율이 증가할 때 그 폭이 훨씬 커짐을 알 수 있다. 또한 증가폭이 다소 감소하기는 하지만 노드의 수가 40일 때에도 여전히 평균 PSNR 값이 증가하며, 특히 (16,14,2)\* 코드를 사용하였을 때에 평균 PSNR 값이 가장 좋음을 확인할 수 있다. 모바일 노드의 이동성이 커져 페이딩 값이

0.01일 때에도 역시 평균 비디오 품질이 향상된다. 비록 그 증가 폭은 극히 미미한 수준이지만 개별적인 노드들의 측면에서는 큰 의미를 가진다. 즉 하이브리드 방식을 사용하였을 경우에는 기본 계층의 패킷 복구율이 향상됨으로써 화면의 끊김 현상을 최소화 할 수 있다. 이 결과는 그림 8을 통해 확인할 수 있다.

앞서 언급한대로 비록 페이딩 값이 크고 채널의 패킷 에러율이 낮아 기존의 복구 방식과 하이브리드 에러 복구 방법의 결과적인 평균 PSNR 값 차이는 매우 작더라도, 개별적인 노드에서의 PSNR 값 추이를 보면 제안한 하이브리드 에러 복구 방법의 우수성을 쉽게 확인할 수 있다. 그림 8은 채널 수신단의 평균 패킷 에러율이 3%이고 서비스 지역 내 총 노드의 수가 40일 때 임의의 한 노드를 선택한 후, 그 노드에서 재생되는 비디오의 PSNR 추이를 그래프로 보여주고 있다. 그림에서 PSNR 값이 5dB 가까이 떨어지는 부분은 기본 계층의 패킷 손실에 기인한 것인데, (16,12,4) 코드에 비해 (16,14,2)\* 코드를 사용하였을 때 기본 계층의 패킷 손실이 감소함을 확인할 수 있다. 그 결과 비디오 재생시의 화면 끊김도 감소한다. 만약 페이딩 값이 작거나 채널의 상태가 악화되어 패킷 에러율이 증가한다면 제안한 복구 방식의 상대적인 장점이 더욱 부각된다.

5.3 연산 복잡도에 대한 분석

연산 복잡도는 기지국과 단말의 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다. 우선 기지국에서의 연산 복잡도는 유턴

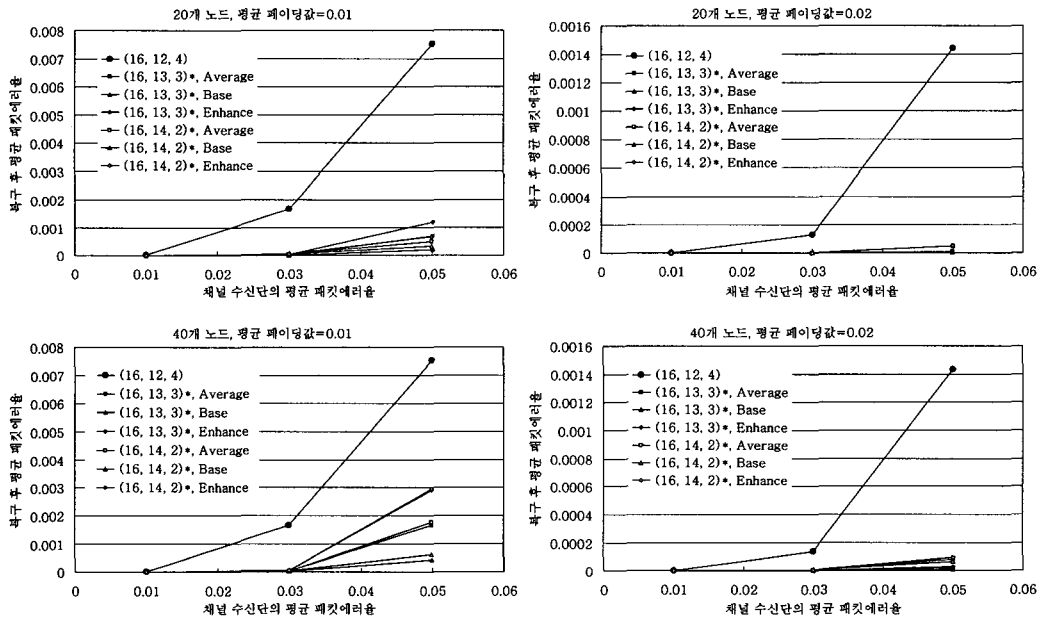


그림 6 하이브리드 에러 복구 방식과의 성능 비교 (페이딩 값 0.01과 0.02)



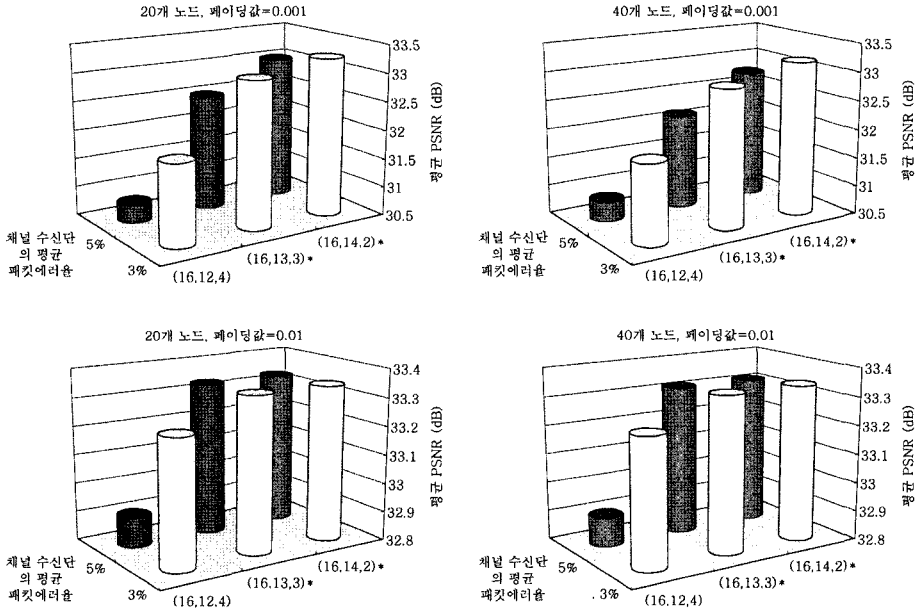


그림 7 평균 비디오 재생 품질(PSNR) 비교 (페이딩 값 0.001과 0.01)

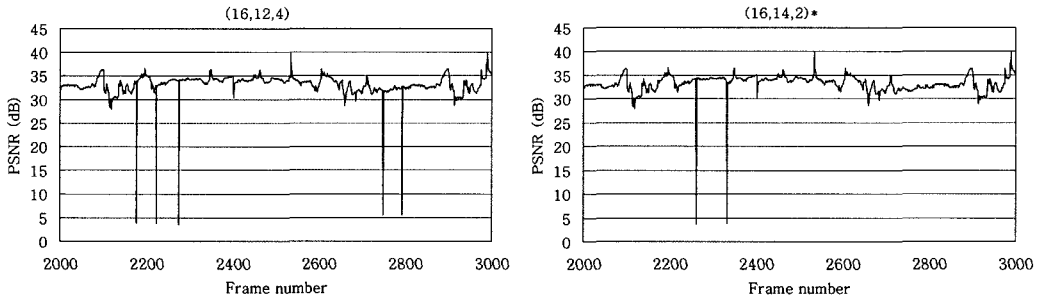


그림 8 임의의 노드에서의 PSNR 값 추이 비교 (페이딩 값 0.01)

리티 함수 값을 정렬하는 과정으로 생각해 볼 수 있으며 이 과정은 간단한 정렬 알고리즘으로 구현 가능하며 최소  $O(n)$ 의 시간 복잡도로 처리할 수 있다. 또한 단말의 경우 재전송에 대한 처리는 기존 유니캐스트 서비스에서 사용되는 ARQ 메커니즘을 그대로 활용하여 구현 가능하며 이에 대한 처리 블록은 하드웨어적으로 구현되기 때문에 오버헤드가 작다. 결국 추가되는 연산 복잡도는 ECB블럭 내 각 MAC 패킷들의  $N_{retransmission}$  값에 대한 계산이다. ECB 서브 블록내 모든 손실 패킷은 동일한  $N_{retransmission}$  값을 가지므로 이 과정은 결국 ECB블록 내의 각 서브 블록별로 패킷 에러의 개수를 검사하는 것이며 따라서  $O(n)$ 의 복잡도를 가진다. ECB의 서브 블록은 16개 이하로 정의되어 있기 때문에 계산 시간은 상수값으로 결정된다.

### 6. 결론

본 연구에서는 현재 리드-솔로몬 코딩의 손실된 패킷에 대한 교정 성능을 다양한 채널 환경과 모바일 노드의 이동 패턴을 적용해서 분석하였으며, 그 결과 특정 조건 즉 노드의 이동성이 현저히 떨어지거나 채널의 패킷 에러율이 큰 환경에서의 복구율이 크게 저하됨을 확인하였다. 이에 대처하고자 기존의 리드-솔로몬에 기반한 에러 복구 기법의 코딩 오버헤드를 줄여서 그 결과로 얻어진 추가의 대역을 활용하여 재전송 하는 하이브리드 방식의 에러 복구 기법을 제안하였다. 주어진 대역을 충분히 활용하기 위하여 재전송 시에도 비디오의 재생에 대한 공헌도가 큰 데이터에 우선순위를 두며, 더불어 최소의 재전송으로 최대한 많은 패킷을 복구할 수 있도록 하였다. 이와 같은 개념을 반영하기 위하여 손실

된 패킷에 대한 중요도를 수식화하기 위한 유틸리티 함수를 제안하였으며, 재전송 패킷에 대한 스케줄링은 각 손실 패킷들의 유틸리티 값을 토대로 이루어진다. 본 연구에서는 가능한 실제와 흡사한 채널 모델을 활용하여 기존의 리드-솔로몬 에러 교정 방법과 제안한 하이브리드 에러 복구 방법의 성능을 비교하였다. 더불어 하이브리드 에러 복구 방법의 성능 개선이 응용 계층의 MPEG-4 FGS 비디오의 재생 품질을 크게 향상시키며, 이러한 결과는 비단 특정 조건 즉 이동성이 작은 환경에만 국한 되지 않고, 특히 채널의 패킷 에러율이 크거나 혹은 서비스 지역내의 브로드캐스트 서비스 가입자의 수가 증가하는 경우에도 적용될 수 있음을 확인하였다. 이와 같이 데이터 송수신에 발생하는 데이터 손실을 효율적으로 처리함으로써 무선 패킷망에서의 멀티미디어 서비스에 대한 기대를 충분히 충족시킬 수 있을 것으로 예상된다.

**참 고 문 헌**

[1] J. Wang, R. Sinnarajaj, T. Chen, Y. Wei, E. Tiedemann, and QUALCOMM, "Broadcast and multicast services in cdma2000," IEEE Communications Magazine, vol. 42, no. 2, pp. 76-82, February 2004.

[2] 3GPP2 X.P0019 v0.1.3, "Broadcast-multicast services (bcmcs) framework draft document," August 2003.

[3] P. Agashe, R. Rezaifar, P. Bender, and QUALCOMM, "Cdma2000 high rate broadcast packet data air interface design," IEEE Communications Magazine, vol. 42, no.2, pp. 83-89, February 2004.

[4] 3GPP2 C.S0054 v1.0, "Cdma2000 high rate broadcast-multicast packet data air interface specification," February 2004.

[5] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, 1983.

[6] W. J. Ebel and W. H. Tranter, "The performance of Reed-Solomon codes on a bursty-noise channel," IEEE Transactions on Communications, vol. 43, no. 234, pp. 298-306, February/March/ April 1995.

[7] ISO/IEC 14496-2, Coding of Audio-Visual Objects - Part2, May 2004.

[8] 3GPP2 C.S0024 33.0, "Cdma2000 high rate packet data air interface specification," December 2001.

[9] K. Kang and J. Cho and H. Shin, "Dynamic packet scheduling for cdma2000 1xEV-DO Broadcast/Multicast services," Proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol.4, pp.2393-2399, March 2005.

[10] W. Li, F. Ling, and H. Sun, "Bitplane coding of dct coefficients," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG97/M2691, October 1997.

[11] W. Li and Y. Chen, "Experiment result on fine

granularity scalability," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG99/M4792, March 1999.

[12] M. Zorzi and R. R. Rao, "On the statistics of block errors in bursty channels," IEEE Transactions on Communications, vol. 45, pp. 660-667, June 1997.

[13] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "Error statistics in data transmission over fading channels," IEEE Transactions on Communications, vol. 46, no. 11, pp. 1468-1477, November 1998.

[14] 조용진, 조용우, 김준우, 강경태, 신현식, "cdma2000 브로드캐스트 네트워크에서의 에러 복구 성능 분석," 한국정보과학회 추계학술발표회 논문집, 제32권 제2호, 157-159쪽, 2005년 12월.

[15] A. Pearmain, A. Carvalho, A. Hamosfakidis, and J. Cosmas, "The momsys mpeg-4 mobile multimedia terminal," Proceeding of 3rd ACTS Mobile Summit Conference, pp. 224-229, June 1998.

강 경 태

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 33 권 제 1 호 참조



조 용 진

2005년 경북대학교 기계공학부(이학사)  
2005년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 석사과정. 관심분야는 차세대 모바일 통신, 모바일 컴퓨팅, 실시간 비디오 코딩 및 전송

조 용 우

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 33 권 제 1 호 참조



조 진 성

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
1994년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사). 2000년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학박사). 1997년 4월~8월 IBM T.J. Watson Research Center Visiting Researcher. 1999년 9월~2003년 2월 삼성 전자 책임연구원. 2003년 3월~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 조교수. 관심분야는 Mobile Computing & Network, Embedded Systems & Software

신 현 식

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 33 권 제 1 호 참조