

3G 네트워크에서 MPEG-4 스케일러블 비디오의 실시간 방송을 위한 실행시간 예측 기반 MAC계층 오류제어

강경태*, 노동건**

MAC-Layer Error Control for Real-Time Broadcasting of MPEG-4 Scalable Video over 3G Networks

Kyungtae Kang*, Dong Kun Noh**

요약

본 논문에서는 CDMA2000 1xEV-DO의 매체 접근 제어 계층에서 현재 순방향 오류 정정 방법으로 사용되고 있는 리드-솔로몬 복호화 과정의 수행 시간을 다양한 채널 조건에서 분석하였다. 그 결과, 트래픽 채널의 패킷 손실률이 특정 수준 이상으로 높을 경우 리드-솔로몬 복호기의 수행 시간이 길어져 MPEG-4 비디오의 시간 제약을 보장할 수 없음을 확인하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 3가지의 기법을 제시하였다. 첫째, 정적 기법은 패킷 손실률이 특정 임계값 이상일 경우 리드-솔로몬 복호를 생략함으로써 MPEG-4의 시간 제약을 맞춘다. 두 번째 동적 기법은 패킷 손실률이 높더라도 모든 리드-솔로몬 복호를 생략하지는 않고 MPEG-4의 시간 제약을 맞출 수 있는 범위 안에서 최대한으로 복구를 수행한다. 마지막 기법인 비디오 인지 동적 기법은 동적 기법과 비슷하지만 비디오 복호에 대한 기여도에 따른 우선 순위 기반으로 복구를 함으로써 비디오의 품질을 더욱 향상시키는 것이다. 우리는 본 논문에서 제안한 기법들을 활용하는 것이 실시간 비디오방송의 서비스 품질을 크게 향상시킬 수 있음을 다양한 실험을 통해 입증하였다.

▶ Keywords : 오류제어, 실시간 방송, 리드-솔로몬 코딩, MPEG-4 스케일러블 비디오

Abstract

We analyze the execution time of Reed-Solomon coding, which is the MAC-layer forward error correction scheme used in CDMA2000 1xEV-DO broadcast services, under different air channel

•제1저자 : 강경태 •교신저자 : 노동건

•투고일 : 2014. 1. 16, 심사일 : 2014. 2. 10, 게재확정일 : 2014. 3. 2.

* 한양대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University)

** 송실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012M3C4A7032182).

conditions. The results show that the time constraints of MPEG-4 cannot be guaranteed by Reed-Solomon decoding when the packet loss rate (PLR) is high, due to its long computation time on current hardware. To alleviate this problem, we propose three error control schemes. Our static scheme bypasses Reed-Solomon decoding at the mobile node to satisfy the MPEG-4 time constraint when the PLR exceeds a given boundary. Second, dynamic scheme corrects errors in a best-effort manner within the time constraint, instead of giving up altogether when the PLR is high; this achieves a further quality improvement. The third, video-aware dynamic scheme fixes errors in a similar way to the dynamic scheme, but in a priority-driven manner which makes the video appear smoother. Extensive simulation results show the effectiveness of our schemes compared to the original FEC scheme.

▶ Keywords : Error control, real-time broadcasting, Reed-Solomon coding, MPEG-4 scalable video

I. 서 론

무선 환경에서 제공되는 방송 서비스는 노트북이나 PDA와 같은 이동 기기에서의 TV 시청을 가능하게 하였다. 방송 서비스는 다양한 표준 제정 기구에 의해서 표준화되어 왔으며, 최근에는 상업적 용도로 사용되기 시작하였다 [1][2]. 이는 추후 무선 환경에서 멀티미디어 어플리케이션이 핵심 응용이 될 가능성이 상당히 높다는 사실을 반증한다.

무선 환경은 유선 환경보다 데이터 전송 시 오류의 발생 확률이 높다. 따라서 전송 시 패킷이 손실될 경우 원래의 데이터를 복구하고 활용하기 위한 오류 정정 기법이 필요하다. 보통 다중 사용자를 위한 방송 서비스를 위해 순방향 오류 정정 기법의 활용이 권장되고 있는데 그 이유는 비디오 스트림의 실시간 특성에 대한 지원 요구와 반 신뢰성에 대한 허용 특성(즉 멀티미디어 데이터는 어느 정도의 데이터 손실은 감수할 수 있으나 전송 지연, 지터와 같은 시간 제약에 민감하다) 때문이다. 현재 CDMA2000 방송 서비스 상에서는 매체 접근제어(Medium Access Control, MAC) 계층에서 리드-솔로몬 코딩이 순방향 오류 정정 방법으로 사용되고 있다 [3][4]. 그러나 리드-솔로몬 부호는 오류의 효율적인 복구보다는 정확한 복구에 초점을 맞추고 있기 때문에 이 방식을 수정 없이 그대로 도입할 경우, 고품질 방송 서비스를 제공하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 MPEG-4를 주요한 멀티미디어 응용으로 설정하였다. MPEG-4 표준은 부드러운 이미지 전송을 위하여 정확한 시간 제약을 규정하고 있지만 리드-솔로몬 코딩 기법은 이러한 시간 제약을 맞추기 위한 특별한 메커니즘을 제공하지 않는다. 따라서 우리는 이 문제를 해결하기 위한 세 가지 기법, 즉 정적, 동적 그리고 비디오 인식 동적 기법을 제안하였다. 제안한 기법들은 만약 MPEG-4의 필수 시간 제약을 지키기 힘든 경우 리드-솔로몬 부호를 생략한다는 공통점이 있다. 정적 기법은 채널의 조건이 기준 이하일 경우 조건 없이 리드-솔로몬 부호화 과정을 생략하며 동적 기법은 주어진 시간, 즉 시간 제약 조건을 만족할 수 있는 한도 내에서 최대한으로 복구를 수행 한다. 그리고 비디오 인식 동적 기법은 MPEG-4 FGS [5][6]의 특성을 고려한 우선 순위 기반 복구 정책을 취한다. 이러한 정책을 취하는 동기는 MPEG-4의 시간 제약조건을 만족시키지 못할 경우에 발생하는 비디오 복호 시스템의 초기화로 인해 동작이 중단될 경우 심한 화면 끊김과 왜곡 현상을 야기할 수 있기 때문이다.

시뮬레이션을 통해 위에 제안한 3가지 기법들을 이용함으로써 MPEG-4 FGS 비디오의 전송 효율을 크게 향상시킬 수 있음을 검증하였다. 특히 비디오 인식 동적 기법이 가장 좋은 성능을 보였으며, 그 다음으로 동적 기법, 정적 기법 순으로 성능 향상을 보였다. 특히, 전송 채널의 수준이 악화될수록 제안한 오류제어 정책들의 상대적인 성능이 우수함을 실험적으로 입증하였다. 그 결과, 보다 선명하고 끊김 없는 비디오 화면을 사용자에게 제공하고 고 수준의 방송 서비스를

제공할 수 있다.

본 연구는 다음과 같은 차별성과 장점을 가진다. 첫째, 기존의 셀룰러 망을 이용한 방송 서비스 최적화 기술들은 대부분 비동기망을 전제로 하며, CDMA2000와 같이 비동기 방식을 사용하는 망 환경에서의 방송 서비스 최적화 기술은 매우 드문 상황이다. 둘째, 본 논문은 CDMA2000 1xEV-DO 방송 서비스라는 기술적 배경을 채택하고 표준이 제안하는 다양한 서비스 인자들을 정확히 파악하여 성능 평가를 수행하였다. 따라서 방송 서비스에 대한 기술이 매우 상세하고 접근 방식이 매우 구체적이다. 셋째, 본 연구는 실시간 비디오 스트리밍과 MPEG-4 FGS 디코더의 시간 제약성을 고려한다. 비디오 디코더의 실시간 요구조건을 고려할 때, 채널 조건에 따라 오류 제어를 포기하는 것이 최선을 다해 손실 데이터의 복원을 시도하는 것보다 재생 비디오의 단절을 줄이고 평균 PSNR 품질을 향상시키는데 오히려 효과적이라는 다소 역외의 결과를 도출하였다. 끝으로, 본 논문에서는 기존 시뮬레이션 틀을 이용하지 않고 물리 계층부터 응용 계층까지 Cross-Layer로 비디오의 전송 성능 평가를 수행할 수 있는 프레임워크를 개발하고 성능 평가에 사용하였다. 따라서 다양한 확장, 혹은 프로토콜 수정에 쉽게 대응할 수 있다.

II. MPEG-4 계층형 비디오의 실시간 스트리밍을 위한 선행 조건

3GPP2 표준 그룹은 CDMA2000 1xEV-DO 기반 망에서 고품질의 방송 서비스를 제공하기 위한 국제 방송 규격을 제안한 바 있다 [2]. 이를 통하여 주문형 비디오와 같이 사용자 개개인에게 비디오 콘텐츠를 제공하는 단방향 서비스의 단점을 보완하고 멀티미디어 데이터를 다수의 가입자들에게 보다 효율적으로 전송하기 위한 다양한 기술을 제안하고 있다. 이 장에서는 최근 이슈화 되고 있는 스케일러블 비디오의 한 종류인 MPEG-4 FGS (Fine Granularity Scalability) 비디오의 일반적 개요를 살펴보고, 특히 실시간 비디오 스트리밍에 필요한 시간 제약 조건 대해서 언급하도록 하겠다.

1. MPEG-4 FGS 개요

MPEG 작업 그룹은 적응성 있는 스트림 전송을 다루기 위해서 Fine Granularity Scalability (FGS)라고 불리는 계층형 비디오 코딩 방식을 소개하였다. MPEG-4에서의 FGS 비디오 코딩은 효율적인 비디오 압축을 제공할 뿐만 아니라 변화하는 네트워크의 상태에 맞는 비트율로의 조율을 가능하

게 한다.

FGS 방식은 이산 코사인 변환의 비트-평면 코딩을 사용하여 우선순위에 기반 한 기본 계층과 확장 계층의 2가지 계층으로 나누어 부호화 한다 [7]. 기본 계층은 전체 비디오 복호화에 반드시 필요한 부분이다. 이는 일반적인 비트율로 전송 가능하고 최소한의 화면 품질을 보장한다. 확장 계층은 복호화 된 화면의 품질을 보다 더 향상시키기 위한 화면의 자세한 정보를 포함하고 있다. 이 계층은 이산 코사인 변환이나 양자화와 같은 이미지 변환에 의해서 감쇄된 이미지와 원본 이미지의 차이를 추출하는 비트-평면 이산 코사인 변환 계층 코딩에 의해서 생성된다. 비트-평면 코딩이 각각의 양자화된 이산 코사인 변환 계층을 10진수가 아닌 2진수로 표현하기 때문에 데이터 스트림의 비트-평면은 최상위 비트에서 최하위 비트에 이르는 중요도의 단계를 가지게 된다. 따라서 비트 수를 줄이기 위해서 중요도가 낮은 확장 계층을 제거할 수 있다. 비디오 화면의 품질은 기본 계층을 모두 받은 후 확장 계층의 수가 많을수록 향상되지만 확장 계층을 전혀 받지 않더라도 PSNR Peak Signal-to-Noise Ratio)의 측면에서 화면의 품질은 최대 2dB 밖에 차이가 나지 않는다 [8]. 이러한 FGS 방식의 채택으로 인해 효율적인 적응형 비디오 전송이 충분히 가능해졌다.

하지만, 기본 계층이 채널 오류에 상당히 민감하고 만약 기본 계층에 오류가 있다면 그 계층에 해당하는 확장 계층을 수신하더라도 수신된 확장 계층은 버려지게 된다. 또한, 만약 기본 계층에 있던 오류가 발견되지 않고 복호화 된다면 이 오류는 다음 GOP (Group of Pictures)로 이전되고 이는 결국 다음 프레임 화질에 심각한 영향을 주게 된다. 확장 계층은 기본 계층에 비해서 보다 더 강한 내성이 있고 이 계층에서의 오류는 아무리 많이 발생해도 기본 계층이 보장하는 한 최악의 화질 이하로 품질이 저하되지 않는다.

따라서 이러한 계층적 구조에 효율적으로 오류 정정 기법을 적용하기 위해서는 내성이 강하고 덜 중요한 확장 계층 보다는 내성이 약하고 품질에 절대적인 영향을 주는 기본 계층의 오류 정정에 초점을 맞추어야 한다. 하지만 현재 BCMCS 상에서의 순방향 오류 정정 방법은 앞서 설명한 바와 같이 정확한 오류 정정에 초점을 맞추기 때문에 FGS의 계층적 구조를 그대로 반영한다면 기본 계층과 확장 계층에서 동등한 비율로 오류가 발생, 복구될 것이고 오류 정정을 통한 화질 향상이 크지 않을 것이다.

2. MPEG-4 비디오 스트림 전송시 고려해야 할 실시간 제약

MPEG-4는 입력에서 시스템 복호기까지 최대 100ms의 지연을 요구한다. 이런 시간 제약이 지켜지지 않으면 이어지는 프레임의 모든 시간 참조가 어긋나고 결국에는 시스템 복호기에서의 모든 비율을 바꿔야 하기 때문에 전체 시스템의 붕괴를 초래한다. 한번 시스템 붕괴가 발생하면 시스템 복호기는 동작을 중지한 후, 모든 버퍼와 시간들을 초기화 한 뒤 재시작 한다.

MPEG-4 전송 스트림 복호화 과정에서 시간 제약과 버퍼 관리에 관한 방법과 시간 참조를 만족시키기 위한 기법은 [9]에 상세히 기술되어 있다.

III. CDMA2000 망에서 고품질 비디오 방송을 위한 무선구간 오류 복구 정책

방송서비스는 무선 네트워크 상에서 대역폭 요구량이 큰 멀티미디어 콘텐츠의 송신을 허용한다. 단방향 서비스에서는 수신자의 지역적인 채널 상태에 따라 전송률이 좌우되지만, 방송서비스에서는 셀 범위 안에 있는 모든 수신자에게 비디오 패킷을 균일하게 제공한다. 따라서 넓은 셀 지역 안에서 일관된 고속 비디오 패킷 전송은 전적으로 오류 복구 기법의 효율적인 사용에 의해 그 품질이 좌우된다.

실질적으로 무선 비디오의 송수신은 높은 오류 발생 비율, 대역폭 변화와 제한, 단말 기기의 성능 제약과 같은 여러 문제점들에 직면한다. 이 중에서도 신뢰성이 떨어지고 오류가 많이 발생하는 무선 환경의 속성의 주된 도전과제이다. 무선 채널은 시간에 따른 페이딩과 간섭, 노이즈 등의 영향을 받으며 이는 연속된 패킷의 손실을 야기한다. 리드-솔로몬 코딩은 CDMA2000 1xEV-DO 방송 표준에 제안된 여러 복구 기법이며, 보통 물리 계층 단에 있는 터보 코딩 위에서 수행되며, 특히 연속된 오류 복구에 효율적이다.

1. 오류제어블록을 이용한 리드-솔로몬 코딩

CDMA2000 1xEV-DO망 기반의 방송 서비스 표준에 제안된 리드-솔로몬 코딩의 자세한 내용과 구조는 [3][4]에 상세히 기술되어 있다. 기지국은 각각의 논리 채널에 대해서 오류제어블록 (Error Control Block: ECB)을 생성한다. 이 과정 동안에 데이터는 오류제어블록 상에서 열로 채워진다. 기지국은 그 후에 리드-솔로몬 코딩을 오류제어블록의 행 별

로 수행하고 데이터는 열 단위로 물리적 슬롯에 전송된다. 그리고 이 슬롯들은 하나 혹은 그 이상의 물리 계층 패킷을 형성한다. 이 과정에서 리드-솔로몬 코드는 (N,K,R)이라는 매개 변수를 사용하는데, 각각 코드워드 내 전체 바이트의 수, 데이터 바이트의 수, 그리고 패리티 바이트의 수를 의미한다. 복호기는 각각의 코드 워드에 대해서 제거된 R 개의 오류까지를 복원할 수 있다.

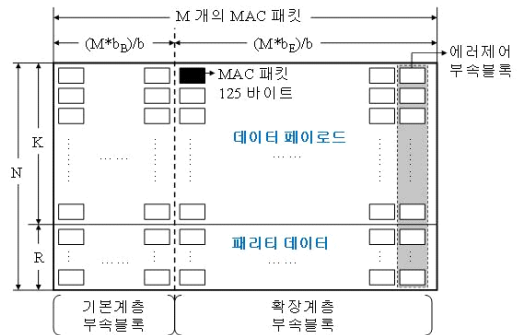


그림 1. 오류제어블록의 논리적 구조
Fig. 1. Logical structure of ECB

오류제어블록 구조를 이용하여 공간적으로 연속된 오류를 시간적으로 분산 배치함으로써 오류를 효율적으로 복구하는 것이 가능하다. 오류제어블록에서 각각의 열에 있는 매체 접근 제어 계층 패킷의 수를 M 이라고 하자 (그림 1). M 값이 증가할수록 시간 다양성도 증가하고 시간 변화에 따른 섀도잉(Shadowing) 환경에 있는 단말기는 여전히 많은 양의 손실 패킷을 복원할 수 있다.

MPEG-4 FGS 비디오 전송을 고려한 오류제어블록의 구성은 그림 1에서 나타내고 있다. 기본 계층과 확장 계층의 전송 비율이 각각 b_B 와 b_E 라고 가정할 때, 이들의 전송 비율은 $b_B : b_E$ 가 된다. 오류제어블록에서 기본 계층과 확장 계층은 그림 1과 같이 부속 블록별로 분리되어 저장된다. 만약 $(M * b_B)/b$ 와 $(M * b_E)/b$ 의 값이 모두 정수이고 M 보다 작다면, 모든 부속 블록은 겹치는 부분 없이 기본 계층이나 확장 계층만으로 설정할 수 있다. 이런 계층 간의 분리는 MPEG-4의 시간 제약으로 인해 모든 오류의 정정이 불가능할 경우에 우선순위에 기반 하여 중요한 계층을 우선적으로 복구할 수 있도록 해준다.

2. 리드-솔로몬 디코딩 프로세스의 실행시간 분석

CDMA2000 1x를 지원하기 위해 많이 사용되는 칩셋 솔루션은 퀄컴 MSM5000 Mobile Station Model (MSM)이다. 이는 ARM7TDMI core를 마이크로프로세서로 사용한다. 그림 2는 ARM7TDMI를 탑재한 이동기기에서의 오류제어블록 당 리드-솔로몬 복호화 시간을 SEE (Seoul National University Energy Explorer [10])를 이용하여 측정한 결과이다. 사용한 리드-솔로몬 부호는 (16,12,4)이며 M값은 2로 가정하였다.

그림 2는 패킷 손실률과 수행 시간이 비례관계에 있음을 단적으로 보여준다. 특히, 패킷 손실률이 0%일 때는 수행 시간이 불과 8ms에 불과하였으나 10%로 증가하였을 때는 160ms까지 증가한다. 이 그래프로부터, 패킷 손실률 3%까지는 리드-솔로몬 복호화 과정을 평균 100ms 이내에 완료할 수 있음을 알 수 있다.

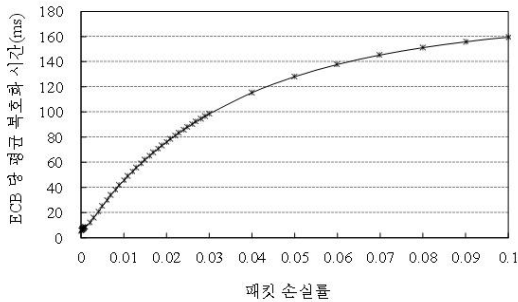


그림 2. M=2일 때 패킷 손실률에 따른 오류제어블록 당 평균 리드-솔로몬 복호화 시간

Fig. 2. Average RS execution time per ECB against the packet loss rate (PLR), when M=2

IV. 시간 제약성을 고려한 실시간 오류 복구 기법의 제안

본 연구에서는 MPEG-4의 시간 제약을 만족시키면서 비디오의 품질을 향상할 수 있는 3가지 기법, 즉 정적 기법, 동적 기법, 비디오인식 동적 기법 등을 제안한다. 각각의 기법은 의사 코드와 함께 설명될 것이다.

1. 정적 기법

앞서 언급한 바와 같이 MPEG-4는 입력에서 시스템 복호기까지 최대 지연시간 100ms를 보장해야 한다. 이를 위해,

우리는 단말기에서 패킷 손실률과 수행시간 사이에 비례 관계를 이용하여 리드-솔로몬 복호화 과정이 최대 지연 시간 안에 수행될 수 있는지의 여부를 예측하는 정적인 기법을 제안하고자 한다. 이 기법은 시스템이 MPEG-4 시간 제약을 지키지 못하는 경우 리드-솔로몬 복호화 과정을 생략한다 (그림 3의 사코드 참조). Pmax를 리드-솔로몬 복호화가 수행될 수 있는 최대 패킷 손실률이라고 하자. 이 전 장의 실험 환경 상에서 우리는 Pmax 값이 3%임을 보았다. 리드-솔로몬 복호화를 위해 오류제어블록이 구성될 때, 단말기는 물리 계층의 패킷 손실률에 관한 정보를 함께 받는다. 이때 물리 계층에서 받은 패킷 손실률을 물리 패킷 손실률, 리드-솔로몬 복호화 후의 패킷 손실률을 복구 패킷 손실률이라고 정의한다. 만약 현재 물리 패킷 손실률 P가 Pmax 값 보다 크게 되면 단말기는 리드-솔로몬 복호화 과정을 생략하며, 반대의 경우에 대해서만 리드-솔로몬 복호화를 수행하여 오류를 복구한다.

정적 기법은 만약 P가 Pmax보다 크다면, 오류제어블록 처리 주기 내 어떠한 아무런 일도 하지 않는다. 즉, 패킷 손실률이 임계값 이상이 되더라도 MPEG-4의 시간 제약을 충족하는 한도 내에서는 최대한의 오류를 복구할 수 있음에도 불구하고 이를 방지하기 때문에 매우 수동적인 방법이라 할 수 있다.

```

P_max = threshold_PER;
P = received_PER;
if ( P < P_max ) {
    while (there_is_a_codeword) {
        do_RS_decoding();
    }
}
    
```

그림 3. 정적기법에 대한 의사코드
Fig. 3. Pseudo code of the static scheme

2. 동적 기법

동적 기법은 리드-솔로몬 코드워드 내 오류의 개수와 복호화 시간과의 비례 관계에 근거하여 허용 가능한 최대 지연 시간 안에서 오류를 최대한으로 복구를 시도하는 기법이다. Tmax값을 MPEG-4의 시간 제약인 100ms로 설정하고, 주어진 시간 Tmax까지 남은 시간을 T라고 가정하자. f(n)함수는 n개의 오류를 포함한 리드-솔로몬 코드워드를 복구하는데 걸리는 시간을 계산하는 함수를 나타낸 것이다. 우선 T 값을 Tmax로 초기화 한다. 리드-솔로몬 복호기가 코드워드를 처리할 때 마다 f(n)을 계산하고 이 값을 T 값과 비교한다. 이때 만약 T 값이 f(n) 보다 작다면 복호기는 현재 코드워드의 리드 솔로몬 복호화 과정을 생략하고 다음 코드워드 넘어간다. 이와 같은 과정은 마지막 코드워드에 도달하거나 하나의

오류라도 복구할 만한 시간이 더 이상 없을 때까지 반복적으로 수행 된다 (그림 4 의사코드 참조). $f(n)$ 값을 계산하기 위해서 우리는 리드-솔로몬 코드워드 내 에러의 수에 따른 복호화 시간을 측정하였으며 그 결과는 그림 5에 도시하였다.

```

T_max = threshold_time;
T = T_max
while (there_is_a_codeword || T > f(0)) {
    n = number_of_errors;
    if (f(n) < T) {
        do_RS_decoding();
        T = T - f(n);
    }
}

```

그림 4. 동적기법에 대한 의사코드
Fig. 4. Pseudo code of the dynamic scheme

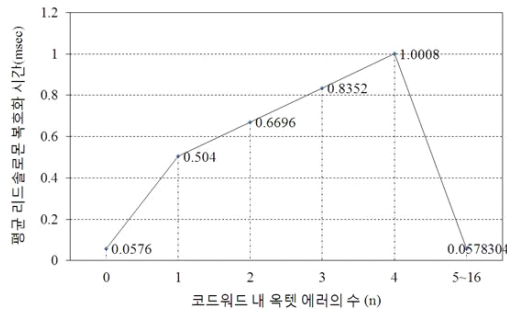


그림 5. 코드워드 내 비트 에러의 수에 따른 리드-솔로몬 평균 복호화 시간
Fig. 5. Average execution times for decoding an RS codeword with different numbers of octet errors

3. 비디오 인식 동적기법

비디오 인식 동적 기법은 기본적으로는 동적 기법과 같은 방법을 사용하지만 MPEG-4 스케일러블 비디오의 기본 계층과 확장 계층을 구분한다는 점에서 차이점이 있다. MPEG-4 FGS에서 기본 계층과 확장 계층이 특정 비율로 전송이 되며 상대적으로 기본 계층이 비디오 재생에 더욱 중요하다는 사실은 이미 앞 장에서 언급한 바 있다. 이 기법에서는 기본 계층을 포함한 부속 블록이 먼저 복구가 되고 시간이 허용하는 범위 내에서 확장 계층을 포함한 부속 블록을 복구한다.

이 기법의 의사 코드는 그림 6에 나타났다. 복구되어야 할 코드워드를 F 라고 하고 나머지는 동적 기법에서 설명했던 것과 동일하게 정의한다. 처음에 동적 기법에서 한 것과 같이 T 값을 T_{max} 로 초기화 한다. 이 알고리즘은 여유 시간이 있고 복구되어야 할 부속 블록이 남아 있는 동안 반복적으로 수행 된다. 우선 기본 계층의 코드워드를 $find_base_codeword()$ 함수에 의해서 찾는다. 만약 복구가 되지 않은 기본 계층의

리드-솔로몬 코드워드가 존재한다면, 그 코드워드가 우선적으로 복구 되며, 그 이후에도 여전히 여유 시간이 존재할 경우에만 오류를 포함하고 있는 확장 계층의 리드-솔로몬 코드워드를 $find_enhancement_codeword()$ 함수를 사용하여 검출하고 주어진 시간 내 포함된 오류들을 복원한다.

```

T_max = threshold_time;
T = T_max
while (there_is_a_codeword || T > f(0)) {
    F = find_base_codeword();
    if (F == NULL)
        F = find_enhance_codeword();
    n = number_of_errors;
    if (f(n) < T) {
        do_RS_decoding(F);
        T = T - f(n);
    }
}

```

그림 6. FGS 인식 동적기법에 대한 의사코드
Fig. 6. Pseudo code of the FGS-aware dynamic scheme

V. 실험 및 결과

1. 실험환경

본 연구에서는 실험을 위해 초당 30개 프레임으로 부호화된 Foreman MPEG-4 FGS 스트림을 사용하였으며, MoMuSys [11] MPEG-4 FGS 부호기와 복호기를 사용하였다. 비디오의 기본 계층 전송률과 확장 계층 전송률은 각각 120 kbps로 동일하게 부호화되어 있으며 QPSK로 변조된 후 307.2 kbps의 전송률로 순방향 슬롯을 통해 단말로 전달 된다. 물리 계층으로 전송되는 패킷의 크기는 128 바이트이며 패킷 내 페이로드의 크기는 125 바이트로 가정하였다. 전송 중 발생하는 패킷 손실률은 1%, 3%, 5%, 7%, 그리고 단말을 휴대한 사용자의 이동 속도는 약 10km/h정도로 설정하였다.

리드-솔로몬 코드는 (16,12,4)를 사용하였으며 오류제어 블록의 M (ECB 행 당 패킷의 수) 값은 2에서 8 사이로 설정하였다. 무선 전송 중 발생하는 오류에 대한 통계적 정보 및 오류의 발생 패턴은 Zorzi 등에 의해 제안된 마르코프 모델에 기반한 Threshold [12] 모델을 사용하여 추출하였다. 이 정보를 토대로 리드-솔로몬 부호화 과정 시뮬레이터는 에러 처리 후 잔존 에러에 대한 패턴을 생성한다. 생성된 패턴을 MPEG-4 FGS 비디오에 삽입한 서비스의 품질을 원래의 비디오와 복원된 비디오의 차이에 해당하는 PSNR (Peak

Signal-to-Noise Ratio (13)) 측면에서 도출하였다. 그리고 이 값의 비교를 통해 제안한 오류 복구 기법들의 우수성을 입증하였다.

2. 실험 결과

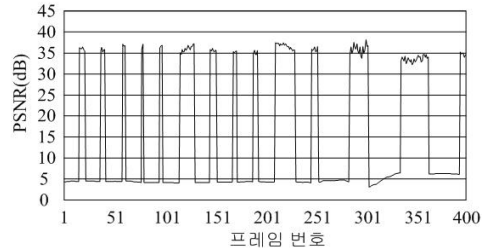
그림 7은 MPEG-4 FGS비디오의 실시간 특성을 고려한 에러처리 정책을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대해 재생시간에 따른 PSNR의 추이 결과를 M=2일 때를 기준으로 보여준다. 에러 제어 정책을 전혀 사용하지 않을 경우, 복호기는 오류제어블록 내 모든 코드워드들에 대해 복호화를 시도한다. 특히 채널의 수준이 크게 악화될 경우 리드-솔로몬 복호화에 오랜 시간이 소요되며 종종 MPEG-4의 시간 제약을 지키지 못하는 상황을 초래하게 되는데 이때 PSNR 값은 한번 떨어진 후 시스템 리셋을 위해 오래 동안 약 3dB 수준을 유지하게 된다. 이로 인한 잦은 화면 단절로 인해 사용자의 채감 서비스 만족도가 크게 떨어지게 된다.

그림 7(b)는 제안한 정적 기법을 사용하였을 경우, 결과로 얻어지는 비디오의 품질 결과를 보여준다. 기존 기법과 비교하였을 경우, PSNR 값이 약 3dB 정도로 떨어지더라도 곧바로 정상 수준으로 복구됨을 알 수 있다. 이는 정적 기법이 MPEG-4의 시간 제약을 맞추지 못할 것으로 예상되는 경우 잔존 코드워드들에 대한 리드-솔로몬 복호화 과정을 생략하기 때문이다. 그 결과, MPEG-4 FGS 복호 시스템의 재 초기화 과정이 발생하지 않으며 PSNR 값도 정상 근처로 바로 복구된다.

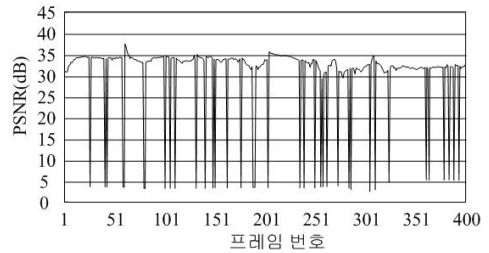
그림 7(c)는 동적 기법의 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 정적 기법보다 적은 변동을 보여주고 있다. 이는 동적 기법이 허용된 시간 안에서 최대한의 오류를 복구하기 때문이다. 적은 변동은 보다 더 부드러운 비디오 품질을 제공함을 의미한다. 끝으로 그림 7(d)는 비디오 인식 동적 기법의 결과를 보여주는데 그림에 보는 바와 같이 이 기법이 가장 적은 PSNR 변동을 보여주고 있으며 평균 PSNR 값은 33.29dB에 이른다.

테이블 1은 기존 기법과 제안된 기법들의 평균 PSNR 값을 정량적으로 비교하고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 패킷 손실률이 1%일 때는 기존의 기법과 제안한 실시간 오류처리 기법들 간 큰 차이가 없다. 오류의 발생률이 낮을 경우 에러 처리 정책에 무관하게 리드-솔로몬 복호화가 MPEG-4 시간 제약 안에 수행될 수 있기 때문이다. 그러나 채널의 오류율이 증가할수록 기존의 기법과 제안된 기법들 사이에 평균 PSNR 값 차이가 증가한다. 예를 들어, 패킷 손실률이 5%이고 M 값이 2일 때 기존 기법의 PSNR이 15dB인 반면 정적 기법

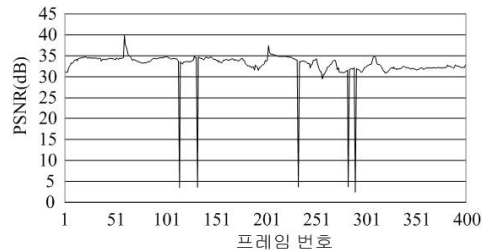
은 30dB, 동적 기법은 31.2dB, 그리고 비디오 인식 동적 기법은 32.9dB이다. 우리가 실험한 모든 오류 발생률에 대해 비디오 인식 정적 기법이 평균 PSNR측면에서 가장 좋은 결과를 보였으며, 그 다음으로 동적 기법, 정적 기법 순으로 비디오 품질에 긍정적인 영향을 준다는 사실을 알 수 있다.



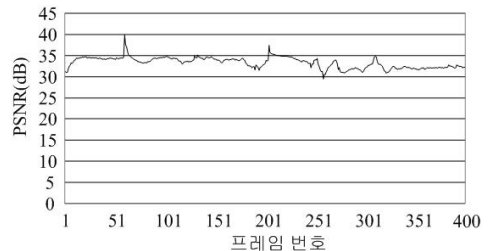
(a) 기존 기법



(b) 정적 기법



(c) 동적 기법



(d) 비디오 인식 동적 기법

그림 7. 제안한 에러 복구 정책에 의한 PSNR 추이
Fig. 7. PSNR fluctuations by the proposed schemes

표 1 제안한 에러 복구 정책에 의한 평균 PSNR
Table 1 Average PSNR by the proposed schemes

M	패킷 손실률	기존기법	정적기법	동적기법	비디오인식 동적기법
2	1%	32.246	32.462	33.283	33.345
	3%	17.325	31.297	32.914	33.101
	5%	14.976	30.005	31.171	32.877
	7%	12.457	29.687	30.783	32.641
4	1%	32.415	32.763	33.389	33.345
	3%	23.294	33.105	33.223	33.310
	5%	20.369	31.238	32.100	32.425
	7%	17.524	30.530	31.712	32.001
6	1%	32.711	32.954	33.345	33.345
	3%	27.157	33.212	33.345	33.345
	5%	24.392	31.780	32.317	32.875
	7%	20.243	30.937	32.104	32.754
8	1%	33.342	33.344	33.345	33.345
	3%	30.123	33.314	33.345	33.345
	5%	28.143	32.815	32.901	33.342
	7%	25.958	31.572	32.778	33.330

단위 (dB)

VI. 결론

본 논문에서는 CDMA2000 1xEV-DO 환경에서 고 품질의 MPER-4 FGS방송 서비스를 제공하기 위하여 순방향 오류 정정 방법으로 현재 사용되고 있는 리드-솔로몬 알고리즘의 실행 시간을 코드워드 내 에러의 개수에 따라 측정하였으며, 이 결과를 토대로 MPEG-4 시간 제약을 만족하는 오류 복구 기법을 제안하였다.

MPEG-4에서 시간 제약이 지켜지지 않는다면 전체 시스템은 재 초기화 되어야 하고 이로 인한 단절은 사용자의 인식 품질을 급감시킨다. 이를 해결하고자 우리가 제안한 정적 기법은 현재 패킷 손실률을 기준으로 이 값이 정해진 임계값 보다 높을 때는 리드-솔로몬 복호화 과정을 생략함으로써 시간 제약의 준수를 보장한다. 동적 기법은 같은 접근 방식이지만 허용되는 시간 안에 최대한의 오류를 복구하고자 시도하며, 마지막으로 비디오 인식 동적 기법은 우선순위에 기반 하여 기본 계층의 오류를 우선적으로 복구함으로써 비디오에 대한 사용자의 체감 만족도를 높이고자 한다. 실험 결과 이 세 가지 기법 모두 기존의 에러처리기법 대비 PSNR의 측면에서 품질 향상을 보였으며, 특히, 비디오 인식 동적 기법은 다른 기법들 대비 상대적으로 비디오 품질을 향상시키는데 효과적인임을 실험으로 입증하였다.

비록 최근 국내외 4G LTE열풍이 불고 있는 것이 사실이지만 여전히 3G 가입자가 차지하는 비율이 여전히 30%를 육박하고 있으며, 일부 국가의 3G 망 사용비중은 여전히 높은

상황이다. 따라서 상대적으로 시뮬레이션이 간단하여 성능 평가가 용이한 3G망 기반으로 제안한 우선순위 기반 실시간 오류 제어 정책에 대한 잠재력을 신속히 가늠해 보는 것이 나름 의미 있는 연구 활동이라고 볼 수 있다. 그러나 궁극적으로 제안한 데이터 처리 정책을 다양한 차세대 망에 접목하여 성능 평가를 수행하는 것이 향후 기술적인 도전 과제임은 두말할 필요가 없을 것이다.

참고문헌

- [1] F. Hartung, U. Horn, J. Huschke, M. Kampmann, and T. Lohmar, "MBMS-IP multicast/broadcast in 3G networks," *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, vol. 2009, Article ID 597848, 2009.
- [2] S. Hua, Y. Guo, Y. Liu, H. Liu, and S.S. Panwar, "Scalable Video Multicast in Hybrid 3G/Ad-Hoc Networks," Vol. 13, No. 2, pp. 402-413, Apr. 2011.
- [3] K. Kang, J. Ryu, S. Choi, K.-J. Park, and J. Hur, "Toward energy-efficient error control in 3G broadcast video," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 19, No. 6, pp. 60-67, Dec. 2012.
- [4] J.-F. Weng, J.-C. Chen, K.-W. Cheng, "Comparative study of broadcast and multicast in 3GPP and 3GPP2 networks," *Computer Communications*, Vol. 31, No. 17, pp. 4220-4229, Nov. 2008.
- [5] ISO/IEC 14496-2, Coding of Audio-Visual Objects - Part2, May 2004.
- [6] X. Wei, "MPEG-4 video compression optimization research," *Proc. International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP)*, Vol. 8285, Oct. 2011.
- [7] W. Li, F. Ling, and H. Sun, "Bitplane coding of DCT coefficients for image and video compression" *Proc. Visual Communications and Image Processing*, Vol. 3653, Jan. 1999.
- [8] H. Yang and X. Jing, "Adaptive scalable video coding for wireless networks," *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless*

Communications (MAPE), pp. 29-31, Oct. 2013.

[9] K. Kang, T. Kim, "Improved error control for real-time video broadcasting over CDMA2000 networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, No. 1, pp. 188-197, Jan. 2009.

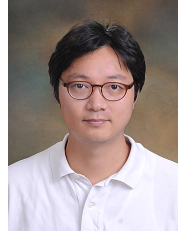
[10] N. Chang, "In-house tools for low-power embedded systems," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3605, pp. 44-58, 2005.

[11] A. Pearmain, A. Carvalho, A. Hamosfakidis and J. Cosmas, "The MoMuSys MPEG-4 mobile multimedia terminal," Proc. ACTS Mobile Summit Conference, pp. 224-229, June 1998.

[12] 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, Nov. 1998.

[13] A. Hore and D. Ziou, "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM," Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 2366-2369, Aug. 2010.

저 자 소 개



강 경 태
 1999: 서울대학교
 전산과학전공 공학사
 2001: 서울대학교
 전기컴퓨터공학부 공학석사
 2007: 서울대학교
 전기컴퓨터공학부 공학박사
 현 재: 한양대학교
 컴퓨터공학과 조교수
 관심분야: Real-Time Systems
 Operating Systems
 Mobile Systems
 Email : ktkang@hanyang.ac.kr



노 동 건
 2000: 서울대학교
 컴퓨터공학과 공학사
 2002: 서울대학교
 전기컴퓨터공학부 공학석사
 2007: 서울대학교
 전기컴퓨터공학부 공학박사
 현 재: 숭실대학교
 정보통신전자공학부 조교수
 관심분야: Embedded System,
 Mobile Computing,
 Ubiquitous Sensor
 Network
 Email : dnoh@ssu.ac.kr