

Efficient Transmission of Scalable Video Streams Using Dual-Channel Structure

Homin Yoo[†] · Jaemyoun Lee^{**} · Juyoung Park^{***} · Sanghwa Han^{****} · Kyungtae Kang^{*****}

ABSTRACT

During the last decade, the multitude of advances attained in terminal computers, along with the introduction of mobile hand-held devices, and the deployment of high speed networks have led to a recent surge of interest in Quality of Service (QoS) for video applications. The main difficulty is that mobile devices experience disparate channel conditions, which results in different rates and patterns of packet loss. One way of making more efficient use of network resources in video services over wireless channels with heterogeneous characteristics to heterogeneous types of mobile device is to use a scalable video coding (SVC). An SVC divides a video stream into a base layer and a single or multiple enhancement layers. We have to ensure that the base layer of the video stream is successfully received and decoded by the subscribers, because it provides the basis for the subsequent decoding of the enhancement layer(s). At the same time, a system should be designed so that the enhancement layer(s) can be successfully decoded by as many users as possible, so that the average QoS is as high as possible. To accommodate these characteristics, we propose an efficient transmission scheme which incorporates SVC-aware dual-channel repetition to improve the perceived quality of services. We repeat the base-layer data over two channels, with different characteristics, to exploit transmission diversity. On the other hand, those channels are utilized to increase the data rate of enhancement layer data. This arrangement reduces service disruption under poor channel conditions by protecting the data that is more important to video decoding. Simulations show that our scheme safeguards the important packets and improves perceived video quality at a mobile device.

Keywords : Streaming Service, Scalable Video Coding (SVC), Dual-Channel Repetition, Reed-Solomon Code, Block Interleaving, Perceived Quality

듀얼 채널 구조를 이용한 Scalable 비디오(SVC)의 전송 성능 향상

유 호 민[†] · 이 재 면^{**} · 박 주 영^{***} · 한 상 화^{****} · 강 경 태^{*****}

요 약

스마트폰과 같은 무선 기기의 보급률이 높아지면서 오디오 및 비디오 스트리밍 서비스를 이용하는 사용자가 급격히 증가하고 있다. 또한 고속 네트워크 환경이 갖추어짐에 따라 보다 나은 서비스 품질(QoS)에 대한 요구가 증가하고 있다. 무선 환경에서는 불안정한 전송 채널로 인해 패킷의 손실이 빈번하게 발생하기 때문에, Scalable Video Coding (SVC) 영상 부호화 기법을 통하여 네트워크를 보다 더 효율적으로 사용할 수 있다. SVC 기법에서는 기본계층과 상위계층으로 부호화 정보를 구분하는데, 기본계층은 영상의 복원에 있어서 필수적인 저주파 성분을 형성하기 때문에 신뢰성 있는 전송이 필수적이다. 또한 상위계층은 고주파 성분을 형성하며 성공적인 수신 데이터의 양에 비례하여 비디오의 품질이 향상되기 때문에 채널 상황이 허용하는 한도 내에서 처리량(Throughput)을 높이는 것이 중요하다. 본 논문에서는 무조건적인 처리량의 향상보다는 SVC 비디오의 특징을 고려하여 평균 품질을 향상시킬 수 있는 듀얼-채널 활용 기법을 제안한다. 즉, 기본계층에 대해서는 중복 전송 방식을 통해 전송의 신뢰성을 향상시키고, 상위계층에 대해서는 분배 전송 방식을 통해 전송 속도 및 처리량을 향상시켰다. 그 결과, 무선 이동 환경에서 보다 고수준의 비디오 서비스 제공이 가능해짐을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

키워드 : 스트리밍 서비스, Scalable Video Coding (SVC), 듀얼-채널 모델, Reed-Solomon 코드, Block Interleaving, 서비스 품질

* 이 논문은 2011년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음 (HY-2011-N).

† 준 회 원 : LG전자 CTO부문 컨버전스연구소 연구원

** 준 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 석·박사통합과정

*** 준 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정

**** 준 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 석사과정

***** 정 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 조교수

논문접수 : 2013년 5월 14일

수 정 일 : 1차 2013년 7월 2일, 2차 2013년 7월 12일

심사완료 : 2013년 7월 12일

* Corresponding Author : Kyungtae Kang (ktkang@hanyang.ac.kr)

1. 서론

많은 스마트폰 어플리케이션들은 무선 통신 기반으로 동작하며, 이에 따라 대역폭, 신호의 전력 및 변조 방식 등을 효과적으로 조절함으로써 무선 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1, 2, 3]. 같은 맥락에서 최근 기존 싱글 캐리어 방식을 이용한 통신 방식에서 멀티 캐리어 방식을 이용한 LTE 통신 방식[4]으로의 전환이 이루어지고 있다. 이를 활용함에 있어서 전송 속도의 향상뿐만 아니라, 각각의 어플리케이션에서 중요시하는 부분에 적합하게 전송 방식을 설계하는 것이 중요하며, 그 결과 네트워크의 서비스 품질 향상 효과를 기대할 수 있을 것이다.

주목할 만한 것은, 스마트폰의 많은 어플리케이션 중에서도 특히 스트리밍 서비스에 대한 이용이 가장 활발하다는 점이다. 최근 스트리밍 서비스의 영상 부호화 기법으로 Scalable Video Coding (SVC)기법[5]이 주로 사용되고 있는데, 기존 H.264/AVC 기법[6]의 확장 버전인 SVC 기법은 비디오 데이터를 기본계층(Base Layer)과 상위계층(Enhancement Layer)으로 분리하여 프레임을 처리한다. 기본계층은 낮은 품질의 기본적인 영상 정보를 처리하고, 상위계층은 높은 품질의 추가적인 정보를 기본계층 정보에 더하여 영상 정보 복호화를 수행한다. 이에 따라 사용자들이 느끼는 영상의 서비스 품질에 있어서 기본계층은 데이터의 정확성이 중요하고, 상위계층은 영상의 완벽한 복원보다는 끊김 없는 영상의 재생이 중요할 것이다. 이처럼 각 계층별로 중요시해야 할 부분이 각각 다르기 때문에, 전송 성능의 향상을 위해서는 각 계층의 특성을 고려한 전송 방식이 필요하다.

본 논문에서는 스트리밍 서비스를 이용하는 사용자들이 요구하는 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 전송 방식을 제안한다. 듀얼-채널을 이용하여 기본계층에 대한 전송의 신뢰성을 향상시키고, FEC (Forward Error Correction) 기법을 통해 연속적으로 발생하는 에러에 대하여 추가적으로 에러율을 낮추도록 전송 방식을 설계한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 비디오 전송에 관련된 Scalable 비디오 이슈들에 대하여 살펴보고, 3장에서는 비디오 전송 시물레이션을 위한 네트워크 계층을 설계할 것이다. 4장에서는 제안하는 전송 방식의 성능 향상 효과를 시물레이션 결과를 통해 알아본다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 비디오 전송

2.1 무선 네트워크에서의 비디오 전송

비디오 브로드캐스팅 서비스를 제공하기 위한 일반적인 무선 네트워크 구조는 Fig. 1과 같다. 이는 Radio Access Network (RAN)와 Data Core Network (DCN)으로 구성된다. 브로드캐스트 콘텐츠 공급자는 인터넷 망 내에 IP 스트림을 이용한 브로드캐스트 콘텐츠를 제공한다. 콘텐츠 서버는 공급자로부터 콘텐츠를 수신, 저장 및 전달한다. 또한 여

러 공급자로부터 수신한 콘텐츠를 병합하기도 한다. 베이스 스테이션(BS: Base Station)은 무선 채널을 통해 여러 무선 기기에 비디오 스트림을 전송한다[7]. 우리는 이러한 무선 기기와 베이스 스테이션 사이의 포워드 링크에 대해 초점을 맞춰 전송 방식을 제안한다. 이 포워드 트래픽 채널은 여러 무선 기기 사이에 시간 분할 다중화(TDM: Time-Division Multiplexing) 기법에 의해 할당된다고 가정한다.

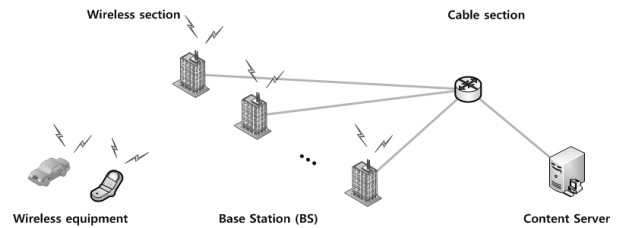


Fig. 1. Network architecture for video broadcasting services

2.2 Scalable Video Coding (SVC)

H.264/AVC를 확장한 부호화 기술인 SVC는 기존의 MPEG-2, MPEG-4 등에서 시도한 계층 부호화 기반의 확장성(Scalability)이 갖는 문제점인 낮은 압축효율, 복합 확장성의 부재, 높은 구현 복잡성의 문제를 해결하기 위해 개발된 새로운 확장 비디오 부호화 기법이다. 확장형 부호화 기술인 SVC는 크게 VCL (Video Coding Layer) 계층과 NAL (Network Abstraction Layer) 계층으로 구분한다. 먼저, SVC의 VCL 계층에서는 영상 정보의 부호화 정보인 기본계층 부호화 정보와 상위계층의 확장성 부호화 정보를 슬라이스(Slice) 단위로 생성한다. VCL에서 생성한 각 슬라이스는 네트워크를 통해 효율적으로 전송되기 위해, NAL 계층에서 NAL Unit 단위로 만들어지게 되며, NAL Unit 단위로 구성된 SVC 비트스트림(Bitstream)은 IP 네트워크 등을 통해 전달할 수 있는 구조를 가지게 된다[5].

이러한 SVC 부호화 기술은 공간적, 시간적, 품질적 확장성을 지원하는 복합적인 확장 비디오 부호화 방법을 가지고 있다. SVC를 이용하여 한번 부호화된 비트스트림은 두 개 혹은 그 이상의 의존적인 계층으로 구성될 수 있다. 이와 같은 경우 SVC 비트스트림은 하나의 기본계층(Base Layer)과 기본계층 위에 연속적으로 쌓을 수 있는 다수의 상위계층(Enhancement Layer)들로 구성된다. 여기서 기본계층에 연속되는 상위계층의 정보를 함께 이용하면, 기본계층의 비트스트림보다 개선된 화질을 제공하는 비트스트림을 만들 수 있다. 일반적으로 기본계층은 기본 품질을 제공하고, 연속된 상위계층은 이전 계층들로 만들어진 비디오보다 높은 품질을 갖도록 부호화한다. 이는 상위계층의 확장 레벨에 따라 고품질 디스플레이 혹은 저화질 스트리밍 서비스 등의 다양한 분야에 모두 적용 가능한 기술이다.

공간적인 확장성은 상·하향 표본화를 통해 여러 해상도를 가지는 영상들을 계층적으로 구성하여 제공한다. 우선 하위계층의 크기가 작은 영상을 부호화한 후, 상위계층은 부호화된 하위계층의 정보를 이용함으로써 부호화 효율을

높인다. 시간적 확장성은 MCTF (Motion Compensated Temporal Filtering) 또는 Hierarchical B-Picture 기법을 이용한다. 이는 매 프레임마다 구별된 시간적 레벨을 지정함으로써 다양한 프레임율을 제공하며 GOP (Group of Pictures) 단위로 처리한다. 하나의 GOP에서는 적어도 하나의 주요 Picture를 가지며 다른 Picture들은 이 주요 Picture의 의존성을 가진다. 마지막으로 화질 확장성은 CGS (Coarse Grain Scalability)와 FGS (Fine Grain Scalability)에 의해 구현된다. CGS는 계층 기반인 측면에서 공간적 확장성과 동일한 방식이지만, 계층 간에 동일한 해상도를 가지는 반면, 양자화(QP: Quantization Parameter) 값을 다르게 할당하여 상위계층일수록 높은 화질을 제공한다. FGS는 Bit-plane 부호화 기법과 유사한 Cyclic 부호화 기법과 2-scan 부호화 기법으로 만들어지며, CGS보다 세밀한 비트 양 및 화질 차이를 제공할 수 있다.

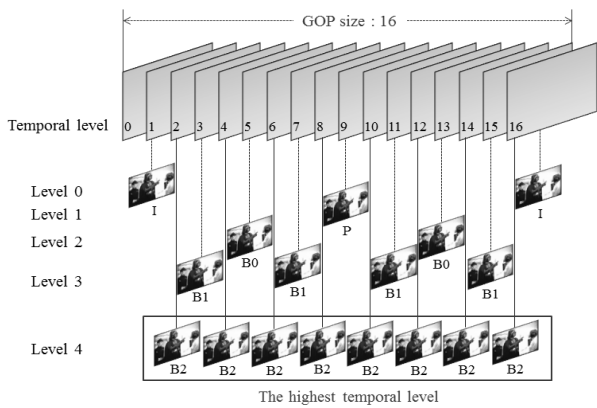


Fig. 2. Example of hierarchical B-Picture technique

SVC의 시간적 확장성 예로 Fig. 2는 0부터 4까지 5개의 Temporal Level을 가지는 확장성 비디오 비트스트림을 보여주고 있다. 이 비트스트림은 16개의 GOP size를 가지고 있으며 Hierarchical B-Picture 기법을 이용하여 총 5개의 Temporal Level을 가지고 있다. 주요 Picture에 해당하는 I-Picture (Infra-Picture)는 Temporal Level 0을 가진다. 각 Picture들은 더 낮은 Level의 Reference Picture로부터 Predicted Picture의 연관성을 가진다. Fig. 2와 같이 기본계층에 해당하는 I/P-Picture (Previous or Predicted-Picture)의 경우 상위계층에 해당하고 높은 Temporal Level을 가지는 B0, B1, B2-Picture (Bidirectional-Picture)들과 연관성을 가짐을 알 수 있다[5]. 우리는 I/P-Picture의 신뢰성 증가를 통해 비디오 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 방식을 설계할 것이다. 진술해야 한다.

3. 네트워크 계층 설계

이 장에서 우리는 Scalable 비디오 전송에 있어 듀얼-채널 모델을 적용한 전송 방식을 제안한다. 두 채널은 각각

SVC 부호화 정보들의 전송에 대해 각각 기본계층과 상위계층을 구분하여 서로 다른 작업을 수행하며 각 계층별로 신뢰성의 증가 및 전송 속도의 향상 등의 성능 효과를 기대할 수 있다.

PHY 계층(Physical Layer)에서 듀얼-채널 전송 방식을 CDMA2000 1xEV-DO를 이용하여 기본계층과 상위계층에 해당하는 부호화 정보를 각각 중복전송과 분산전송을 하도록 설계한다. MAC 계층(Medium Access Control Layer)에서는 FEC 기법을 적용하여 에러율을 더 감소시키고, 비디오 전송에 맞는 패킷 스케줄링 기법을 제안한다.

3.1 PHY 계층 설계

1) CDMA2000 1xEV-DO

우리는 PHY 계층을 설계하는데 있어 CDMA2000 1xEV-DO (Evolution-Data Only)를 사용할 것이다. CDMA2000 1xEV-DO는 ITU (International Telecommunication Union)의 3G 네트워크 표준인 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) 기술로 승인된 패킷 데이터 전송 전용 프로토콜로서[8, 9], 최대 전송 속도가 순방향 링크의 경우 2.4Mbps, 역방향 링크의 경우 153.6kbps까지 가능하다[10].

1xEV-DO 시스템을 위한 채널구조를 살펴보도록 한다. 기본적인 전송 단위는 1.666ms(=2048chips) 길이의 슬롯(Slot)이고, 16개의 슬롯을 합쳐 하나의 프레임이 구성된다. 순방향 링크는 파일럿(Pilot) 채널, MAC (Medium Access Channel) 채널, 제어(Control) 및 트래픽(Traffic) 채널로 구성된다. 먼저, 파일럿 채널은 접속 초기의 시스템 획득(System Acquisition)과 채널추정(Channel Estimation)에 사용된다. MAC 채널은 총 64개로 구성되는데, 단말의 동작을 제어하기 위한 정보를 전송한다. 각 MAC 채널은 슬롯당 1비트의 정보를 전송하고 Walsh 코드에 의해 채널이 구분된다. 제어 채널과 트래픽 채널은 각각 단말의 상위 계층에서 발생하는 시그널링(Signaling) 정보와 사용자 데이터를 전송한다.

Table 1. Parameters by CDMA2000 1xEV-DO modulation and coding rate[11]

Data Rate(kbps)	Slots	Bits	Code Rate	Modulation
38.4	16	1024	1/4	QPSK
76.8	8	1024	1/4	QPSK
153.6	4	1024	1/4	QPSK
307.2	2	1024	1/4	QPSK
614.4	1	1024	1/4	QPSK
307.2	4	2048	1/4	QPSK
614.4	2	2048	1/4	QPSK
1228.8	1	2048	1/2	QPSK
921.7	2	3072	3/8	8-PSK
1843.2	1	3072	1/2	8-PSK
1228.8	2	4096	1/2	16-QAM
2457.8	1	4096	1/2	16-QAM

우리는 Table 1과 같은 CDMA2000 1xEV-DO 표준에서 변조 파라미터와 포워딩 데이터 채널에 사용되는 데이터 전송율 등의 각종 파라미터를 선정한다[11, 12]. PHY 계층의 각 패킷 사이즈를 2,048bits로 가정하게 되면, PHY 계층 패킷의 Payload인 MAC 계층의 패킷은 2,004bits가 된다. 포워딩 데이터 채널의 참조 데이터 전송율은 1.67ms 타임 슬롯으로 나뉘어지는 1228.8kbps로 가정한다. EV-DO의 사용 가능한 대역은 여러 가지가 있다. 우리는 실제 CDMA2000 1xEV-DO 방식 자체를 사용하는 것이 아니고 듀얼-채널로 전송 방식을 시뮬레이션 하기 위해 가상 설계를 할 것이다. 그렇기 때문에, 우리는 900MHz와 1.8GHz 대역을 듀얼-채널로서 사용하는 것으로 가정한다.

2) 에러 분석 모델

우리는 제안하는 듀얼-채널 전송 방식의 시뮬레이션을 위해 다음과 같은 에러 모델을 사용할 것이다. 에러 모델은 무선 링크에서의 전송 에러가 성능에 미치는 영향만을 고려하기 위해 유선 링크에서는 Congestion에 의한 손실은 없고, 모든 손실은 무선 링크에서 발생한 전송 손실로만 가정하였다.

무선 망에서 발생하는 특성을 고려하기 위해 일반적으로 많이 사용하고 있는 2-State Markov 에러 모델을 사용하였다[13]. 실제 무선 링크에 대한 정확한 수학적 분석은 불가능하기 때문에 많은 경우에 무선 링크를 단순화한 모델을 사용한다. Fig. 3과 같이 에러 모델을 사용할 때, Good 상태와 Bad 상태에 대한 무선 링크의 품질과 사용자의 이동성, 패킷의 길이 등에 대한 고려가 있어야 한다. 하지만 종종 이러한 고려들이 생략된 채 사용되기도 한다. 본 논문에서는 San Diego에 있는 캘리포니아 대학의 Michele Zorzi 등에 의해 제안된 Simple Threshold Model을 사용하였다[14, 15]. 이 모델은 전송되는 데이터 블록의 Fading Envelope이 일정 값 이상일 때에만 수신 측에서 수신을 성공할 수 있고, Fading Envelope이 일정 값 이하일 경우는 수신을 실패하는 Binary Process로 나타낼 수 있다. 하지만 이 모델도 물리 계층의 코딩이나 변조 기법 등의 고려대상이 하나의 파라미터로 나타내어지기 때문에 실제 링크와는 다를 수 있다. 특히 한 블록이 전송되는 동안 Fading Envelope이 일정하게 유지가 되는 것을 가정했는데 실제 채널에서는 사용자 이동성의 정도가 심할 경우는 그렇게 유지 되지 않는다. 그럼에도 불구하고 이 모델을 사용하는 것은 실제 코딩이나 변조기법과 하나의 데이터 블록이 N개의 심볼로 구성되었을 경우를 고려하였을 때의 Detailed Threshold Model과 비교했을 때 두 모델의 결과가 데이터 블록 전송 중에 Fading Envelope이 변해도 잘 일치할 하고 있기 때문이다[16]. 우리

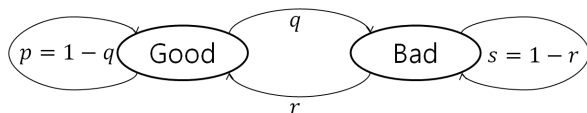


Fig. 3. 2-State Markov error model

는 이 모델을 그대로 이용을 하기 때문에 더 심도 있는 에러 모델에 대한 분석은 하지 않는다.

$$M = \begin{pmatrix} 1-q & q \\ r & 1-r \end{pmatrix} \tag{1}$$

$$\epsilon = \frac{q}{q+r} \tag{2}$$

위에서 설명된 Simple Threshold Model에서 패킷 에러율이 무선 링크의 상태가 Good일 때는 0이고 Bad일 때는 1이다. 무선 링크상의 페이딩은 Rayleigh 분포를 가정하였다. 수신되는 패킷의 성공 또는 실패는 2-State Markov Chain으로 근사화 될 수 있으며 각 상태로의 전이 확률은 다음과 같이 Matrix로 표현할 수 있다[17, 18, 19, 20].

$$\epsilon = 1 - \epsilon^{-\frac{1}{F}} \tag{3}$$

$$r = \frac{1-\epsilon}{\epsilon} [Q(\theta, \rho\theta) - Q(\rho\theta, \theta)] \tag{4}$$

$$\text{where } \theta = \sqrt{\frac{-2\log(1-\epsilon)}{1-\rho^2}}, \rho = J_0(2\pi f_D NT)$$

정상 상태에서 패킷 에러 발생 확률, P_E 는 다음과 같다.

Rayleigh 페이딩 채널의 페이딩 마진이 F 일 때 평균 패킷 에러율은 다음과 같이 구해질 수 있다[21].

Bad 상태에서 Good 상태로의 전이 확률, r 은 다음의 식에 의해 구해진다.

ρ 는 도플러 주파수 f_D 를 가진 Complex Gaussian 페이딩 프로세스의 연속적인 두 샘플의 상관 계수이고 $f_D NT$ 는 페이딩 프로세스에서 상관관계를 나타내는 표준화된 도플러 대역폭이다. 이 상관 계수는 $f_D NT$ 에 의해 결정된다. $f_D NT$ 가 0.1보다 작은 경우에는 이 프로세스는 상당히 Correlation 되어 있고, 0.2보다 큰 경우에는 각 샘플들은 거의 독립적이라고 볼 수 있다. $J_0(\cdot)$ 는 1종 Bessel함수이고 $Q(\cdot, \cdot)$ 는 Marcum Q함수이다. (3), (4) 두 식을 이용하여 ϵ 와 r 을 구하고, (2) 식을 이용하여 q 를 구할 수 있다. 우리는 ϵ 값은 임의로 가정하고 제안하는 전송 방식을 평가할 것이다.

3) PHY 계층 듀얼-채널 모델 설계

Fig. 4는 PHY 계층에 듀얼-채널 모델을 적용한 전송 방식을 도식적으로 나타낸 그림이다. 베이스 스테이션과 무선 기기 간의 통신 성능을 향상시키기 위해 듀얼-채널 모델을 이용하여 패킷을 전송한다. 콘텐츠 서버는 기본계층과 상위계층의 데이터를 일정한 비율로 코딩을 하여 이를 베이스 스테이션으로 전송한다. 이 때, 베이스 스테이션을 통과하는 패킷은 실제로는 비디오의 상황에 따라 패킷의 사이즈가 동적으로 변한다. 본 논문에서 제안하는 전송 방식에서는 패킷을 일정한 크기로 무선 기기에 전송한다고 가정한다.

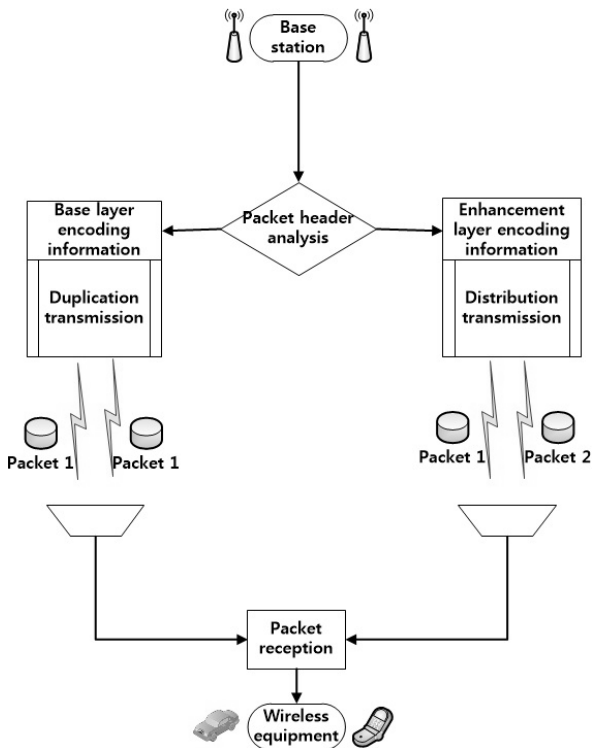


Fig. 4. Proposed dual-channel transmission scheme

베이스 스테이션은 두 가지 경우로 전송 동작 방식이 다르게 작동한다. 기본계층의 부호화 정보를 가진 패킷의 경우, Fig. 4의 채널1과 채널2에 같은 패킷을 중복하여 전송한다. 이로 인해 두 채널 중 어느 한 채널에서 패킷 손실이 발생하더라도 나머지 한 채널에서 패킷이 정상적으로 전송 완료한다면 해당 패킷에 대한 전송은 성공적으로 이루어진다. 즉, 두 채널 모두 패킷 손실이 발생하지 않는 한 전송은 성공적으로 이루어진다. 이는 전송의 신뢰성을 상당히 증가시켜주는 효과를 가져오고, 이로 인해 Scalable 비디오의 복원에 있어 중요한 기본계층의 부호화 정보를 보다 정확하게 전송할 수 있게 해준다. 반대로, 상위계층의 부호화 정보를 가진 패킷의 경우, 채널1과 채널2에 서로 다른 패킷을 순차적으로 교차 및 분산시켜 전송한다. 이는 데이터의 전송 속도를 증가시켜 영상의 끊김 없는 재생에 도움을 줄 것이다. 각 채널의 패킷 손실률은 변함없이 전송 속도의 증가 효과를 가져올 수 있다. 이처럼 우리는 각 계층에 적합한 전송 방식을 설계하여 필요한 효과를 얻을 수 있다.

3.2 MAC 계층 설계

1) Forward Error Correction (FEC)

PHY 계층에서의 제안하는 전송 방식과 더불어 우리는 MAC 계층에서 에러를 더 줄일 수 있게끔 추가적인 FEC (Forward Error Correction) 코드를 사용한다. 이 코드는 데이터의 에러를 더 감소시키는 효과를 줄 수 있다. 우리는 낮은 에러율에서 좋은 성능을 가지는 RS (Reed-Solomon)

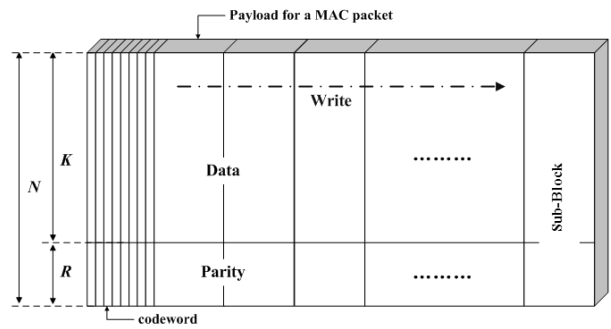


Fig. 5. Error Control Block (ECB) with Block Interleaving

코드를 사용한다[22, 23]. 이와 더불어 Block Interleaving 기법도 조합하여 그 성능을 더 향상시키게끔 할 것이다.

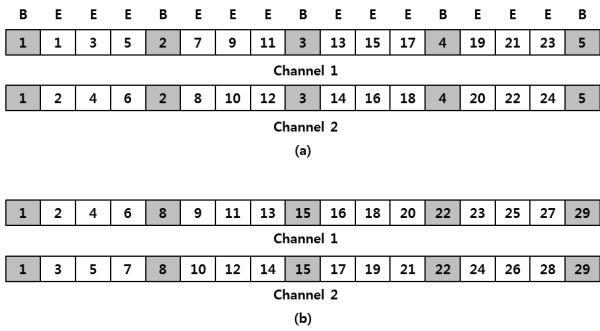
RS 코드는 (N,K,R) 의 형태로 나타낼 수 있다. 이는 K 개의 데이터 심볼과 R 개의 패리티 심볼이 합쳐져 만들어진 총 N 개의 코드워드를 의미한다. RS 코드는 에러가 난 심볼의 위치를 알 경우에는 R 개까지 에러를 복원할 수 있고, 위치를 모를 경우에는 $R/2$ 개까지 에러를 복원할 수 있다. 우리는 위치를 모르는 경우로 가정하여 에러를 최대 $R/2$ 개 수정하는 것으로 시뮬레이션을 진행할 것이다.

RS 코딩 기법은 주로 Block Interleaving 기법과 함께 사용된다. 무선 채널 환경에서는 에러가 연속적으로 빈번하게 발생한다. Block Interleaving 기법은 연속적으로 발생하는 에러를 복구하는 코드에 있어 더 효과적인 방법이다. 2차원의 블록에 좌에서 우로 데이터를 삽입하고, 블록 내에 쌓여진 데이터를 위에서 아래로 처리하여 패리티 심볼을 생성하고 코드워드를 만든다. 이러한 블록을 Error Control Block (ECB)라고 하고, 이는 송신 측과 수신 측 모두에게 데이터를 저장해둘 수 있는 버퍼가 필요하다. 정해진 크기의 ECB에 해당하는 데이터가 모두 수신되어야만 디코딩 작업을 수행할 수 있다. Fig. 5에 나타나 있는 ECB의 가로축에 해당하는 Sub-Block의 개수가 증가할수록 연속적으로 발생하는 에러에 더 향상된 효과를 나타낼 수 있지만, 버퍼의 크기가 커지기 때문에 ECB 전체를 수신하는 데 많은 지연 시간이 발생한다. 또한 패리티 심볼의 수를 증가시킬수록 더 좋은 에러 복구 성능을 가질 수 있지만, 같은 데이터 전송률에서 더 적은 양의 실제 데이터를 전송한다는 단점을 가진다. 이러한 이유로 우리는 Sub-Block의 수, 그리고 R 값의 변화 등을 통한 성능 분석도 해볼 것이다.

2) MAC 계층 패킷 스케줄링 기법

이 장에서는 MAC 계층의 패킷 스케줄링 기법을 살펴보고, 패킷 스케줄링을 할 때 고려해야 할 사항들에 대해서도 알아본다. 앞서 2.1장에서 말한 TDM 방식을 이용하여 특정 시간 단위의 슬롯들을 나누어 스케줄링을 진행할 것이다.

무선 네트워크 상에서는 에러가 연속적으로 발생하는 경우가 빈번하게 발생한다. 우리는 연속적으로 발생하는 에러를 줄이기 위해 전체 슬롯들 중 매 10번째 슬롯들을 Scalable 비디오 전송을 위해 할당하고, 이를 Round-Robin



(a) Proposed method (b) Comparison group
Fig. 6. Dual-channel packet scheduling method

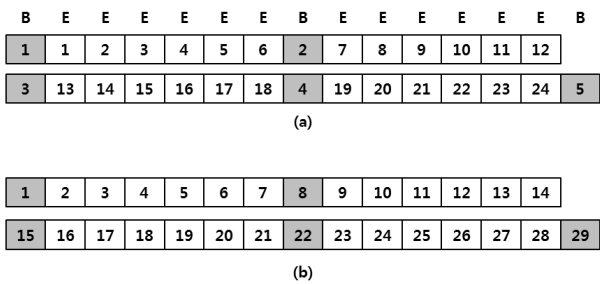


Fig. 7. Order of received packets

기법을 이용하여 스케줄링 한다. Fig. 6과 Fig. 7은 Scalable 비디오 전송에 할당된 슬롯들만을 도식적으로 나타낸 것이다. 각각 듀얼-채널 패킷 스케줄링 기법을 통한 전송 방식과 도착한 패킷을 정렬하는 순서를 나타낸다. 각 그림에는 기본계층과 상위계층을 구분하여 전송하는 제안하는 전송 방식과 시뮬레이션의 성능 분석을 위해 계층별로 특별한 구분 없이 전송을 하는 대조군을 표현하였다. 제안하는 전송 방식과 대조군 모두 매 40슬롯마다 하나의 슬롯을 중복 전송에 사용하고 이는 배경색으로 구분해 두었다.

Fig. 6의 (a)에 표시된 B는 기본계층의 부호화 정보에 해당하는 부분이고, E는 상위계층의 부호화 정보에 해당하는 부분이다. 기본계층의 전송은 채널1과 2에서 같은 패킷을 전송하게 되고, 이는 패킷 손실률을 상당히 감소시켜준다. 채널2의 기본계층 부호화 정보 패킷 1, 2, 3, 4, 5는 추가적인 Bandwidth를 사용하게 되지만, 앞서 살펴봤듯이 Scalable 비디오에서 기본계층의 부호화 정보는 상위계층의 부호화 정보를 복원하는데 기반이 되기 때문에 정상적인 기본계층의 부호화 정보 없이는 영상의 복원에 상당히 문제가 발생할 것이다. 이러한 이유로 기본계층 패킷 전송의 신뢰성을 높이는 것이 보다 끊임 없이 사용자가 원하는 품질을 제공할 수 있다. 또한, 상위계층 부호화 정보는 두 채널에 패킷을 순서대로 전송하는 것이 아니라 교차해서 전송을 함으로써 연속적으로 발생하는 에러를 방지할 수 있다. (b)는 B와 E의 구분이 없이 순차적이다.

본 논문에서 제안하는 MAC 계층 패킷 스케줄링 기법은 Fig. 7과 같이 도착하는 패킷들 중 첫 패킷은 중복 전송을

하고 다음 6개의 패킷은 순차적으로 전송하도록 한다. Fig. 7의 (a)는 Fig. 6과 마찬가지로 기본계층의 부호화 정보 패킷과 상위계층의 부호화 정보 패킷을 구분하여 수신 후 정렬한 순서를 나타내고, (b)는 기본계층과 상위계층에 대한 구분 없이 도착하는 순서대로 정렬한 순서로써 제안하는 방식의 대조군이다.

결과적으로 우리는 매 40슬롯마다 기본계층 부호화 정보 패킷을 전송하고, 상위계층 부호화 정보 패킷은 기본계층 패킷을 전송하는 슬롯을 제외한 매 10슬롯마다 전송을 한다. 예를 들어, 각 채널의 데이터 전송률이 1228.8kbps라고 했을 경우, 기본계층 부호화 정보에 대한 전송률은 30.72kbps가 되고, 상위계층 부호화 정보는 두 채널을 모두 사용하여 전송하기 때문에 184.32kbps의 전송률을 가질 것이다. 계층별 전송률을 합산하면 Scalable 비디오 전송에 할당되는 총 전송률은 215.04kbps가 되고, 이는 무선 기기에서 많이 사용되는 CIF화질에 대한 전송률을 충족시킬 수 있다.

4. 성능 평가

듀얼-채널 전송 방식은 Scalable 비디오를 무선 기기로 전송한 후 사용자가 느끼는 품질을 향상시키기 위해 제안 하였으므로 우리는 듀얼-채널 전송 방식으로 Scalable 비디오 데이터를 전송했을 경우에 원본 영상의 품질과 얼마나 차이가 나는지 알아볼 것이다. 이는 MSE (Mean Square Error) 값을 통해 성능을 평가할 것이다. 또한 듀얼-채널 전송 방식을 이용할 경우 채널의 에러율에 비해 기본계층 부호화 정보의 에러율이 얼마나 감소하는지도 알아보고, 또한 MAC 계층에서의 ECB (Error Control Block)와 Block Interleaving 기법을 사용할 경우 Sub-Block의 수, 무선 기기의 이동속도 등의 파라미터에 따라 성능에 어떤 변화를 주는지도 알아볼 것이다.

4.1 시뮬레이션 분석 구조

본 논문에서 제안한 듀얼-채널 전송 방식의 성능을 검증하기 위해 Fig. 8과 같은 분석 구조를 사용한다. 우선적으로 우리는 앞서 설명한 Simple Threshold Model을 통해서 에러 패턴을 검출한다. 검출한 에러 패턴에 MAC 계층에서의 FEC 코드를 적용한 뒤 실제 Scalable 비디오 데이터에 이를 적용한다. 적용한 비디오 스트림 데이터를 응용 모듈을

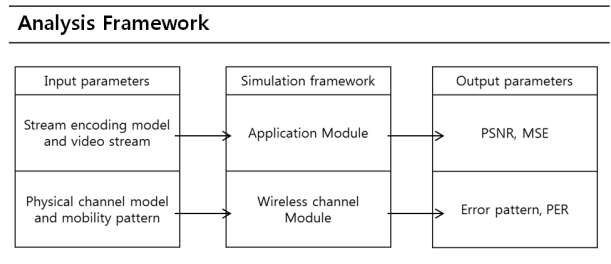


Fig. 8. Simulation architecture

통해 MSE 값을 구하여 원본 비디오와의 비교를 통한 성능 분석을 한다. 이 때, 각종 파라미터들과의 비교를 통해 좀 더 자세한 성능을 분석할 것이다.

4.2 성능 평가 파라미터

1) 시뮬레이션 분석 파라미터

제안하는 듀얼-채널 전송 방식의 시뮬레이션을 위해 PHY 계층의 채널 파라미터 및 네트워크 파라미터를 가정한다. 이 때, 우리는 CDMA2000 1xEV-DO 표준으로부터 전체적인 시뮬레이션 파라미터를 사용할 것이다. 시뮬레이션에서 사용한 분석 파라미터는 Table 2와 같다. CDMA2000 1xEV-DO 표준으로부터 각각 900MHz와 1.8GHz의 채널 대역을 듀얼-채널로 구성한다. 채널의 데이터 전송률과 슬롯의 크기, 패킷 사이즈도 Table 2와 같이 표준으로부터 참조하여 가정하도록 한다. 무선 기기의 이동속도는 보행자 및 자전거, 저속주행 차량으로 가정하여 각각 2km/h, 10km/h, 20km/h로 가정한다.

Table 2. Simulation parameters

Physical channel parameters	
Carrier frequency of Channel 1	900MHz
Carrier frequency of Channel 2	1.8GHz
Reference channel data-rate	1228.8kbps
v of mobile devices	2, 10, 20km/h
Network parameters	
Slot duration	1.67ms
Length of a PHY packet	2048bit
Length of a MAC packet	2004bit

2) 샘플 비디오 파라미터

시뮬레이션 분석 파라미터를 이용하여 검출한 에러 패턴을 적용하여 성능을 분석하기 위한 샘플 비디오로 우리는 Star Wars IV를 이용한다. 이 비디오 스트림[24]의 특징은 표3과 같다. CDMA2000 1xEV-DO의 PHY 패킷의 Payload 사이즈에 따라 프레임은 2,004bits로 패킷화 된다.

우리는 Table 3과 같은 특징을 갖는 샘플 비디오에 검출한 에러패턴을 적용하여 평균제곱오차(MSE: Mean Square Error) 값을 구하고, 이를 통해 전송 시 에러율을 낮추고 화면의 재생에 있어 더 좋은 품질을 제공한다는 것을 실험결과를 통해 증명할 것이다.

4.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 에러 패턴 검출을 통해 제안하는 전송 방식에서 에러율이 얼마나 감소되었는지 우선 알아본다. 이 때, 무선 기기의 이동속도, ECB의 Sub-Block의 수 등에 따른 영향에 대해 분석한다. 그리고 검출한 에러 패턴을 실제 비

Table 3. Sample video feature parameters

Description	Value(s)
Title	Star Wars IV
Frames per second	30
Frame size	CIF (352x288)
Scalability scheme	Temporal
Stream type	VBR (variable bit-rate)
GoP size (G)	8
Number of B frames in a GoP	4 or 7

디오 샘플에 적용하여 평균제곱오차(MSE) 값을 구하여 제안하는 전송 방식을 통해 비디오 품질을 향상시킬 수 있음을 증명할 것이다.

1) 듀얼-채널 중복 전송 방식을 통한 에러율 변화

Fig. 9는 싱글-채널 전송 방식에 비해서 듀얼-채널 전송 방식을 사용했을 경우의 에러율에 대한 비교를 보여준다. 이는 중복 전송을 통해서 기본계층 부호화 정보에 대한 전송의 신뢰성이 향상되는 효과를 가진다는 것을 알 수 있다. 그림과 같이, 싱글-채널 전송에 비해 듀얼-채널 중복 전송 방식을 사용한 기본계층 부호화 정보에 대한 전송의 에러율이 약 90%이상 감소한 것을 확인할 수 있다. 상위계층 부호화 정보에 대한 전송은 비슷한 값을 갖지만, 실제적으로 비디오 샘플을 통해 MSE 값을 구해보면 전체적인 성능은 나아질 것이다.

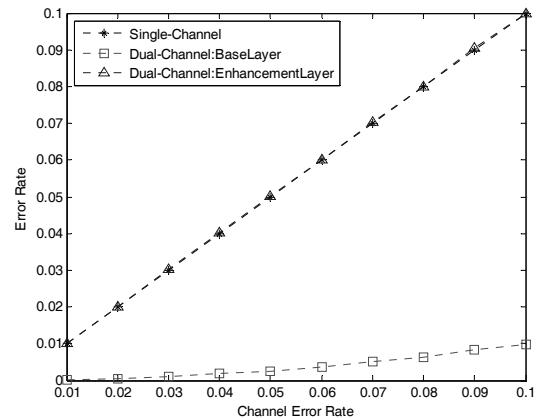


Fig. 9. Comparison between single-channel method and dual-channel method

2) Forward Error Correction (FEC)을 통한 에러율 변화

우리는 앞서 Forward Error Correction (FEC) 기법을 통해 에러율을 더 낮추는 방안을 살펴왔다. 또한 FEC 기법과 더불어 Block Interleaving 기법을 사용함으로써 연속적으로 발생하는 에러에 더 강인할 수 있게 되었다. FEC 기법의 (N,K,R)에서 우리는 N개의 코드워드 중 R개의 에러를 복원할 수 있도록 설계하였다. R값이 커지면 에러율은 감소하

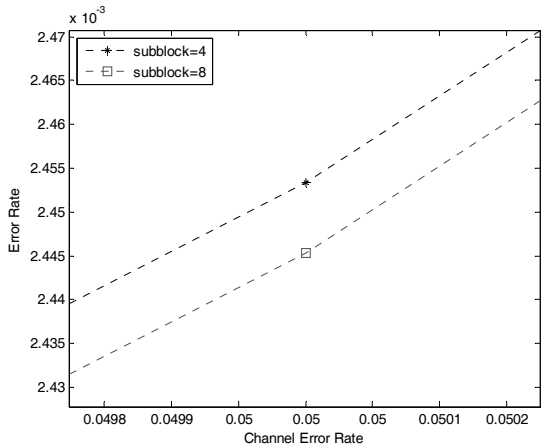


Fig. 10. Example of error rate in accordance with the number of Sub-Blocks (R=8)

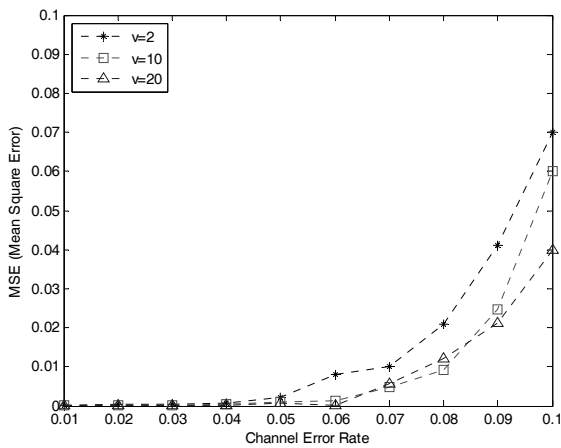
겠지만 실제로 전송할 수 있는 데이터의 양이 줄어들게 될 것이다. 또한 Block Interleaving 기법을 사용함으로써 각 코드워드의 에러들은 서로 분산이 되면서 복원 가능성이 더

높아질 것이다. 이는 Block 내의 Sub-Block의 수에 따라 복원 가능성이 증가 혹은 감소될 것이다. 물론, Sub-Block의 수가 너무 커지면, 그만큼 복원 이전에 버퍼 해야 할 데이터의 양이 증가하기 때문에 지연 시간 측면에서 비효율적이다. 특정 응용에 적합한 지연 시간을 보장할 수 있을 정도의 Sub-Block의 수를 찾는 것도 중요한 이슈가 될 수 있다.

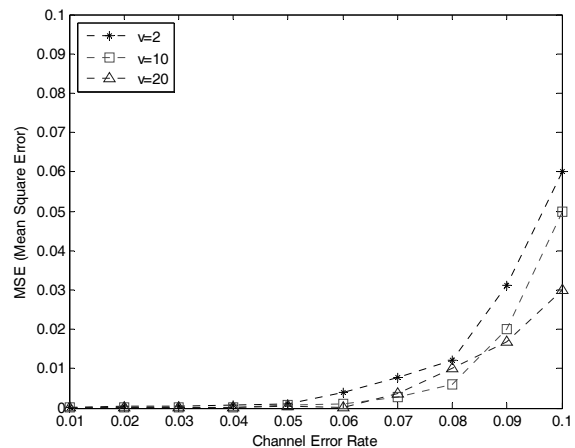
Fig. 10은 시뮬레이션 후 측정된 에러율 중 일부분을 나타낸 것이다. 이는 R=8인 경우에 Sub-Block의 수에 따른 에러율의 변화를 보여준다. Sub-Block의 수가 4일 때보다 8일 때 미세하게 에러가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 앞서 설명했듯이, Sub-Block의 수가 증가함에 따라 에러가 분산되어 좀 더 많은 수의 에러를 복원함으로써 더 낮은 에러율을 갖는 것을 알 수 있다.

3) MSE 값을 통한 비디오 품질 비교

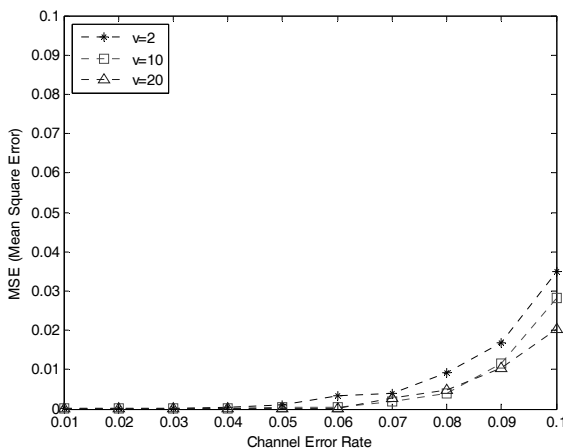
이 장에서는 검출한 에러 패턴을 실제 샘플 비디오에 적용하여 평균제곱오차(MSE: Mean Square Error) 값을 구해서 비디오 품질을 평가해볼 것이다. Fig. 6과 Fig. 7에서 설명했듯이, 제안하는 전송 방식은 중복 전송을 하는 처음 슬



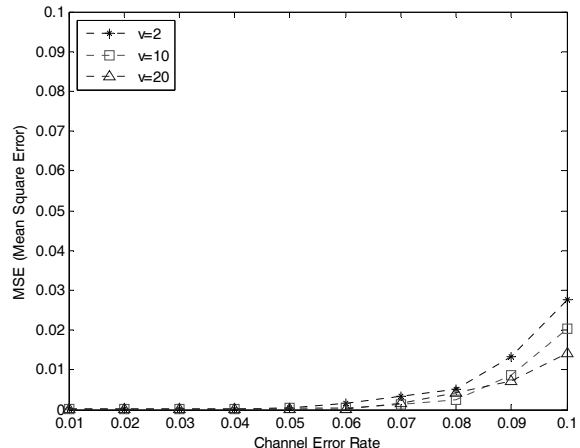
(a) Comparison group (Sub-Block=4)



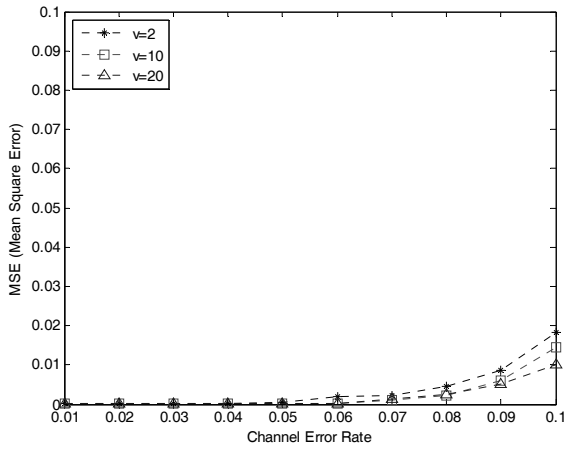
(b) Proposed transmission method (Sub-Block=4)



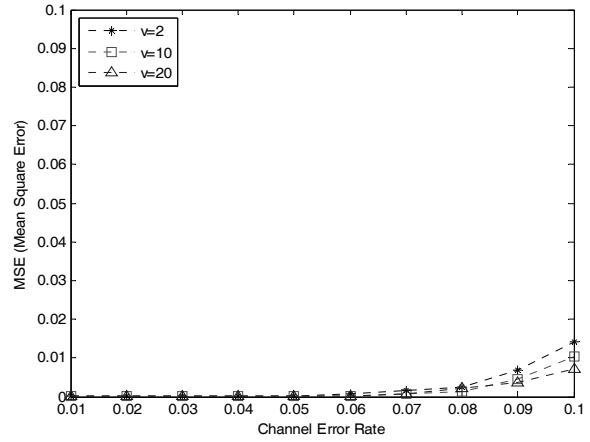
(c) Comparison group (Sub-Block=8)



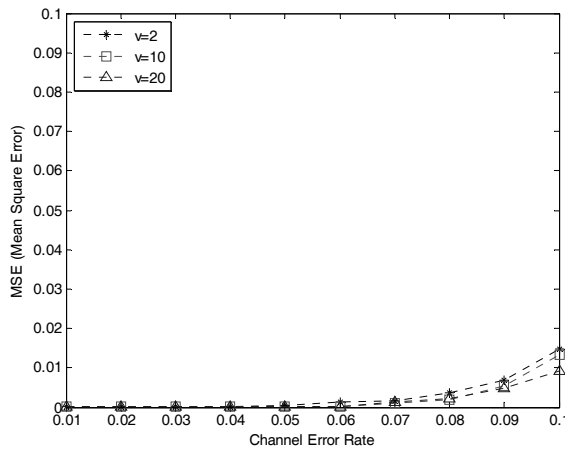
(d) Proposed transmission method (Sub-Block=8)



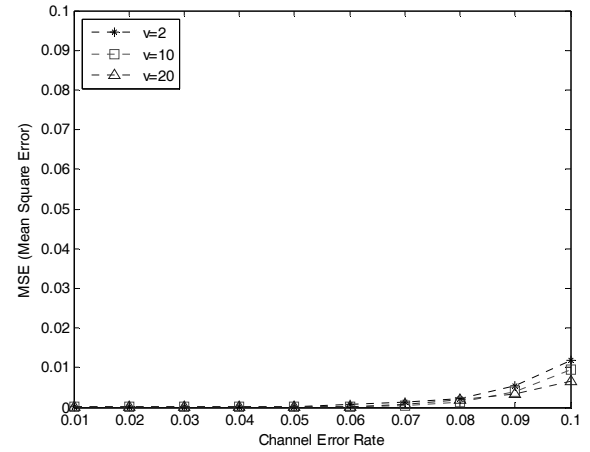
(e) Comparison group (Sub-Block=12)



(f) Proposed transmission method (Sub-Block=12)

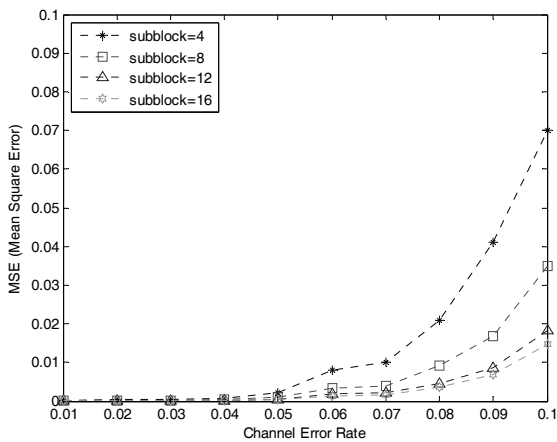


(g) Comparison group (Sub-Block=16)

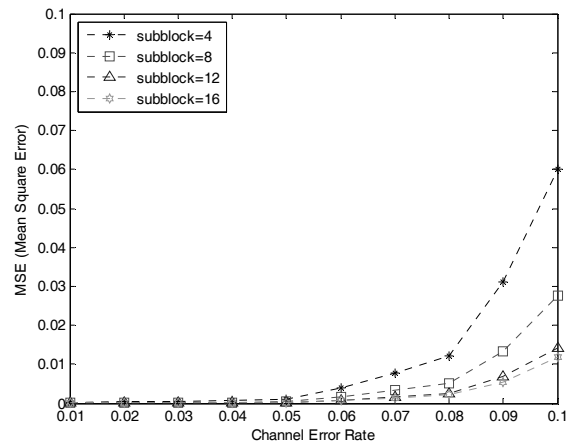


(h) Proposed transmission method (Sub-Block=16)

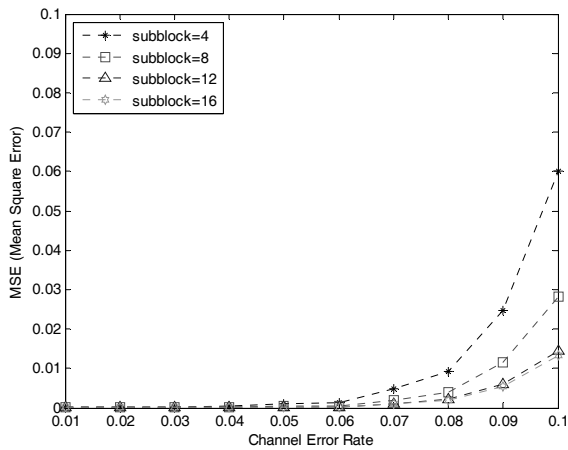
Fig. 11. MSE value analysis in accordance with the number of Sub-Blocks



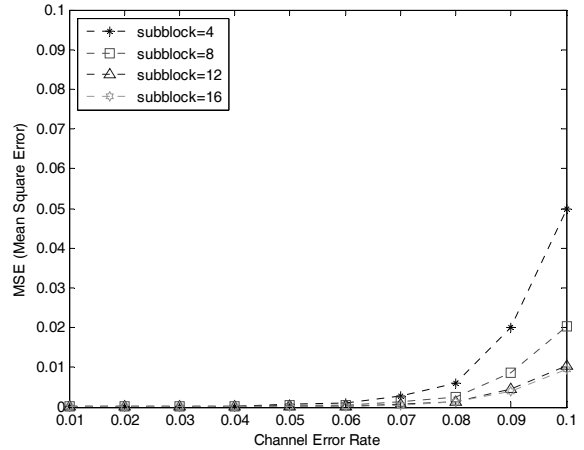
(a) Comparison group ($v=2$)



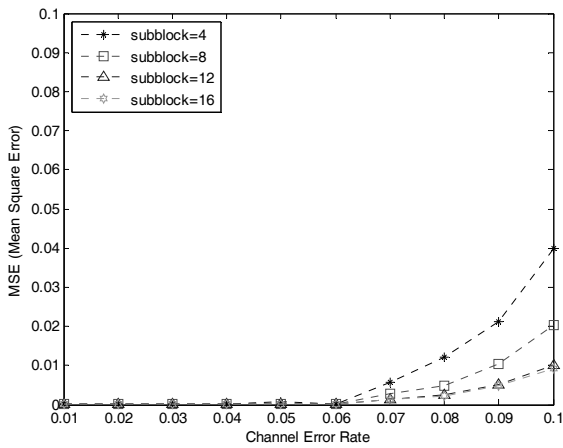
(b) Proposed transmission method ($v=2$)



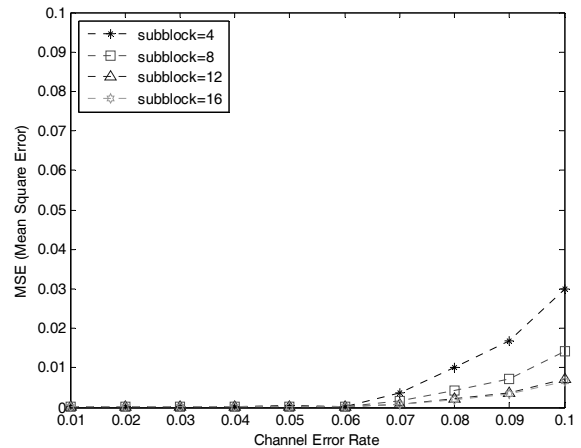
(c) Comparison group ($v=10$)



(d) Proposed transmission method ($v=10$)



(e) Comparison group ($v=20$)



(f) Proposed transmission method ($v=20$)

Fig. 12. MSE value analysis in accordance with velocity of wireless equipment

롯에 기본계층 부호화 정보를 전송하게 되고 나머지 슬롯들에 상위계층 부호화 정보를 전송하게 되지만, 대조군은 기본계층과 상위계층 구분 없이 전송을 하는 것으로 시뮬레이션을 진행한다.

Fig. 11은 에러 패턴을 샘플 비디오에 적용시켜 구한 MSE 값을 나타낸다. 모든 경우에서 제안하는 전송 방식이 대조군과 비교했을 때 MSE 값이 더 적은 것을 보여준다. 그와 더불어, 무선 기기의 이동속도(v)가 증가할수록 더 적은 MSE 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 무선 기기의 이동 속도가 빠를수록 Fading의 영향을 더 적게 받기 때문에 연속적으로 발생하는 에러가 더 적은 것에 대한 결과라고 할 수 있다.

Fig. 11과 마찬가지로, Fig. 12도 샘플 비디오를 통해 구한 MSE 값을 나타낸다. 이 또한 모든 경우에서 대조군보다 더 낮은 MSE 값을 가지는 것을 알 수 있다. 그리고 Sub-Block의 수가 많을수록 더 낮은 MSE 값을 가지는 것을 더 명확히 확인할 수 있다. Sub-Block의 수가 많을수록

연속적으로 발생하는 에러를 더 많이 복원시킬 수 있기 때문에 이러한 결과가 나오게 된다. 본 시뮬레이션에서는 Sub-Block수의 증가에 따른 지연 시간은 고려하지 않았다. 실제적으로는 Sub-Block의 수를 특정 응용에 적합한 최대 지연 시간의 허용 범위를 고려하여 설계하는 것이 더 좋은 방법일 것이다.

5. 결론

무선 네트워크 기술의 발전은 전송 속도와 전송의 신뢰성 향상 등을 주로 고려하여 이루어졌다. 최근 스마트폰 사용자가 증가함에 따라 다양한 어플리케이션이 개발되고 있다. 그에 따라 사용자들은 서로 다른 어플리케이션을 이용하고, 각 사용자마다 요구하는 서비스 품질(QoS)이 다양해지고 있다. 또한 멀티캐리어 통신 방식에서의 전환이 이루어지고 있지만, 이는 전송 속도의 향상만을 생각하고 있다. 전송 속도가 증가하면 서비스 품질을 대부분 향상시킬 수 있겠지만,

특정 어플리케이션에 적합한 전송 방식을 설계함으로써 서비스 품질을 더 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 스트리밍 서비스의 한 방식으로 Scalable 비디오 전송이라는 특정 어플리케이션에 적합한 듀얼-채널 전송 방식을 제안하였다.

이 전송 방식은 Scalable 비디오의 부호화 정보에서 중요한 기본계층 부호화 정보에 대하여 중복 전송을 함으로써 데이터의 신뢰성을 높이는 방법을 이용한다. 또한 상위계층 부호화 정보에 대해서는 분산 전송을 통해 전송 속도에 대한 부분도 충족시킨다. 그 결과, 비디오의 서비스 품질을 향상시킬 수 있었다. 이는 듀얼-채널을 이용하는 모델이기 때문에, 실제 LTE 통신 방식으로서 적용 또한 쉽게 이루어질 수 있다. 또한, LTE 통신 방식에서 Bandwidth가 넓어져도, 여러 사용자가 Bandwidth를 공유하여 사용하고 또한 단지 스트리밍 서비스에만 한정되어 Bandwidth를 사용하는 것이 아니기 때문에, Bandwidth를 잘 활용할 수 있는 방안이 필요할 것이다. 결국 제안하는 전송 방식이 적은 비용으로 더 향상된 효과를 낼 수 있는 효율적인 방법으로서 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 더 많은 사용자들에게 더 높은 품질의 비디오 서비스를 제공할 것으로 기대된다. 이처럼 특정 어플리케이션에 적합한 전송 방식을 설계하여 적용함으로써 그에 맞는 서비스 품질을 향상시킬 수 있다.

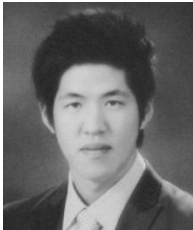
참 고 문 헌

- [1] S. Khan, S. Duhovnikov, E. Steinbach, M. Sgroi, and W. Kellerer, "Application-driven cross-layer optimization for mobile multimedia communication using a common application layer quality metric", Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing, pp.213-218, 2006.
- [2] V. Huang and Z. Weihua, "QoS-oriented access control for 4G mobile multimedia CDMA communications", Communications Magazine, IEEE, Vol.40, pp.118-125, 2002.
- [3] T. Guenkova-Luy, A. J. Kassler, and D. Mandato, "End-to-end quality-of-service coordination for mobile multimedia applications", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, Vol.22, pp.889-903, 2004.
- [4] E. Dahlman, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband: Academic, 2008.
- [5] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Vol.17, pp.1103-1120, 2007.
- [6] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Vol.13, pp.560-576, 2003.
- [7] K. Kyungtae, W. J. Jeon, P. Kyung-Joon, R. H. Campbell, and K. Nahrstedt, "Cross-Layer Quality Assessment of Scalable Video Services on Mobile Embedded Systems", Mobile Computing, IEEE Transactions on, Vol.9, pp.1478-1490, 2010.
- [8] <http://www.3gpp2.org>.
- [9] <http://cdg.org>.
- [10] 김현욱, IMT-2000 이동통신 원리. 진한도서, 2001.
- [11] C. Young-June and B. Saewoong, "Scheduling for VoIP service in cdma2000 1xEV-DO", Communications, 2004 IEEE International Conference on, Vol.3, pp.1495-1499, 2004.
- [12] N. Bhushan, C. Lott, P. Black, R. Attar, J. Yu-Cheun, M. Fan, D. Ghosh, and J. Au, "CDMA2000 1xEV-DO revision a: a physical layer and MAC layer overview", Communications Magazine, IEEE, Vol.44, pp.37-49, 2006.
- [13] A. Lahanas and V. Tsaoussidis, "Improving TCP performance over networks with wireless components using 'probing devices'", International Journal of Communication Systems, Vol.15, pp.495-511, 2002.
- [14] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "Error statistics in data transmission over fading channels", Communications, IEEE Transactions on, Vol.46, pp.1468-1477, 1998.
- [15] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels", Universal Personal Communications. 1995. Record., 1995 Fourth IEEE International Conference on, pp. 211-215, 1995.
- [16] H. Murakami, W. Gang, and M. Inoue, "Improving TCP performance after a long channel outage", Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on, Vol.5, pp. 3259-3265, 2002.
- [17] A. Chockalingam, M. Zorzi, and R. R. Rao, "Performance of TCP on wireless fading links with memory", Communications, 1998. ICC 98. Conference Record. 1998 IEEE International Conference on, Vol.1, pp.595-600, 1998.
- [18] M. Zorzi and R. R. Rao, "Perspectives an the impact of error statistics on protocols for wireless networks", Personal Communications, IEEE, Vol.6, pp.32-40, 1999.
- [19] M. Zorzi and R. R. Rao, "The effect of correlated errors on the performance of TCP", Communications Letters, IEEE, Vol.1, pp.127-129, 1997.
- [20] R. Zorzi, A. Chockalingam, and R. R. Rao, "Throughput analysis of TCP on channels with memory", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, Vol.18, pp.1289-1300, 2000.
- [21] W. Gang, B. Yong, L. Jie, and A. Ogielski, "Interactions between TCP and RLP in wireless Internet", Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM '99, Vol.1B, pp.661-666, 1999.
- [22] W. J. Ebel and W. H. Tranter, "The performance of Reed-Solomon codes on a bursty-noise channel",

Communications, IEEE Transactions on, Vol.43, pp.298-306, 1995.

- [23] K. Kyungtae, "Probabilistic analysis of data interleaving for reed-solomon coding in BCMCS", Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.7, pp.3878-3888, 2008.
- [24] "Video Traces for Network Performance Evaluation.", Available: <http://trace.eas.asu.edu/tracemain.html>, 2010.

유 호 민



e-mail : hmyoo@cpslab.hanyang.ac.kr
 2011년 한양대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2013년 한양대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2013년~현 재 LG전자 CTO부문
 컨버전스연구소 연구원
 관심분야 : Mobile Smart Device,
 Video Streaming

이 재 면



e-mail : jaemyoun@hanyang.ac.kr
 2012년 한양대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2013년~현 재 한양대학교 컴퓨터공학과
 석·박사통합과정
 관심분야 : Storage Systems, Embedded
 Systems

박 주 영



e-mail : parkjy@hanyang.ac.kr
 2006년 계명대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2008년 한양대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2008년~현 재 한양대학교 컴퓨터공학과
 박사과정
 관심분야 : Mobile Computing, Ubiquitous
 Computing, Real-Time Wireless Infrastructure & Data Mining

한 상 화



e-mail : shhan@cpslab.hanyang.ac.kr
 2012년 한양대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2013년~현 재 한양대학교 컴퓨터공학과
 석사과정
 관심분야 : Cyber Physical Systems

강 경 태



e-mail : kt kang@hanyang.ac.kr
 2009년 서울대학교 전산과학전공(학사)
 2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(석사)
 2007년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)
 2011년~현 재 한양대학교 컴퓨터공학과
 조교수

관심분야 : Cyber-Physical Systems, Mobile Computing