

논문 2005-42SP-3-5

이동방송수신환경에서 MPEG-4 계층적 비디오 전송을 위한 결합 소스/채널 부호화에 관한 연구

(Studies on Joint Source/Channel Coding for MPEG-4 Scalable Video
Transmission in Mobile Broadcast Receiving Environments)

이 운 문*, 손 원**

(Woon-Moon Lee and Won Sohn)

요 약

이 논문은 국내 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting, DAB)의 표준으로 채택된 Eureka 147 DAB 시스템에 결합 소스/채널 부호화 기법(Joint Source/Channel Coding, JSC)을 적용한 데이터 전송시스템의 기본틀을 제안한다. 제안전송시스템의 소스부호화기는 기존의 SNR-계층적 부호화(SNR-Scalability) 기법의 발전된 형태인 MPEG-4 FGS(Fine Granular Scalability) 비디오부호화기, 채널부호화기로는 상이오류보호(Unequal Error Protection, UEP)에 효율적인 RCPC 부호화기 그리고 변조방식은 QPSK를 적용하였다. 채널환경은 랜덤잡음환경과 이동수신환경을 고려하였다. 이 논문에서는 여러 가지 채널 상태(E_s/N_0)에 따른 윌-왜곡특성에 대해 분석하여 소스비트율과 채널부호율 간에 최적의 상충점(Trade-off point)을 결정하였고, DAB의 계층적 비디오 전송을 위한 FGS-JSC 기법이 적용되었을 때와 단일계층의 고정부호율 전송의 경우를 비교하여 FGS-JSC 기법의 우수함을 보였다.

Abstract

In this paper, we develop an approach toward JSC(Joint Source-Channel Coding) method for MPEG-4 based FGS(Fine Granular Scalability) video coding and transmission in fixed and mobile receiving environment(Digital Audio Broadcasting, DAB). The source coder used MPEG-4 FGS video codec, the channel coder used RCPC(Rate Compatible Punctured Convolution) code and the modulation method used QPSK modulation. We have considered channel environment of AWGN and mobile receiving environment. This study determined optimum Trade-off point between source bit rate and channel coding rate in variable channel states. We compared FGS-JSC method and general single layer CBR(Constant Bit Rate) transmission. In this results, FGS-JSC was appeared better performance than CBR transmission.

Keywords : Joint Source/Channel Coding, MPEG-4 FGS, RCPC, DAB

I. 서 론

디지털 오디오 방송은 다양한 멀티미디어 서비스를 즐길 수 있다는 장점을 가지지만, 한정된 주파수 자원의 문제 때문에 주파수 자원의 효율적 사용은 디지털 오디오 방송의 전송분야에서 연구되어야 할 중요한 과제이다.

기존의 방송전송시스템은 주어진 수신영역 내에서 모든 수신기가 목표 서비스 품질을 만족하도록 설계되

고 있기 때문에, 수신영역의 경계지역부근과 같이 수신 상태가 상대적으로 좋지 않은 경우에는 대역폭 사용관점에서 적절하게 운용되고 있으나, 송신기에 대하여 상대적으로 인접한 지역이나 채널상태가 좋은 경우에는 수신기 입력단의 요구 C/N값에 대한 링크 여유도가 지나치게 크기 때문에 대역폭 사용면에서 매우 비경제적이라고 할 수 있다. 이러한 비경제성은 멀티미디어 서비스의 활성화에 따라 채널용량이 점점 증가하고 있는 현 시점에서 개선되어야 할 문제이다. 이러한 문제점의 해결방안으로 적응변조방식과 결합 소스/채널 부호화 방식 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며^{1, 2, 3, 4}, 이 논문에서는 결합 소스/채널 부호화(Joint Source/Channel Coding, JSC)를 이용한 방안에 관하여 초점을 맞추고자 한다.

* 정회원, (주)단암시스템즈
(Danam Systems Inc.)

** 정회원, 경희대학교 전파공학과
(Dept. of Radio Communication Engineering,
Kyung Hee University)

접수일자: 2004년10월17일, 수정완료일: 2005년4월25일

JSC에 대한 연구는 Shannon의 정보분리이론^[5]에 대한 그의 제기로부터 시작되었다. Shannon은 정보분리이론에서 무한대의 시퀀스 길이가 가정된 점 대 점 전송에서 소스부호화기와 채널부호화기는 각각 독립적으로 최적화될 때, 소스 및 채널부호화기를 포함한 전체 시스템이 최적화될 수 있다고 주장하였다. 그 동안 Shannon이 주장해온 정보분리이론에 따라, 소스부호화기와 채널부호화기는 독립적으로 연구되었으나, 그의 이론이 가정한 '무한대의 시퀀스 길이' 조건과 '점 대 점 전송' 조건은 메모리 크기의 한계성 문제와 무선통신의 다중경로문제에 의하여 일반 전송시스템에서 만족될 수 없는 가정이라는 의견이 대두되기 시작하였다. 이에 따라, 1970년 후반부터 소스부호화기와 채널부호화기를 함께 고려하는 JSC 기법에 대한 연구가 시작되었다^[4]. Modestino 등^[6]은 1970년대 후반에 DCT(Discrete Cosine Transform) 변환을 이용하는 결합된 소스/채널 부호화에서 소스부호화기는 일정하게 두고, 소스부호화기 출력이 대하여 채널부호화를 모든 소스비트에 대하여 동일하게 적용하는 방안, DCT 지수값에 따라 다르게 적용하는 방안 및 각 DCT 지수의 비트에 대하여 다르게 적용하는 방안에 대하여 연구하였다. Sundberg^[7]는 비선형 PCM시스템에서 소스부호화기 출력비트의 오류가 재생신호에 미치는 영향에 따라 각 비트에 대하여 다른 채널부호율을 적용하는 방안에 대하여 연구하였다. 이와 같이 JSC 기법에 대한 연구는 소스부호화기 출력비트의 중요도에 따라 다르게 채널부호화하는 방안에 대한 연구로부터 시작되었다. 1996년에 Chaddha 등^[8]은 시간에 따라 변하는 무선채널환경에서 영상신호를 전송할 때, 소스부호화기와 채널부호화기 사이의 비트를 분배를 채널상태에 따라 동적으로 할당하는 것에 대한 연구를 수행하였다. 2000년에 Alavi 등^[9]은 계층적 부호화 방식의 하나인 부대역 영상부호화기와 평처드 채널부호화기/TCM(Trellis Coded Modulation) 부호화기를 고려하여 소스부호화기의 다수 출력스트림에 대하여 출력스트림의 중요도에 따라 다르게 오류보호를 하는 방안에 대한 연구를 수행하였다. 또한 K. Ramchandran 등^[10]은 다해상도 변조기법과 TCM이 결합된 다해상도 변조기법, 임베디드(Embedded) 채널부호화 기법을 사용하여, 기본화질과 고품질의 채널 비트율이 1:2인 특정 고품질 HDTV 부호화기에 대해 연구하였다. 최근의 JSC 기법에 대한 연구는 무선채널환경이 고려되고, 소스부호화기와 채널부호화기에 대한 비트할당을 동적으로 하는 방안에 대한 연구를 수행하고

있다.

이 논문에서는 DAB 서비스를 통하여 MPEG-4 비디오 스트림을 전송할 때, 채널 환경에 따라 왜곡을 최소화하는 소스비트율과 채널부호율을 할당함으로써 효율적인 대역폭 사용을 가능하게 하는 DAB를 위한 JSC 시스템을 제안하였으며, 채널환경은 랜덤잡음환경과 이동수신환경을 모두 고려하였다. 전송시스템의 기본 틀은 Eureka 147에서 규정된 데이터 서비스를 위한 전송 파라미터를 이용하였으며, 소스부호화기는 계층적 동영상 스트리밍 서비스를 위한 Momusys의 MPEG-4 FGS 코덱을 사용하였고^[11, 12], 채널부호화기는 상이오류보호(Unequal Error Protection, UEP)에 효율적인 RCPC(Rate Compatible Punctured Convolution) 부호화기를 사용하였다^[13]. RCPC 부호화율은 모부호를 1/4로 하여 만들어지는 가변부호율 중 4개의 부호율(1/3, 2/5, 1/2, 2/3)이 적용되었다. 주파수 자원의 제한을 가정하기 위해 목표 전송비트율을 800 kbits/s로 하였으며, 다양한 채널부호율에 소스비트율을 조합시켜 E_s/N_0 값에 따른 최적의 부호율 조합을 결정하였다.

이 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. II장에서는 JSC 기법에 대하여 논하였고, III장에서는 이 논문에서 적용한 JSC 시스템 설계에 대해서 다루었다. IV장에서는 MPEG-4 FGS를 이용한 JSC 기법에 대한 모의실험 결과와 분석을 논하였으며, V장은 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 결합 소스/채널 부호화

JSC는 적응적 전송기법으로서, 소스비트율과 채널부호율을 가변적으로 적용하여 주어진 품질을 만족하는 한편 대역폭 사용효율관점에서도 뛰어난 성능을 갖는 부호화 기법이다. JSC는 고정 및 이동수신환경에서 시간에 따라 변하는 채널환경과 컨텐츠 복잡도를 고려하여 적절하게 소스와 채널부호율을 할당하고, 서비스 품질과 대역폭 사용효율 측면에서 우수한 성능을 가질 수 있다.

JSC는 수신신호의 왜곡을 최소화하기 위해 채널환경에 따라 소스부호화와 채널부호화 알고리즘을 최적화시키며, 비디오전송에서는 비트열의 비트들 간에 중요도가 다르기 때문에, RCPC 부호화를 이용하여 각 비트에 대하여 UEP를 적용하여 차등적으로 소스비트를 보호한다. 이 논문에서는 완벽채널예측(Perfect Channel Estimation)이란 가정 하에 채널환경에 따른 최적의 비

트할당을 시도하였다. 여기서 ‘최적의 비트할당’이란 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE) 값이 최소화 되는 소스와 채널의 비트할당을 의미한다.

일반적으로 울-왜곡 이론은 손실 압축 시스템에서 비트율과 재구성 왜곡 사이의 상충(Tade-off)관계를 설명한다. 여기서 비트율은 각 표본 값을 표현하는데 사용되는 평균 비트 수로 정의되고, 재구성 왜곡은 원래의 표본 값과 재구성된 값 사이에 발생하는 오차에 의한 값이다. 이러한 상충관계를 표현하는 하나의 방법이 울-왜곡 함수(Rate-Distortion Function) $R(D)$ 이다. 울-왜곡 함수 $R(D)$ 는 소스로부터 발생한 정보가 왜곡이 D 보다 작거나 같은 값을 유지한 채로 부호화 될 수 있는 최소의 비트율을 나타낼 수 있다.

일반적으로 왜곡 D 는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[4].

$$D = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} d(x_i, y_j) p(x_i) p(y_j | x_i) \quad (1)$$

여기서, N 과 M 은 프레임의 행과 열의 수를 의미하고, x_i 와 y_j 는 각 프레임에서의 좌표이다. 또한 $d(x_i, y_j)$ 는 주어진 좌표에서의 왜곡을 나타낸다.

일반적인 소스 부호화의 압축과정에서 발생하는 왜곡에 의한 울-왜곡 함수에 비해 JSC의 울-왜곡 함수는 식 (2)와 같이 소스 부호화 단계에서 발생하는 왜곡과, 그 왜곡이 존재하는 정보를 다시 채널을 통해 전송하였을 때 채널 부호화에서 정정하지 못한 오류에 의한 왜곡을 모두 포함한다.

$$D(R_s, R_c) = D_s(R_s) + D_c(R_s, R_c) \quad (2)$$

여기서, D_s 와 D_c 는 각각 소스와 채널에서 발생하는 왜곡을 나타내고, R_s 와 R_c 는 소스와 채널에 할당되는 비트율을 의미한다.

JSC의 비트할당은 한정된 자원의 조건하에 왜곡 D 가 최소화 될 수 있도록 자원을 경쟁 사용자들(예: 양자화기) 사이에 최적으로 분배하는 방안을 찾는 것으로 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\min_{\{n_k\}} (D = \sum_{k=1}^K d_k(n_k)) \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K n_k \leq R \quad (3)$$

여기서, $d_k(\cdot)$ 는 k 부대역의 왜곡, n_k 는 k 부대역의 소스비트율, R 은 전체비트율, K 는 사용자 수이다.

D 는 개별 사용자 함수 d_k 의 합으로 나타내어지고, 한정된 자원은 자원의 한계 R 을 초과하지 않는 n_k 의 합으로 나타낼 수 있다. 식 (3)은 양자화기, 부대역 및

부호화기들 사이의 비트 분배와 같은 실제적 응용에 사용된다.

최근의 논문들^[1, 2, 3, 9]에서는 식 (4)와 같은 두 가지 제한 사항을 갖는다.

$$\min_{\{n_k, m_k\}} (D = \sum_{k=1}^K d_k(n_k, m_k)) \quad (4)$$

$$s.t. \quad \sum_{k=1}^K n_k \leq R_1, \quad \sum_{k=1}^K m_k \leq R_2$$

여기서, n_k 와 m_k 는 각각 k 부대역의 소스 및 채널비트율을 의미하며, R_1 과 R_2 는 각각 시스템 전체의 소스 및 채널비트율을 말한다.

III. 시스템 설계

1. 시스템 구성

JSC 시스템의 구조는 소스부호화기, 채널 부호화기, 채널 예측기(Channel Estimator), 비트할당(Bit Allocation) 등의 부분으로 구성되며, 그림 1과 같다.

JSC 시스템은 채널 예측기에 의해 산출된 채널 E_s/N_0 값에 대한 울-왜곡 특성에 따라 소스부호화기와 채널부호화기에 최적의 비트 할당을 하기 때문에, 입력 비디오에 대한 울-왜곡 특성은 미리 구하여야 한다.

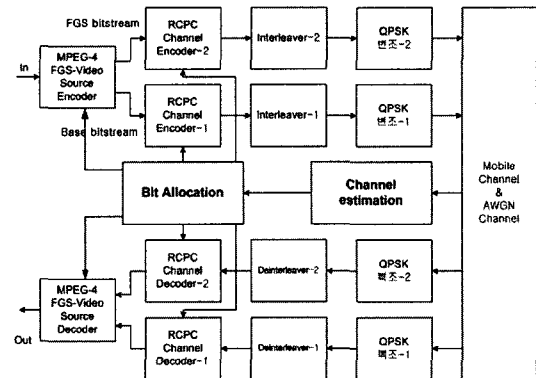


그림 1. JSC 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of JSC System.

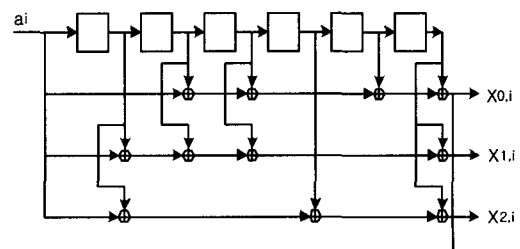


그림 2. 컨볼루션 부호화기(R=1/4)
Fig. 2. Convolution Coder(R=1/4).

RCPC의 모부호로는 구속장의 길이가 7이고, (133, 171, 145, 133)₈의 생성다항식을 갖는 길쌈 부호화기를 사용하였으며, 그 구조는 그림 2와 같다. 천공 주기는 8로 하였으며, 천공 주기에 대한 모부호의 코드워드(32비트)에 대해 주어진 천공 패턴을 적용하여 여러 가지 채널부호율(1/3, 2/5, 1/2, 2/3)을 얻었다. 주어진 채널부호율을 소스부호화기의 출력 비트열에 적용하여 현재의 수신환경에서 왜곡을 최소로 하는 채널부호율을 찾았다. 채널부호화 방법으로는 3 비트 Viterbi 복호화기를 사용하였다.

2. MPEG-4 Fine Granular Scalability

MPEG-4 FGS 부호화기는 SNR-계층적 부호화(SNR-Scalability)의 발전된 형태로써, 수신자 측의 단말기 상태에 맞추어 영상정보를 전송 및 수신하도록 설계되었다. 예를 들어 성능이 낮은 단말기나 수신환경 상태가 열악한 경우는 기본화질만을 보증하고, 고성능 단말기에 수신 상태가 양호한 경우에는 고품질의 영상정보를 얻을 수 있다.

그림 3은 MPEG-4 FGS 인코더의 구조를 나타낸다. 그림에서 보여 지는 것처럼 FGS계층의 비트열을 만들어 내는 FGS계층의 입력은 기본계층에서의 양자화 오류 값이다. 그렇기 때문에 실질적으로 FGS계층에서 만들어진 모든 정보와 기본계층의 정보를 합한다면, 무손실 압축에 가까운 양질의 영상을 복원할 수 있게 된다^[15].

이 논문에서는 기본계층과 FGS계층의 비트열에 대하여 계층적으로 채널부호화를 수행하여, 채널상태가 열악한 경우에 수신기는 기본계층정보와 오류가 있는 FGS계층 정보를 수신하게 된다.

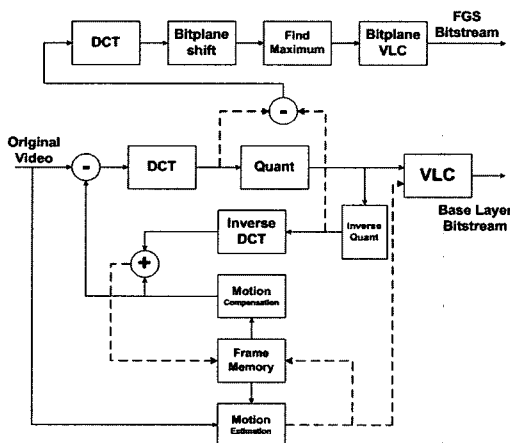


그림 3. FGS 인코더의 구조
Fig. 3. Block diagram of FGS encoder.

3. 채널 환경

이동수신 채널환경은 단일경로 레일레이 페이딩 채널을 고려하였으며, 이때, 복소 페이딩은 식 (5)와 같다^[16].

$$r(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_d t) x(t) + n(t) \tag{5}$$

여기서, r(t)는 수신신호, x(t)는 송신기 출력신호, n(t)는 가우시안 분포를 갖는 랜덤잡음 신호, f_d는 이동으로 인하여 발생하는 도플러 주파수이다. 모의실험에서 채널 주파수를 200MHz, 수신기 이동속도는 80Km/h를 가정했기 때문에, 도플러 주파수 f_d는 14.8Hz가 된다.

4. 율-왜곡(Rate-Distortion)

일반적인 율-왜곡 함수는 소스비트율에 대한 소스 부호화기의 입력 신호와 복호화된 재생신호 사이의 왜곡 함수로 표현된다^[13]. JSC의 경우에는 율은 소스와 채널 비트율을 모두 고려한 것이고, 왜곡은 소스부호화에 의한 왜곡과 채널에 의한 왜곡을 모두 고려하여야 한다. 여기서는 시스템 입력단의 입력 영상 신호와 시스템 출력단의 최종적으로 복호된 영상 신호간의 화소 값의 차를 이용하였다. 왜곡 측도는 평균제곱오차(MSE, Mean Squared Error) 값과 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 이용하였으며; 각 왜곡 측도의 정의는 식 (6), (7)와 같다^[17].

$$MSE(a, b) = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2 \tag{6}$$

$$PSNR(a, b) = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \tag{7}$$

여기서, a와 b는 각각 입력 및 출력영상을 말하며, N과 M은 처리영상의 행과 열의 화소수를 가리킨다. (x, y)는 각 화소의 좌표 값이다.

5. DAB 전송을 위한 대역폭 설정

디지털 오디오 방송은 반송파의 대역폭이 1.5MHz로 여기에 실리는 서비스의 수, 각 서비스의 전송율, 오류 보호용에 사용되는 중첩부호화율(R)의 설정은 전체비트율이 최대용량(2.3Mbps) 이내이면 자유로이 설정하는 것이 가능하다.

예를 들면, 음악서비스의 경우 최고의 고음질 MPEG

오디오신호(스테레오, 데이터율 384Kbps)를 오류정정능력 최대($R_c = 1/3$)로 보내는 경우는 2개의 서비스까지 밖에 다중 할 수 없지만, 전 서비스를 연결이나 대화급의 음질(모노, 데이터율 32Kbps)로 오류정정능력을 약하게($R_c = 3/4$)하면 54개의 서비스까지 다중화하여 보낼 수 있다. 유럽 등에서 실제 방송되고 있는 내용을 보면 음악방송 등의 고음질 서비스에서는 스테레오 192Kbps의 데이터율을 사용하며, $R_c = 1/2$ 로 설정하고 있는 경우가 많으며, 전 서비스가 이렇게 설정된 경우 여섯 개의 서비스를 다중화하여 방송할 수 있다. 또한, 뉴스나 스포츠프로그램의 경우는 음질을 중시하지 않으므로 데이터율을 낮춰서 서비스 수를 증가시켜 방송하고 있다.

이 연구에서는 동영상 스트리밍 서비스를 위해 데이터 전송율과 오류보호에 사용되는 중첩부호화율(R)을 합해 최대 800 kbits/s의 데이터율을 사용하여, 오디오 방송 서비스 이외에 부가적인 동영상 데이터 전송을 위한 JSC 시스템 설계를 구현하였다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

이 장은 DAB의 데이터 서비스 채널을 통하여 MPEG-4 FGS 비트열을 전송하기 위한 JSC 시스템에 관한 모의실험을 기술하였다. 전체적인 시스템 흐름은 소스부호화기에서 계층적인 두 개의 비트열(기본계층 비트열, FGS 비트열)을 생성하여, 수신환경이 양호한 지역의 수신기는 두 개의 비트열을 모두 수신할 수 있고, 수신환경이 열악한 지역의 수신기는 기본계층의 비트열만을 수신할 수 있고, 중간 지역의 수신기는 일부

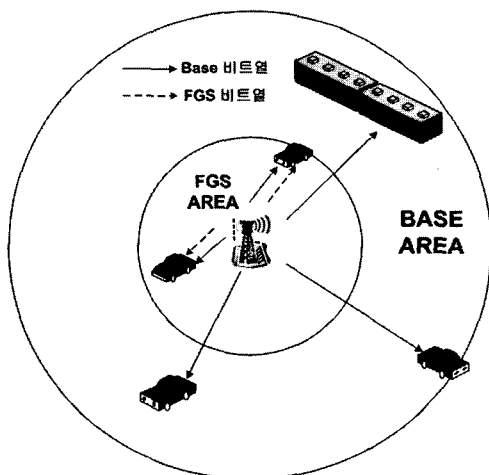


그림 4. 수신환경에 따른 계층적 서비스의 예
Fig. 4. Scalable service for receiving environment.

오염된 FGS 비트열과 기본계층 비트열을 수신할 수 있다.

그림 4는 수신환경에 따른 동영상 스트리밍 서비스의 계층적인 비트열 수신에 대한 논리적 개념을 보여준다.

수신환경이 양호한 FGS 영역 안에 있는 수신기는 두 개의 비트열을 모두 복원하여 양질의 영상을 복원하게 되고, 채널상태가 열악한 기본 영역의 사용자들은 기본적인 품질의 영상만을 수신하게 된다. 여기서는 수신환경의 양호성을 송신기로부터의 거리에 따르는 것으로 표현하였지만, 실제적으로는 다중경로, 도플러 효과 등으로 인하여 거리와 무관할 수도 있다.

모의실험은 랜덤잡음환경과 이동수신환경에서의 JSC 시스템을 구현했으며, 이동방송수신환경에서의 계층적 비디오전송에 대한 방법론을 제시하였다. 또한 시스템에서 FGS-JSC의 경우와 단일계층 고정부호율 전송에 대해 비교 분석하였다.

1. 랜덤잡음환경에서의 JSC

이 절에서는 랜덤잡음환경에서 입력 비디오들에 대한 왜곡 특성을 분석하였다. 실험에 사용된 입력비디오들은 ISO/IEC(International Standard Organization/International Electrotechnical Commission)의 MPEG-4 Video VM(Verification Model)에서 정한 복잡도가 Class A(Container ship, QCIF), Class B(News, QCIF) 그리고 Class C(Stefan, QCIF)로 분류된 비디오 자료를 사용하였다^[11].

소스부호화기와 채널부호화기에 할당되는 목표 비트율은 800 kbits/s 이고, 실험에 사용된 부호율 조합은 표 1과 같다. 소스부호화기에서 두 개의 비트열을 생성하여, 기본계층의 비트열은 고정된 소스비트율과 채널부호율을 적용하였고, 고급계층은 채널상태에 따라 가변적으로 소스비트율과 채널부호율을 적용함으로써 주어진 수신환경에 대해 최적의 비트 할당을 시도하였다.

비트할당 작업을 수행하기 위해서 그림 5-7과 같이 복잡도가 다른 입력 비디오 신호에 대한 왜곡 특성을 구하였다. 왜곡 측도는 PSNR 값을 이용하였으며, 기본계층 복원 영상, 기본계층과 FGS계층이 동일오류보호(EEP, Equal Error Protection)된 영상 및 기본계층과 FGS계층이 상이오류보호(UEP)된 영상들에 대하여 E_s/N_0 값에 따른 PSNR을 구하였다. 그림 8은 프레임에 대한 PSNR 값을 보여주는데, 대부분의 프레임에서는 소스비트를 많이 할당한 JSC2가 높은 PSNR을 갖지만, 일부 프레임에서는 주어진 채널환경에 대해 적당한

표 1. 실험에 사용된 부호율 조합
(목표비트율 = 800 kbits/s)

Table 1. Combination of Code rate.
(Target Bit rate = 800 kbits/s)

	소스비트율	채널부호율
기본계층	150 kbits/s	1/3
FGS 1 (EEP)	117 kbits/s	1/3
FGS 2 (UEP)	140 kbits/s	2/5
FGS 3 (UEP)	175 kbits/s	1/2
FGS 4 (UEP)	233 kbits/s	2/3

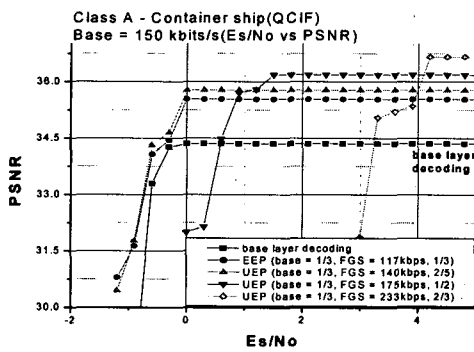


그림 5. Container ship (Es/No vs PSNR)
Fig. 5. Container ship (Es/No vs PSNR).

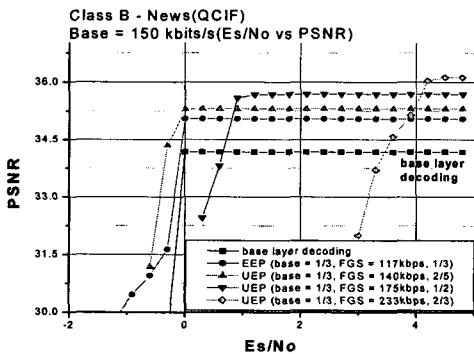


그림 6. News (Es/No vs PSNR)
Fig. 6. News (Es/No vs PSNR).

채널보호가 이루어지지 않아 발생하는 비트오류(bit error)로 인해, JSC1 경우가 더 낮은 오류와 높은 PSNR을 갖는다. 이처럼 비트할당은 JSC의 시스템 성능을 결정하는 중요한 과정이다.

그림 5, 6은 비교적 영상 복잡도가 낮은 Class A, B에 해당하는 영상에 대한 실험결과이다. 그림 7은 상대적으로 복잡도가 큰 Class C의 영상에 대한 경우로 동일 품질을 갖기 위해서 더 많은 소스비트율이 요구되기 때문에, 그림 5, 6의 경우와 같은 부호율이 적용되었지만 전체적인 영상의 품질이 떨어짐을 알 수 있다.

각 Es/No 값에 대하여 최선의 PSNR 값을 가지는

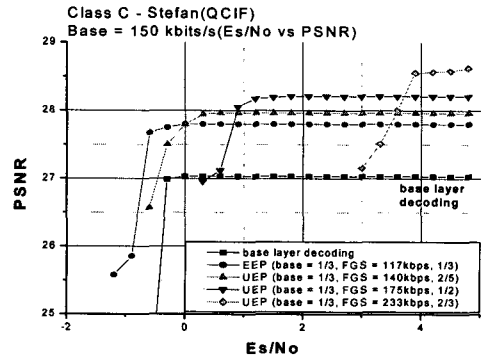


그림 7. Stefan (Es/No vs PSNR)
Fig. 7. Stefan (Es/No vs PSNR).

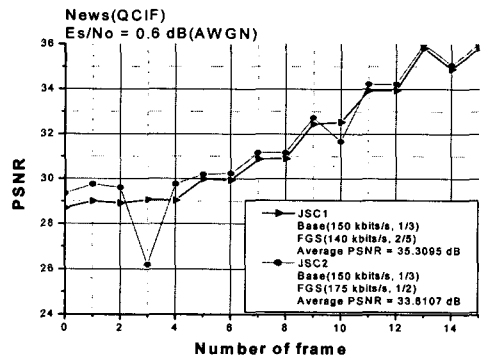


그림 8. 비트할당에 따른 성능 비교
Fig. 8. Performance of Bit rate.

표 2. FGS 계층의 비트할당(랜덤잡음환경)
기본계층 ($R_s = 150$ kbits/s, $R_c = 1/3$)
Table 2. Bit allocation of FGS Layer(AWGN)
Base Layer($R_s=150$ kbits/s, $R_c=1/3$)

E_s/N_0	Container ship (Class A)		News (Class B)		Stefan (Class C)	
	소스 kbits/s	채널	소스 kbits/s	채널	소스 kbits/s	채널
-1.2	117	1/3	117	1/3	117	1/3
-0.9	140	2/5	117	1/3	117	1/3
-0.6	140	2/5	140	2/5	117	1/3
-0.3	140	2/5	140	2/5	117	1/3
0.0	140	2/5	140	2/5	117	1/3
0.3	140	2/5	140	2/5	140	2/5
0.6	140	2/5	140	2/5	140	2/5
0.9	140	2/5	175	1/2	175	1/2
1.2	175	1/2	175	1/2	175	1/2
1.5	175	1/2	175	1/2	175	1/2
1.8	175	1/2	175	1/2	175	1/2
2.1	175	1/2	175	1/2	175	1/2
2.4	175	1/2	175	1/2	175	1/2
2.7	175	1/2	175	1/2	175	1/2
3.0	175	1/2	175	1/2	175	1/2
3.3	175	1/2	175	1/2	175	1/2
3.6	175	1/2	175	1/2	175	1/2
3.9	175	1/2	175	1/2	233	2/3
4.2	233	2/3	233	2/3	233	2/3
4.5	233	2/3	233	2/3	233	2/3
4.8	233	2/3	233	2/3	233	2/3

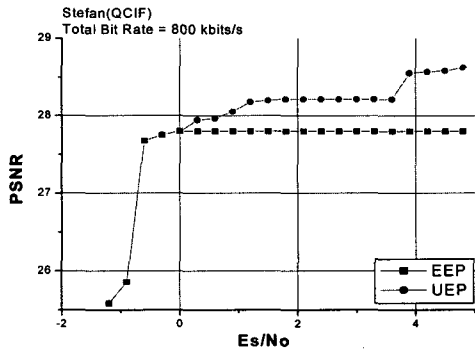


그림 9. EEP와 UEP의 성능비교(Stefan)
Fig. 9. Performance of EEP and UEP(Stefan).

소스/채널 조합을 구하면, 비트할당은 표 2와 같다. 표 2의 부호율 조합들은 전송시의 채널환경에 대한 최적의 소스비트율과 채널부호율의 조합을 나타낸다. 그림 9는 기본계층과 고급계층의 UEP와 EEP에 대한 비교이다. Es/No 값이 0 dB 일 때를 기점으로 UEP의 성능이 우수함을 볼 수 있다.

이 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 채널 환경이 양호해 짐에 따라 채널 보호를 줄이고 소스비트율에 더 많은 비트를 할당하는 JSC 기법을 적용함으로써 양질의 영상을 얻을 수 있었다. 방송수신환경에서는 한가지의 소스비트율과 채널부호율의 조합을 사용하는 것이 상식적이기 때문에, 표 2를 이용하여 적절한 조합을 선택하여야 한다.

2. 이동수신환경에서의 JSC

이 절에서는 이동수신(단일 경로 레일레이 페이딩) 환경에서 입력 비디오의 왜곡 특성을 분석하였다. 이동수신환경에서는 왜곡특성을 구하기 위하여 표 3과 같은 부호율 조합을 사용하였다. 그 이외의 실험에 대한 가정은 IV-1 절과 동일하다.

그림 10-12는 이동수신환경에서의 비디오의 움직임 복잡도에 따른 왜곡 특성이다. IV-1 절에서와 마찬가지로, 그림 10, 11은 비교적 영상의 복잡도가 낮은 Class A, B에 해당하는 영상이다. 상대적으로 그림 12는 복잡도가 큰 Class C에 해당하는 영상으로 더 많은 소스비트율이 요구되기 때문에, 같은 부호율이 적용되었지만 전체적인 영상의 품질이 그림 10, 11에 비해 떨어진다. 표 4는 이동수신환경에서 그림 10-12에서 구해진 왜곡 특성에 의한 비트할당 조합을 나타낸다.

그림 13과 그림 14는 EEP와 UEP간의 성능 비교를 나타낸 것이다. 전체적으로 이동수신환경에서도 UEP의 성능

표 3. 실험에 사용된 부호율 조합
(목표비트율 = 800 kbits/s)

Table 3. Combination of Code Rate
(Target Bit Rate = 800 kbits/s)

	소스비트율	채널부호율
기본계층	100 kbits/s	1/3
FGS 1 (EEP)	167 kbits/s	1/3
FGS 2 (UEP)	200 kbits/s	2/5
FGS 3 (UEP)	250 kbits/s	1/2
FGS 4 (UEP)	333 kbits/s	2/3

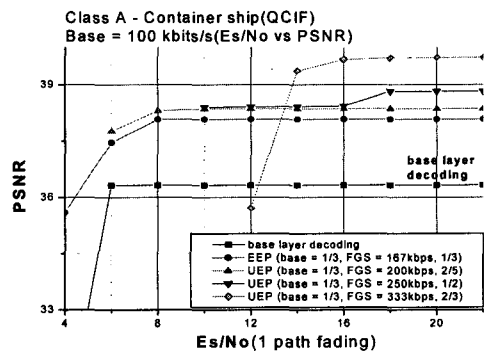


그림 10. Container ship (Es/No vs PSNR)
Fig. 10. Container ship (Es/No vs PSNR).

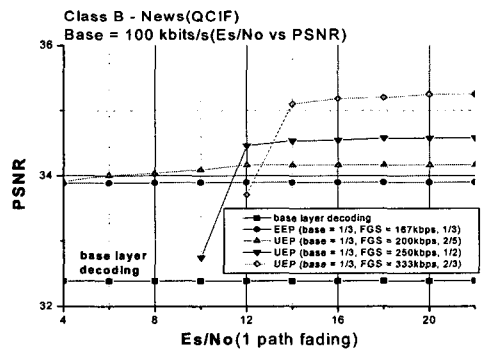


그림 11. News (Es/No vs PSNR)
Fig. 11. News (Es/No vs PSNR).

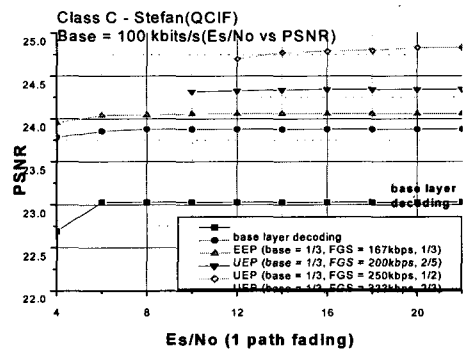


그림 12. Stefan (Es/No vs PSNR)
Fig. 12. Stefan (Es/No vs PSNR).

표 4. FGS 계층의 비트할당(이동수신환경)
기본계층 ($R_s = 100$ kbits/s, $R_c = 1/3$)

Table 4. Bit allocation of FGS Layer(Fading).
Base Layer ($R_s = 100$ kbits/s, $R_c = 1/3$)

Es/No	Container ship (Class A)		News (Class B)		Stefan (Class C)	
	소스 kbits/s	채널	소스 kbits/s	채널	소스 kbits/s	채널
4	167	1/3	200	2/5	200	2/5
6	200	2/5	200	2/5	200	2/5
8	200	2/5	200	2/5	200	2/5
10	250	1/2	200	2/5	250	1/2
12	250	1/2	250	1/2	333	2/3
14	333	2/3	333	2/3	333	2/3
16	333	2/3	333	2/3	333	2/3
18	333	2/3	333	2/3	333	2/3
20	333	2/3	333	2/3	333	2/3
22	333	2/3	333	2/3	333	2/3

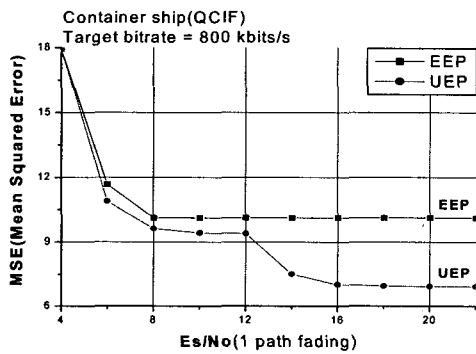


그림 13. UEP와 EEP의 성능비교(Container ship)
Fig. 13. UEP and EEP(Container ship).

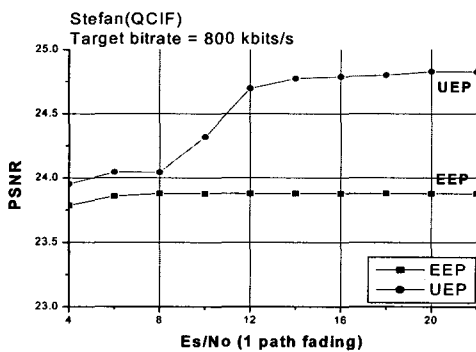


그림 14. UEP와 EEP의 성능비교(Stefan)
Fig. 14. UEP and EEP(Stefan).

이 우수하게 나타났다. 이동수신환경에서는 랜덤잡음환경과 비교하여, 동일 PSNR 값을 얻기 위해서 10 dB정도 높은 Es/No 값이 필요하지만, JSC를 적용함으로써 향상되는 PSNR 값이 1 dB정도 높아지기 때문에 JSC는 이동수신환경에서 더욱 효과가 있음을 알 수 있다.

3. 단일계층 방식과 복수계층 방식의 성능비교

이 절에서는 디지털 오디오 방송을 통한 계층적 비디오 전송을 위한 방법론을 정의하기 위해 IV-1 절과 IV-2 절의 모의실험결과를 분석하였다.

그림 15는 이동수신환경에서의 Container ship 영상의 채널환경에 대한 PSNR 그래프이다. K 곡선은 기본계층의 비트열만을 복원한 경우로서 가장 낮은 PSNR 값을 보이며, 수신환경이 좋지 않을 때에는 이 기본계층의 비트열만을 수신하여 저해상도 품질의 영상을 복원하게 된다. 그림 15의 나머지 곡선들은 기본계층의 비트열과 FGS계층의 비트열을 모두 복호한 경우를 나타낸다. 이 곡선들은 기본계층만을 복원한 경우에 비해 최소 2 dB 이상의 PSNR 우위를 갖는다. 이처럼 단말기의 수신환경이 좋을 때에는 기본계층의 비트열과 FGS계층의 비트열을 모두 복원하여 고해상도 품질의 영상을 복원할 수 있게 된다. 하지만 두 계층을 모두 복원한 경우가 항상 좋은 성능을 갖는 것은 아니다. 그 예를 살펴보면, Q 곡선의 a~b 구간은 전송에러(전송비트에러)가 존재하는 구간으로서, FGS계층의 적절하지 못한 채널 보호로 인해 전체적인 영상 품질이 저하되었다. 특히 Es/No가 12.2 dB 부근에서는 기본계층만을 복원한 K 곡선보다도 더 낮은 PSNR을 나타내고 있다. 그렇기 때문에 Q와 같은 부호율 조합을 이용하여 계층적인 비디오 전송을 하려면 고해상도의 품질과 저해상도의 품질의 경계점을 찾는 것이 중요하다. 예를 들어 Q 곡선의 품질 경계점은 Es/No = 12.2 dB가 된다. 12.2 dB를 경계로 Es/No 값이 감소할 때는 기본계층의 영상만을 복원하게 되고, 14 dB 보다 증가될 때에는 기본계층과 FGS 계층의 영상을 모두 복원하여 양질의 영상을 복원하게 된다.

그림 16은 랜덤잡음환경에서 구해진 News 영상의 Es/No에 대한 PSNR 그래프로서, 위에서와 같은 방법론을 적용할 수 있다. 먼저, P 곡선을 적용했을 때를 살펴보자. 전송에러발생 구간인 a~b 구간의 Es/No = 0.7 dB 부근에서 계층적 전송에 관한 경계점을 찾을 수 있다. Q 곡선에서는 c~d 구간이 전송에러발생 구간이고, 그 구간을 지나 전송에러가 없는 Es/No = 3.5 dB 가 품질 경계점이 되는 것이다.

이와 같이 계층적 부호화기를 이용한 계층적 전송은 적용하고자 하는 부호율 조합의 왜곡 특성을 이용하여 전송에러가 발생하지 않는 경계점을 찾는 것이 중요하다. 수신기의 수신환경에 따라 경계점을 기준으로 기본계층만을 복원할 것인지 기본계층과 고급계층을 함께

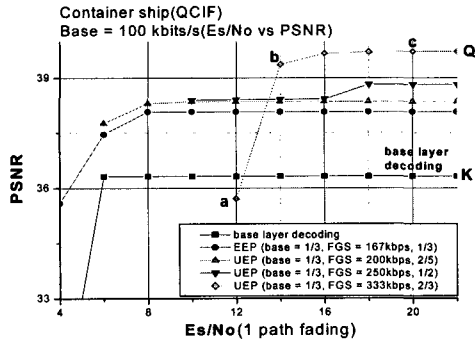


그림 15. Container ship 영상의 Es/No에 대한 PSNR
Fig. 15. PSNR for Es/No of Container ship video.

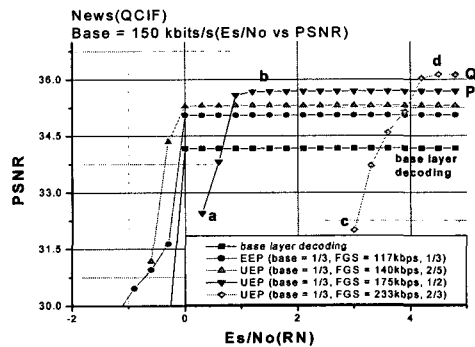


그림 16. News 영상의 Es/No에 대한 PSNR
Fig. 16. PSNR for Es/No of News video.

복원할 것인지를 결정하게 된다.

4. FGS-JSC와 고정부호율 전송간의 성능분석

이 절에서는 동일한 목표비트율을 갖는 FGS-JSC와 단일계층 고정부호율 전송의 성능 분석이 수행되었다. 사용된 비디오 콘텐츠는 Container ship(QCIF) 이고, 채널환경은 랜덤잡음환경을 고려하였다.

표 5와 같이 목표비트율을 800 kbits/s 로 설정되었고, FGS-JSC는 고정된 기본계층 부호율($R_s = 150$ kbits/s, $R_c = 1/3$)에 가변적인 FGS계층 부호율($R_s = (117, 140, 175, 233)$ kbits/s, $R_c = 1/3, 2/5, 1/2, 2/3$)을 적용하여 UEP된 경우이다. 단일계층 고정부호율 전송은 FGS-JSC와 동일한 목표비트율(800 kbits/s)을 갖지만, 고정 부호율($R_s=267$ kbits/s, $R_c=1/3$)만을 갖는다.

그림 17-18은 FGS-JSC와 단일계층 고정부호율 전송의 성능 비교를 나타낸 것이다. 두 방식은 동일한 채널대역폭($B = 800$ kbits/s)을 갖지만, 두 가지 계층적 품질을 생성하며 주어진 채널환경에 적절하게 UEP된 FGS-JSC가 더욱 우수한 성능을 나타냈다.

표 5. FGS-JSC vs Non-Scalable

Table 5. FGS-JSC vs Non-Scalable.

	FGS-JSC	Non-Scalable
목표비트율	800 kbits/s	800 kbits/s
기본계층 소스비트율	150 kbits/s	267 kbits/s
기본계층 채널부호율	1/3	1/3
FGS계층 소스비트율	(117, 140, 175, 233) kbits/s	-
FGS계층 채널부호율	1/3, 2/5, 1/2, 2/3	

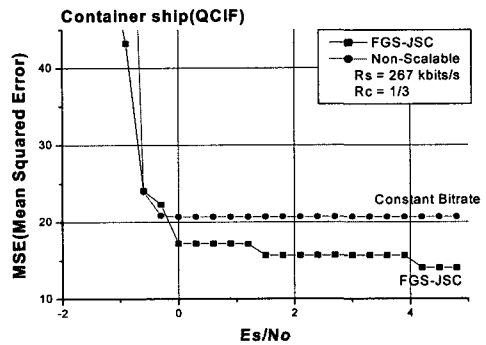


그림 17. FGS-JSC vs 고정부호율 전송(MSE)
Fig. 17. FGS-JSC vs CBR Transmission(MSE).

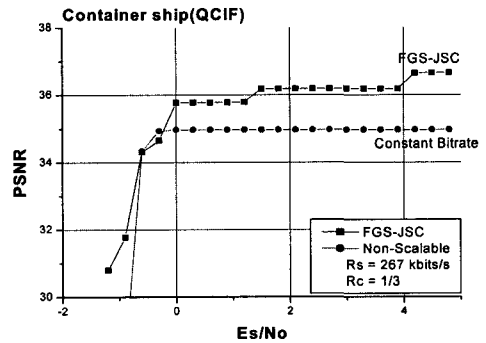


그림 18. FGS-JSC vs 고정부호율 전송(PSNR)
Fig. 18. FGS-JSC vs CBR Transmission(PSNR).

V. 결론

이 논문은 DAB 수신환경에서 MPEG-4 비디오의 계층적 전송을 위한 JSC 기법을 적용하여 수신성능을 높이는 방안에 대하여 논하였다. 구현된 전송시스템은 기존의 시스템에서 사용하는 고정부호율 전송방식을 지양하고, 수신환경에 따라 적합한 부호율 적용이 가능한 JSC 기법을 사용함으로써 효율적인 대역폭 사용과 전송성능을 향상시켰다.

계층적 비트열의 UEP 적용 실험에서는, 여러 가지 채널부호율을 채널환경에 따라 적절하게 적용한 UEP의

경우가 기본계층의 비트열과 FGS계층의 비트열이 EEP된 경우보다 전체 영상의 평균 PSNR에서 우수한 성능을 나타내었다.

FGS-JSC를 이용한 DAB의 계층적 비디오 전송에 있어서는, 구해진 왜곡 특성에서 전송에러가 발생하지 않는 경계점을 찾고, 단말기의 수신환경에 따라 경계점을 기준으로 기본계층만을 복원할 것인지 기본계층과 고급계층을 함께 복원할 것인지를 결정하였다. 또한 제한된 대역폭에서의 FGS-JSC 기법과 단일계층 고정부호율 전송방식의 비교에서도 FGS-JSC를 적용한 경우가 단일계층 고정부호율 전송방식에 비해 전체적으로 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Gene Cheung, Avidesh Zakhor, "Bit Allocation for Joint Source/Channel Coding of Scalable Video," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no 3, March 2000.
- [2] 이운문, 신재은, 손원, 이수인, 이현, "MPEG-4 동영상 부호화기를 이용한 조인트 소스/채널 부호화에 관한 연구," 한국방송공학회 추계 학술대회 논문집, pp 99~103, November 2002.
- [3] Lisimachos P. Kondi, Faisal Ishtiaq, Aggelos K. Katsaggelos, "Joint Source-Channel Coding for Motion-Compensated DCT-Based SNR Scalable Video," IEEE Transactions on Communications, vol. 11, no 9, September 2002.
- [4] T. C. Ancheta, Jr., Joint source channel coding, Ph.D. dissertation, Univ. Notre Dame, Aug. 1977.
- [5] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," Bell Systems Technical Journal 27, pp.379~423 & 623~656, July 1948.
- [6] J. W. Modestino and D.G. Daut, "Combined source channel coding of images," IEEE Transactions on Communications, vol. COM-27, pp.1644~1659, Nov. 1979.
- [7] C. E. Sundberg, "The effect of single bit errors in standard nonlinear PCM systems," IEEE Transactions on Communications, vol. COM-24, pp.1062~1064, June 1976.
- [8] N. Chaddha and S. Diggavi, "A Frame-Work for Joint Source-Channel Coding of Images over Time-Varying Wireless Channels," Proc. Int'l Conf. Image Processing, Switzerland, Sept. 1996.
- [9] A. Alavi, R. Link and S. Kallel, "Adaptive Unequal Error Protection for Subband Image Coding," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 46, no.3, Sept. 2000.
- [10] K. Ramchandran, A. Ortega, K. Metin Uz, M. Vetterli, "Multiresolution Broadcast for Digital HDTV using Joint Source/Channel Coding," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 11, no 1, January 1993.
- [11] MPEG-4 Overview, ISO/IEC JTC/SC29/WG11 N4030.
- [12] MPEG-4 Video Verification Model Version 18.0, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3908.
- [13] Joachim Hagenauer, "Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC Codes) and their Applications," IEEE Transactions on Communications, vol. 36, no 4, April 1988.
- [14] Sayood Khalid, Introduction to Data Compression, Morgan Kaufmann, pp. 194~210, 2000.
- [15] Hayder M. Radha, Mihaela van der Schaar, and Yingwei Chen, "The MPEG-4 Fine-grained scalable video coding method for multimedia streaming over IP," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 3, no. 1, March 2001.
- [16] Hiroshi Harada & Ramjee Prasad, Simulation and Software Radio for mobile communications, Artech House, 2002. 5.
- [17] King N. Ngan, Chi W. Yap, Keng T. Tan, Video Coding for Wireless Communication Systems, MARCEL DEKKER, INC. 2001.

저자 소개



이운문(정회원)
2001년 경희대학교 전파공학과
학사 졸업.
2003년 경희대학교 전파공학과
석사 졸업.
2003년~현재 (주)단암시스템즈
기술연구소 연구원.

<주관심분야 : 영상신호처리, 음성신호처리, 디지털방송, 멀티미디어전송>



손원(정회원)
1982년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1990년 텍사스 A&M대 전기공학
석사 졸업.
1993년 텍사스 A&M대 전기공학
박사 졸업.

1982년~1987년 국방과학연구소(진해)
1993년~1999년 한국전자통신연구원
1999년~현재 경희대학교 전자정보대학 부교수
<주관심분야 : 디지털방송, 멀티미디어전송, 신호처리>