

논문-03-08-2-07

MPEG-4 비디오 전송을 위한 결합 소스/채널 부호화에 관한 연구

이 운 문*, 손 원*, 이 수 인**

A Study on Joint Source/Channel Coding for MPEG-4 Video Transmission

Woon Moon Lee*, Won Sohn*, Soo In Lee**

요 약

고정 및 이동수신환경에서 결합 소스/채널 부호화 기법을 MPEG-4(Moving picture Experts Group) 비디오 전송에 적용하여 대역폭 사용 효율을 높이는 방안에 대하여 논하였다. 채널환경은 랜덤잡음환경과 이동수신환경을 고려하였다. 소스부호화기는 MPEG-4 비디오, 채널부호화기는 RCPC(Rate Compatible Punctured Convolution) 그리고 변조방식은 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)를 적용하였다. 이 논문에서는 여러가지 채널상태(Es/No)에 따른 율-왜곡특성에 대해 분석하여 소스비트율과 채널부호율 간에 최적의 상충점(Trade-off point)을 결정하였고, 결합 소스/채널 부호화 기법과 일반적인 고정부호율 전송기법을 비교하여 결합 소스/채널 부호화의 효율성을 보였다.

Abstract

In this paper, we develop an approach toward Joint Source-Channel Coding for MPEG-4(Moving picture Experts Group) based video coding in fixed and mobile reception environment. We have considered channel environment of AWGN and mobile reception. The source coder used MPEG-4 video, the channel coder used RCPC(Rate Compatible Punctured Convolution) and the modulation method used QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) modulation. This study determined optimum Trade-off point between source bit rate and channel coding rate in variable channel states. We compared Joint Source/Channel Coding method and general constant bit rate transmission. In this results, Joint Source/Channel Coding was appeared better performance than constant bit rate transmission.

I. 서 론

기존의 전송시스템은 주어진 수신영역 내에서 모든 수신기가 목표 서비스 품질을 만족하도록 설계되고 있기 때문에, 수신영역의 경계지역과 같은 채널상태가 좋지 않은 경

우에는 효율적인 대역폭 사용관점에서 적절하게 운용되고 있지만, 송신기에 대하여 상대적으로 인접한 지역이나 채널상태가 좋은 경우에는 수신기 입력단의 요구 C/N(Carrier to Noise ratio)값에 대한 링크 여유도가 지나치게 크기 때문에 대역폭 사용면에서 매우 비경제적이라고 할 수 있다. 이러한 비경제성은 멀티미디어 서비스의 활성화에 따라 채널용량이 점점 증가하고 있는 현 시점에서는 큰 문제점의 하나가 될 수 있다. 이러한 문제점의 해결방안으로 적응변조방식과 결합 소스/채널 부호화 방식 등에 대한 연구가 활성화되고 있으며^{[1][2][3][4]}, 이 논문에서는 결합 소스/채널

* 경희대학교 전파공학과,
Department of Radio Communication Engineering, Kyung Hee University

** 한국전자통신연구원 전파방송연구소
Electronics and Telecommunications Research Institute

부호화(Joint Source/Channel Coding, JSC) 방식에 관하여 초점을 맞추고자 한다.

JSC에 대한 연구는 Shannon의 정보분리이론^[5]에 대한 이의 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 샤논이 주장해온 정보분리이론에 따라, 소스부호화기와 채널부호화기는 독립적으로 연구되었으나, 그의 이론이 가정된 '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 소스, 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 출력에 대하여 채널부호화하는 방안을 모든 소스비트에 대하여 동일하게 하는 방안, DCT 계수값에 따라 다르게 하는 방안, 및 각 DCT 계수의 비트에 대하여 다르게 하는 방안에 대하여 연구하였다. Sundberg^[7]는 비선형 PCM시스템에서 소스부호화기 출력비트의 오류가 재생신호에 미치는 영향에 따라 각 비트에 대하여 다른 채널부호율을 적용하는 방안에 대하여 연구하였다. JSC 기법에 대한 첫 연구는 소스부호화기의 출력의 중요도에 따라 다르게 채널부호화하는 방안에 대한 연구로부터 시작되었다. 1996년에 Chaddha 등^[8]은 시간에 따라 변하는 무선채널환경에서 영상신호를 전송할 때, 소스부호화기와 채널부호화기 사이에 비트율을 전송시스템의 채널상태정보에 따라ダイナ믹하게 할당하는 것에 대한 연구를 수행하였다. 2000년에 Alavi 등^[9]은 계층적 부호화 방식의 하나인 부대역 영상부호화기와 천공 채널부호화기/TCM 부호화기를 고려하여 소스부호화기의 다수개의 출력스트림에 대하여 출력스트림의 중요도에 따라 다르게 오류보호를 하는 방안에 대한 연구를 수행하였다. Cheung 등^[11]은 계층적 비디오 부호화기를 이용한 JSC 기법의 비트할당에 대한 연구를 수행하였다. 요즘의 JSC 기법에 대한 연구는 무선채널환경이 고려되고, 소스부호화기와 채널부호화기에 대한 비트할당을 동적으로 하는 방안에 대한 연구를 수행하고 있다.

이 논문에서는 정지영상, 비디오 전송, 랜덤잡음환경, 이동수신환경 등의 여러 가지 파라미터 중 일부만을 고려한

기존의 연구와는 달리, 제한적 대역에서 용량이 큰 MPEG-4 비디오 스트림을 전송할 때, 채널 환경에 따라 왜곡을 최소화하는 소스비트율과 채널부호율을 할당함으로써 최선의 서비스 품질을 보장하는 JSC 시스템을 제안하였으며, 채널환경은 랜덤잡음환경과 이동수신환경을 모두 고려하였다.

이 논문은 전송시스템의 기본틀을 Eureka 147에서 데이터 서비스를 위한 전송파라미터를 적용하였으며, 채널환경은 랜덤잡음채널과 단일경로 레일레이 페이딩 채널을 고려하였다. 소스부호화기는 Momusys의 MPEG-4 코덱을 사용하였고^[10,11], 채널부호화기는 상이오류보호(Unequal Error Protection, UEP)에 효율적인 RCPC(Rate Compatible Punctured Convolution) 부호화기를 사용하였다^[12]. RCPC 부호화율은 모부호를 1/4로 하여 만들어지는 가변부호율(8/9~8/32) 중 오류보호 수준이 낮은 부호율(8/9, 8/10)을 제외한 22개의 부호율을 사용하였다. 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. 2 장에서는 JSC 기법에 대하여 논하였고, 3 장에서는 이 논문에서 적용한 JSC의 시스템 설계에 대해서 다루었다. 4 장에서는 MPEG-4를 이용한 JSC 기법에 대한 모의실험 결과와 분석을 논하였으며, 5 장은 결론과 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 결합 소스/채널 부호화 (JSC)

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 최적화 시키며, 비디오전송에서는 비트열의 비트들 간에 중요도가 다르기 때문에, RCPC 부호화를 이용하여 각 비트에 대하여 UEP를 적용하여 차등적으로 소스비트를 보호한다. 이 논문에서는 완벽채널예측이란 가정 하에 채널환경에 따른 최적의 비트할당을 시도하였다. 여기서 '최적의 비트할당'이란 평균제

곱오차(Mean Squared Error, MSE) 값이 최소가 되는 소스와 채널의 비트할당을 의미한다.

일반적으로 울-왜곡 이론은 손실 압축 시스템에서 비트율과 재구성 왜곡 사이의 상충(Trade-off)관계를 설명한다. 여기서 비트율은 각 표본값을 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^[13].

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

여기서, x_i 와 y_j 는 각각 신호의 원래값과 재생값을 의미하며, $d(x_i, y_j)$ 는 원신호와 재생신호간의 왜곡측도, $p(x_i)$ 는 소스에 대한 확률밀도, $p(x_i|y_j)$ 는 특정 재생값에 대한 특정 소스값의 발생확률로서, 압축방안에 따라 달라진다.

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, $D_s(\cdot)$ 와 $D_c(\cdot)$ 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 소

스비트율, 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.

$$\begin{aligned} \min_{\{n_k, m_k\}} (D = \sum_{k=1}^K d_k(n_k, m_k)) \\ s.t. \quad \sum_{k=1}^K n_k \leq R_1, \quad \sum_{k=1}^K m_k \leq R_2 \end{aligned} \quad (4)$$

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 채널 비트율을 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.

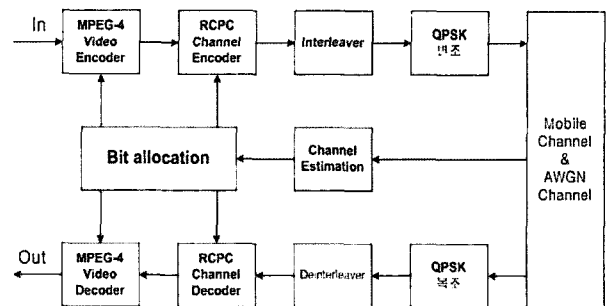


그림 1. JSC 시스템 구성도

Fig. 1. Joint Source/Channel Coding System

JSC 시스템은 채널 예측기에 의해 산출된 채널 E_s/N_0 값에 대한 울-왜곡 특성에 따라 소스부호화기와 채널부호화기에 최적의 비트를 할당하게 된다. 울-왜곡 특성은 적

용 비디오 신호에 대하여 미리 구하여야 한다. 주어진 채널상태에서 왜곡을 최소로 하는 소스비트율과 채널부호율의 조합을 얻기 위해 소스부호화기의 출력 동영상 비트열에 여러 가지 채널부호율을 적용하였다. 복호화를 간단하게 하기위한 목적으로 제안된 천공 길쌈 부호에서 부호율을 유연하게 변화시키기 위해서는 부호들이 서로 상호 호환(Compatible)해야만 가능한데 이러한 부호를 RCPC 부호라 한다. RCPC는 천공 부호의 장점인 복호화의 간략화뿐 아니라, 부호율 간에 상호 호환이 가능하므로 부호율 변화의 용이성까지 장점으로 가7진다. 이러한 RCPC 부호는 여러 가지 부호율을 제공하는 시스템, 즉 데이터의 중요도에 따라 변화되어야 하는 시스템에서 유용하게 적용될 수 있다. RCPC의 모부호로는 구속장의 길이가 7이고, $(133, 171, 145, 133)_{octal}$ 의 생성다항식을 갖는 길쌈 부호화기를 사용하였으며, 그 구조는 그림 2와 같다. 평추어링 주기는 8로 하였으며, 평추어링 주기에 대한 모부호의 코드워드(32비트)에 대해 주어진 평추어링 패턴을 적용하여 여러 가지 채널부호율($R_c = 8/11 \sim 8/32$)을 얻었다. 주어진 채널부호율을 소스부호화기의 출력 비트열에 적용하여 현재의 수신환경에서 왜곡을 최소로 하는 채널부호율을 찾아냈다.

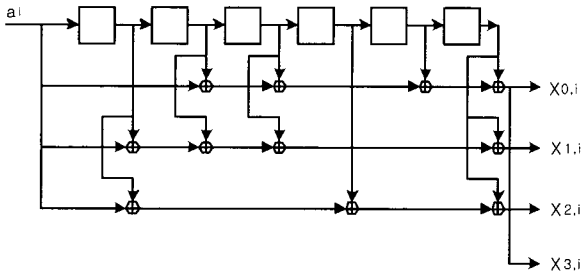


그림 2. 컨볼루션 부호화기 (R=1/4)
Fig. 2. Convolution Coder (R=1/4)

채널복호화 방법으로는 3 비트 Viterbi 복호화기를 사용하였다.

2. MPEG-4 비디오

비디오 압축은 공간적 중복성을 줄이기 위한 DCT와 시간적 중복성을 줄이기 위한 움직임 예측/움직임 보상 알고리즘이 사용된다. 적용된 MPEG-4 비디오 인코더의 기본적 구조는 그림 3과 같다.

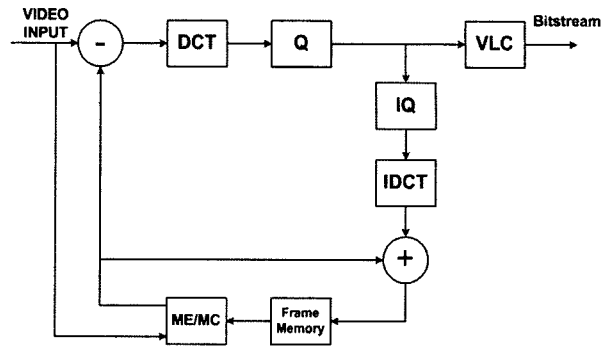


그림 3. MPEG-4 인코더의 구조
Fig. 3. Structure of MPEG-4 Encoder

적용된 MPEG-4 비디오 디코더의 기본적인 구조는 그림 4와 같다.

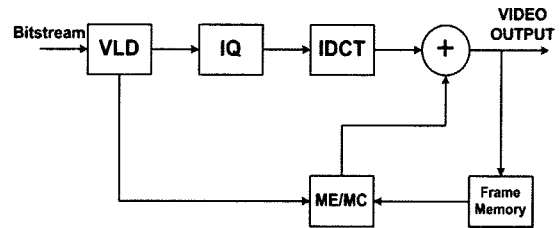


그림 4. MPEG-4 디코더의 구조
Fig. 4. Structure of MPEG-4 Decoder

3. 채널 환경

이동수신 채널환경은 단일경로 레일레이 페이딩 채널을 고려하였으며, 이 때, 복소 페이딩은 식 (5)과 같다^[14].

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

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

4. 율-왜곡(Rate-Distortion)

이 논문에서는 시스템 입력단의 입력 영상 신호와 시스템 출력단의 최종적으로 복호된 영상 신호간의 화소 값의 차를 이용하

여 왜곡을 계산했다. 왜곡의 측도는 평균제곱오차(MSE, Mean Squared Error) 값과 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값을 이용하였으며, 각 왜곡 측도의 정의는 식 (6), (7)와 같다^[15].

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

$$PSNR(a, b) = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (7)$$

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

IV. 모의 실험

JSC 시스템의 성능을 분석하기 위하여, 고정 및 이동수신 환경에서 모의실험을 수행하였으며, 모의실험 제원은 표 1과 같고, 주어진 채널환경에 대하여 최소의 왜곡을 갖는 소스비트율과 채널부호율의 조합을 찾았다.

표 1. 모의실험 제원

Table 1. Index of Simulation

소스 코덱	Momusys's MPEG-4
채널 코덱	RCPC(Rate-Compatible Punctured Convolutional) Codes
복호화	3 bit soft decision Viterbi alrithm
기타 코덱	qcif_mse_psnr, qcifextr, Raw_sequence
변조	QPSK
채널 환경	랜덤잡음환경, 단일경로 레일레이 페이딩 환경
입력영상	Stefan(QCIF)
프레임 수	199 frame
코딩포맷	IPPP
목표비트율	800 kbits/s
채널부호	Rc = 8 / (8+Pi) Pi = 3~24(랜덤잡음) Pi = 3, 8, 12, 16(단일경로 페이딩)
프레임 율	30Hz

1. JSC를 위한 왜곡 특성 분석

전체 전송 비트율을 R_T , 소스 비트율을 R_s , 채널 비트율을 R_c 라고 하면 관련 식은 식 (8)과 같다.

$$R_T = R_s + R_c \quad (8)$$

각 채널 부호율에 대한 적용된 소스 비트율은 랜덤잡음환경인 경우에는 표 2, 페이딩 환경인 경우에는 표 3과 같다.

표 2. 부호율 조합(랜덤잡음환경)

Table 2. Combination of Code rate(AWGN)

No	채널부호	소스비트 kbits/s	No	채널부호	소스비트 kbits/s
1	8/11	582	12	8/22	291
2	8/12	533	13	8/23	278
3	8/13	492	14	8/24	267
4	8/14	457	15	8/25	256
5	8/15	427	16	8/26	246
6	8/16	400	17	8/27	237
7	8/17	375	18	8/28	229
8	8/18	356	19	8/29	221
9	8/19	338	20	8/30	213
10	8/20	320	21	8/31	206
11	8/21	305	22	8/32	200

표 3. 부호율 조합(Fading 환경)

Table 3. Combination of Code rate(Fading)

No	채널부호	소스비트 kbits/s
1	8/11	582
2	8/16	400
3	8/20	320
4	8/24	267

그림 5는 랜덤잡음환경의 여러 가지 채널상태에 대한 왜곡 특성을 평균제곱오차(MSE) 값으로 나타낸 것이다. 구해진 왜곡 특성에서 최소의 왜곡을 갖는 부호율 조합을 찾게 되고, 그 부호율 조합으로 비트할당하게 된다. 최소평균제곱오차(minimum MSE) 7값으로 나타내어지는 곡선은 각 채널상태(Es/No)에 대해 최소의 왜곡을 갖는 최적의 비트할당 조합을 나타낸다.

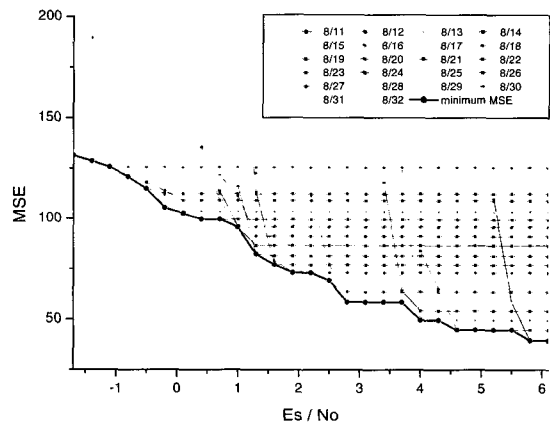


그림 5. Es/No에 대한 MSE (랜덤잡음환경)

Fig. 5. Es/No vs MSE(AWGN)

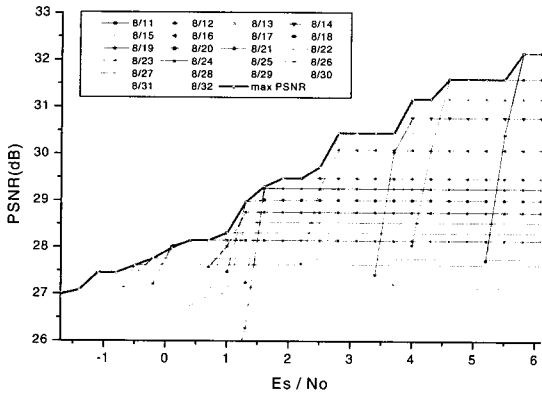


그림 6. Es/No에 대한 PSNR(랜덤잡음환경)
Fig. 6. Es/No vs PSNR(AWGN)

그림 6은 랜덤잡음환경의 왜곡 특성을 PSNR 값으로 나타낸 것이다. 동일한 채널환경에서, 그림 6의 최대평균 PSNR값을 갖는 부호율 조합들은 그림 5의 최소평균제공오차 값도 갖는다. 그림 7은 Stefan 영상에 대한 단일경로 레일리 페이딩 환경에서의 왜곡 특성을 PSNR 값으로 나타낸 것이다.

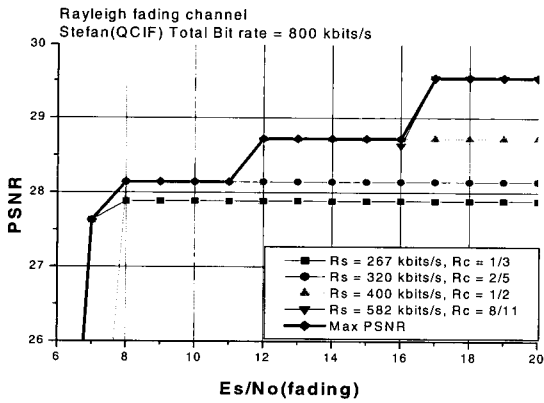


그림 7. Es/No에 대한 PSNR (Fading 환경)
Fig. 7. Es/No vs PSNR (Fading Channel)

그림 5, 6, 7에서 x축(E_s/N_0 의 축)에 평행한 직선구간들은 소스부호화로 인한 왜곡만 존재하는 구간을 나타낸다. 즉, 주어진 채널부호율로 100% 비트보호가 가능한 구간을 의미한다. 이런 경우에는 소스부호화에 더 많은 비트를 할당하여 보내고자하는 비디오의 소스 품질을 높이는 것이 바람직하다.

위의 실험결과를 바탕으로 표 4와 표 5 같이 비트할당을

하였다. 비트할당은 각 채널상태에서 최소 왜곡을 갖는 최적의 부호율로 결정하게 된다. 최적 부호율의 한 예로, 표 2의 5번 부호율 조합(소스비트율 = 427 kbits/s, 채널 부호율 = 8/15)은 표 4에서 채널상태(E_s/N_0)가 2.8dB ~ 3.7dB 일 때 최소왜곡을 갖는다. 이 채널상태들에서 5번 조합은 다른 어떤 부호율의 조합보다 우수한 성능을 나타낸다.

표 4. 랜덤잡음환경에서 최적의 비트 할당

Table 4. Optimum bit allocation(AWGN)

Es/No	채널부호	소스비트 kbits/s	2.2dB	8/17	375
-1.7dB	8/31	206	2.5dB	8/16	400
-1.4dB	8/31	206	2.8dB	8/15	427
-1.1dB	8/28	229	3.1dB	8/15	427
-0.8dB	8/27	237	3.4dB	8/15	427
-0.5dB	8/27	237	3.7dB	8/15	427
-0.2dB	8/25	256	4.0dB	8/13	492
0.1dB	8/24	267	4.3dB	8/12	533
0.4dB	8/23	278	4.6dB	8/12	533
0.7dB	8/22	291	4.9dB	8/12	533
1.0dB	8/21	305	5.2dB	8/12	533
1.3dB	8/19	338	5.5dB	8/12	533
1.6dB	8/18	356	5.8dB	8/11	582
1.9dB	8/17	375	6.1dB	8/11	582

표 5. Fading 환경에서 최적의 비트 할당

Table 5. Optimum bit allocation(Fading)

Es/No	채널부호	소스비트 kbits/s
6 dB	1/3	267
7 dB	1/3	267
8 dB	2/5	320
9 dB	2/5	320
10 dB	2/5	320
11 dB	2/5	320
12 dB	1/2	400
13 dB	1/2	400
14 dB	1/2	400
15 dB	1/2	400
16 dB	1/2	400
17 dB	8/11	582
18 dB	8/11	582
19 dB	8/11	582
20 dB	8/11	582

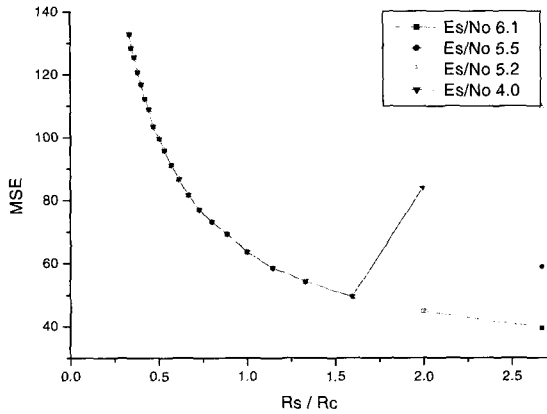


그림 8. 채널환경에 따른 율-왜곡 특성
Fig. 8. Rate-Distortion Characteristics

그림 8은 랜덤잡음환경에서 stefan 영상의 율-왜곡 특성이다. 여기서, 주어진 4가지 채널상태($E_s/N_o = 4.0$ dB, 5.2 dB, 5.5 dB, 6.1 dB)에 대한 소스와 채널비트율의 하한볼록점(convex hull)을 찾게 된다.

그림 8에서 x축은 소스비트율과 채널비트율의 비율인 R_s/R_c 이고, y축은 평균제곱오차 값을 나타낸다. x축의 값 1.0을 기준으로 왼편은 표 2에서 7~22 조합이고, 오른편은 1~5 조합이다. 그림 8을 보면, 4가지의 채널상태에 대하여 소스비트율 비율이 증가할수록 왜곡의 크기가 점차 줄어들다가 각 채널의 특성에 따라 특정 R_s/R_c 에서부터 다시 왜곡이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 율-왜곡 곡선이 하향곡선을 그리다 상승곡선으로 변경되는 점이 하한볼록점(convex-hull)이다. 이 하한볼록점은 각 채널상태의 최소 왜곡 점으로써, 최적의 부호율 조합을 나타낸다. 예를 들어, $E_s/N_o = 5.2$ dB의 경우 $R_s/R_c = 2.0$ 부근에서 최소의 왜곡을 가짐을 알 수 있다. 이 때 소스부호화에는 533 kbits/s 가 할당되었고, 채널부호화에는 2/3의 채널부호율을 적용하여 267 kbits/s 가 할당되었다. 결과적으로 소스와 채널부호율의 비가 2 : 1 일 때 최적의 영상품질을 얻을 수 있게 된다.

2. JSC와 Non-JSC의 성능 비교

그림 9는 $E_s/N_o = 1$ dB에서 서로 다른 부호율 조합으로 부호화된 두 동영상의 PSNR 값의 비교이다. 표 2에서 10번(소스비트율 = 305 kbits/s, 채널부호율 = 8/21)과 11번(소스비

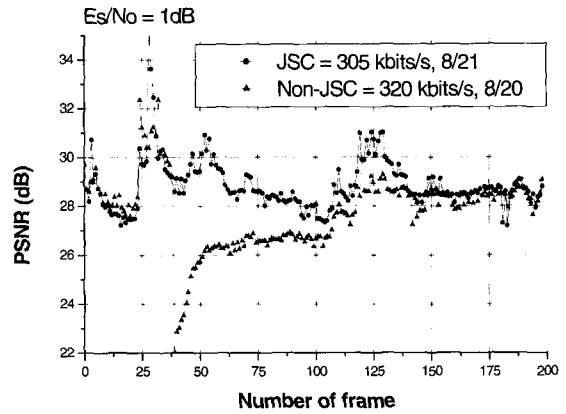


그림 9. JSC vs Non-JSC(랜덤잡음환경)
Fig. 9. JSC vs Non-JSC(AWGN)

트율 = 320 kbits/s, 채널부호율 = 8/20) 부호율 조합으로 부호화된 경우로서, 표 4에서 볼 수 있듯이 11번 조합은 $E_s/N_o = 1$ dB에서 최적의 비트할당으로 채택되어진 조합이다.

결과적으로 두 개의 영상은 JSC 기법이 적용된 경우와 그렇지 않은 경우(Non-JSC)로서 비교될 수 있다. 그림 9에서 Non-JSC 영상은 35프레임 이후에 큰 비트 손실에 의하여, 갑자스런 화질 열화(PSNR 손실)가 일어남이 보여진다. 반면에 JSC의 동영상은 비교적 안정적인 화질이 유지된다. 그림 10과 그림 11은 각각 10번 조합(JSC)과 11번 조합(Non-JSC)의 영상이다. 11번 조합은 10번 조합의 경우보다

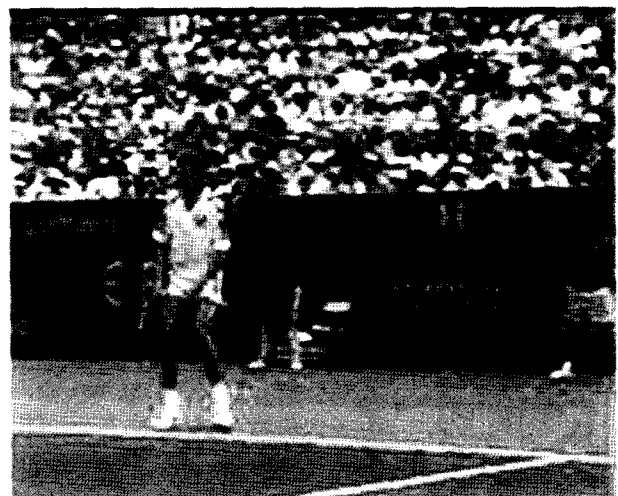


그림 10. $R_s = 305$ bits/s, $R_c = 8/21$, PSNR = 28.75 dB
Fig. 10. $R_s = 305$ bits/s, $R_c = 8/21$, PSNR = 28.75 dB



그림 11. $R_s = 320$ bits/s, $R_c = 8/20$, PSNR = 27.48 dB
 Figure 11. $R_s = 320$ bits/s, $R_c = 8/20$, PSNR = 27.48 dB

소스부호화에 많은 비트를 할당하였기 때문에, 영상의 품질이 10번 조합의 경우보다 우수해야만 한다. 하지만 11번 조합은 적절하지 못한 채널보호로 인한 채널 오류에 의해 더 열화된 영상품질을 나타냈다.

그림 12는 단일경로 레일레이 페이딩 채널 환경에서 실험한 JSC 기법의 대역폭 사용 효율에 관한 실험 결과이다. 이것은 동일한 목표비트율(소스비트율+채널비트율=800 kbits/s)을 갖는 다른 부호율 조합(표 3의 1번과 4번 조합)의 성능을 비교한 것으로, 채널보호에 가중치를 둔 b 곡선(Non-JSC)은 동일한 대역폭을 갖는 a 곡선(JSC)에 비해 더 낮은 PSNR을 보이고 있다. 비교적 양호한 수신환경($E_s/N_0 = 20$ dB)에서, a 곡선(JSC)은 정해진 대역폭 안

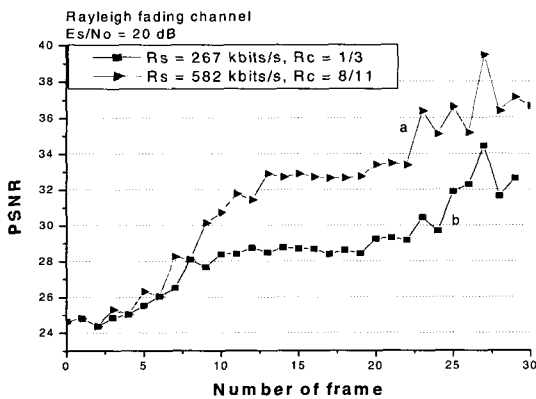


그림 12. 대역폭 사용 효율 측면에서의 PSNR
 Fig. 12. PSNR for bandwidth efficiency

에서 소스부호화에 더 많은 비트를 할당하고 채널보호를 줄임으로써 b 곡선(Non-JSC)에 비해 평균 PSNR이 6 dB 이상 높은 영상을 얻을 수 있었다.

그림 13은 그림 9와 유사한 경우로써, 단일경로 레일레이 페이딩 환경($E_s/N_0 = 10$ dB)에서의 모의실험 결과이다(표 3의 3번과 4번 조합). 곡선 b(Non-JSC)는 10 프레임 이후에 갑작스런 버스트 에러로 인해 급격한 PSNR 감소를 보이고 있다. 반면에, 곡선 a(JSC)는 적당한 소스비트율에 채널상태에 알맞은 채널보호를 해줌으로써 비교적 안정적인 PSNR 값을 유지하고 있다.

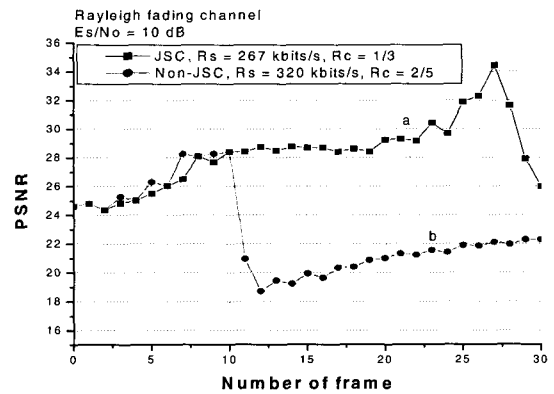


그림 13. JSC vs Non-JSC(Fading 환경)
 Fig. 13. JSC vs Non-JSC(Fading)

V. 결론

이 논문은 고정 및 이동수신환경에서 JSC 기법을 MPEG-4 비디오 전송에 적용하여 대역폭 사용 효율을 높이는 방안에 대하여 논하였다. 구현된 전송시스템은 기존의 통신시스템에서 사용하는 고정부호율 전송방식을 지양하고, 수신환경에 따라 적합한 부호율 적용이 가능한 JSC 기법을 사용함으로써 효율적인 대역폭 사용과 전송성능을 향상시켰다.

모의실험결과, 랜덤잡음 환경에서는 동일한 채널환경에서 JSC 기법이 적용된 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 최고 5 dB의 PSNR 우위를 보였고, 단일경로 레일레이 페이딩 채널환경에서는 비트할당의 최적화(JSC의 적용) 여부에 따라 특정 프레임에서 최고 8 dB의 PSNR 차이를 보였다. 모의실험을 통하여 JSC 기법은 수신환경과 대역폭 제한적 통신환경에서 우수한 성능을 나타내는 이상적인 시스템임을 확인할 수 있었다.

향후에는 MPEG-4 계층적 비디오를 JSC 기법에 적용하는 방안과 가변적인 변조방식을 적용하는 방안을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Gene Cheung, Avidesh Zakhor, "Bit Allocation for Joint Source/Channel Coding of Scalable Video," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No 3, Mar. 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, and Aggelos K. Katsaggelos, "Joint Source-Channel Coding for Motion-Compensated DCT-Based SNR Scalable Video," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 11, No 9, Sept. 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, Jul. 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, Jun. 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] MPEG-4 Overview, ISO/IEC JTC/SC29/WG11 N4030.

[11] MPEG-4 Video Verification Model Version 18.0, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3908.

[12] Joachim Hagenauer, "Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC Codes) and their Applications," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 36, No 4, April 1988.

[13] Sayood Khalid, Introduction to Data Compression, Morgan Kaufmann, pp. 194~210, 2000.

[14] Hiroshi Harada & Ramjee Prasad, Simulation and Software Radio for mobile communications, Artech House, 2002, 5.

[15] King N. Ngan, Chi W. Yap, Keng T. Tan, Video Coding for Wireless Communication Systems, MARCEL DEKKER, INC. 2001.

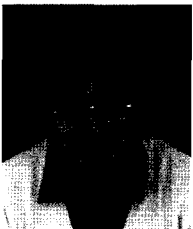
저 자 소 개

이 운 문



- 2001년 2월 : 경희대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
- 현재 : 단암시스템즈 기술연구소 연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송, MPEG-4 비디오 코딩

손 원



- 1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 5월 : 텍사스 A&M대 전기공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 텍사스 A&M 대 전기공학과 (공학박사)
- 1982년 1월~1987년 6월 : 국방과학연구소(진해)
- 1993년 9월~1999년 2월 : 한국전자통신연구원
- 1999년 3월~현재 : 경희대학교 전자정보대학 부교수
- 주관심분야 : 디지털방송, 멀티미디어전송, 신호처리

이 수 인



- 1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 2월~현재 : ETRI 방송시스템연구부장
- 주관심분야 : 디지털 방송 시스템 등