

이동통신 환경에서 전송 오류에 강인한 영상 부호화 기법과 오류 정정 부호화 기법의 동시 최적화에 관한 연구

정회원 이창우*, 김종원**

Joint Optimization of Error Resilient Video Coding and Error Correction Coding Technique over Wireless Mobile Channels

Chang Woo Lee*, Jong Won Kim** *Regular Members*

요 약

이동통신 채널에서 압축된 동영상 정보를 전송하게 되면 다경로 전송으로 인한 페이딩 영향과 시, 공간상으로 압축된 동영상 정보의 오류 전파 때문에 최종적으로 복원되는 동영상 신호의 화질이 크게 저하된다. 이에 능동적으로 대처하기 위하여 다양한 오류 정정 부호화 기법들이 전체 정보량 증가를 감수하면서 제안되어 왔다. 본 논문에서는 이동통신 환경에서 압축된 동영상 신호의 안정적인 전송을 위해서 ITU-T H.263 기법으로 압축된 동영상 정보에 두 종류의 다전송을 지원 오류 정정 부호들을 적용한 경우의 동영상 보호 능력을 분석 비교한다. 즉 표준 기법에서 널리 사용되는 RCPC(rate compatible punctured convolutional) 부호와 RC 특성을 갖는 turbo 부호인 RCPT(rate compatible punctured turbo) 부호를 사용한 동영상 부호 시스템의 성능을 가산 백색 잡음 채널과 레일리 페이딩 채널에서 해석하고, 압축과 오류 정정 부호화율의 동시 최적화를 살펴본다.

ABSTRACT

With the advent of future mobile communication systems, wireless video transmission over the error-prone multipath fading channel has to overcome the inherent sensitivity of compressed video to the channel errors and their propagation in spatial and temporal domain. To alleviate the degradation without hurting the application latency, hosts of techniques based on the forward error correction(FEC) has been proposed at the cost of overhead rate. We analyze and compare the proactive protection performance of two kinds of flexible FEC codes for the wireless ITU-T H.263 video. The adopted FEC codes, RCPC(rate compatible punctured convolutional) and RCPT(rate compatible punctured turbo) codes, are evaluated in both AWGN(additive white Gaussian noise) and Rayleigh fading wireless channels, where the source and channel coding rates are jointly optimized.

I. 서론

현재 광범위하게 보급된 음성 통신 위주의 2세대 이동통신 시스템에 비해서 2002년부터 상용화 예정인 차세대 이동통신 시스템인 IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000) 시스템에서는 동영상을 포함한 본격적인 멀티미디어 통신 서비스

를 제공하기 때문에 전송 정보량이 크게 늘어난다^[1]. 그러나 전송률이 커지면 무선 채널 상에서 발생하는 왜곡이나 잡음 등이 전송되는 정보에 크게 영향을 미치게 된다. 특히 이동통신 채널은 다경로 전송으로 인한 페이딩의 영향을 많이 받기 때문에 전송 신호의 왜곡이 커지게 된다. 또한 동영상 신호는 시, 공간상의 상관도를 이용하여 압축되기 때문에

* 가톨릭대학교 컴퓨터·전자공학부(lcw@www.cuk.ac.kr)

** Signal & Image Processing Institute (SIPI) of Electrical Engineering - Systems Department, University of Southern California
논문번호: K01054-0206, 접수일자: 2001년 2월 6일

※ 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-99-003-E00247)

전송 오류는 시, 공간상으로 전파된다. 따라서 최종적으로 복원되는 동영상 신호의 화질이 크게 저하되는데 이에 대한 대처 방법으로는 오류에 강인한(error resilient) 영상 부호화 기법, 오류 은폐(error concealment) 기법 또는 압축된 신호에 오류 정정(error correction) 부호를 적용하여 수신 측에서 오류를 정정하는 방법 등이 있다²⁾.

오류 정정 부호를 사용하면 수신 신호의 오류를 크게 줄일 수 있는 반면에 오류 정정 부호의 부가로 인해서 전체 전송률이 증가하게 된다. 따라서 전체 대역폭이 정해져 있어서 일정한 전송률로 동영상 신호를 전송해야 하면서 오류 정정 부호를 사용할 때는 압축과 오류 정정 부호화율을 동시에 최적화시키는 것이 중요하다. 오류 정정 부호로는 ITU-T H.223 표준 다중화 부에서는 RC(rate compatible) 특성을 갖고 있어서 UEP(unequal error protection)에 적합한 RCPC(rate compatible punctured convolutional) 부호가 많이 사용된다^{3,4)}. 한편 Berrou 등이 1993년에 제안한 turbo 부호는 반복적 복호(iterative decoding) 기법을 사용하여 Shannon이 제시한 이론적 한계치에 근접하는 성능을 보이는 오류 정정 부호이다^{5,6)}. 일반적으로 많이 사용되는 RSC(recursive systematic convolutional) turbo 부호는 두 개의 RSC 부호기가 인터리버(interleaver)를 사이에 두고 병렬로 연결된 형태를 갖는다. Turbo 부호를 사용하는 경우에도 RC의 특성을 갖는 turbo 부호인 RCPT(rate compatible punctured turbo) 부호가 임의의 전송률을 구현하는데 유용하다⁷⁾.

본 논문에서는 이동통신 환경에서 압축된 동영상 신호의 안정적인 전송을 위해서 오류 정정 부호를 적용하였을 때 압축 부호화 기법과 오류 정정 부호화 기법의 동시 최적화에 대해 연구하였다. 오류 정정 부호화 기법으로는 표준화 기법에서 주로 사용되는 RCPC 부호와 RC 특성을 갖는 turbo 부호인 RCPT 부호를 사용하였다. 표준 동영상 압축 기법인 H.263 동영상 정보가 RCPC와 RCPT 부호들로 부호화되어 각각 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise: AWGN) 채널과 이동통신 환경에 가까운 레일리 페이딩(Rayleigh fading) 채널 하에서 전송될 때 성능을 해석하고 최적의 압축 부호화율과 오류 정정 부호화율을 구하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 본 논문에서 사용한 동영상 전송 시스템에 관해서 설명하였고 제3장에서는 RCPC 부호와 RCPT 부호의

성능을 해석하였다. 제4장에서는 압축 부호화율과 오류 정정 부호화율의 동시 최적화에 대한 결과를 제시하였고 마지막 제5장에서는 결론을 제시하였다.

II. 동영상 전송 시스템

동영상 정보를 포함한 멀티미디어를 이동통신 채널 상으로 전송하기 위해서는 동영상 부호화부, 음향 부호화부 및 데이터를 처리하기 위한 부분 뿐만 아니라 이들을 효율적으로 다중화하기 위한 부분도 필요하다. 회선 교환(circuit switching) 환경에 대해 이러한 기능을 종합적으로 정의한 것이 ITU-T H.324 멀티미디어 터미널 표준인데 이를 그림 1에 도시하였다²⁾. 그림 1에서 알 수 있듯이 H.263 등의 동영상 부호기와 G.723 등의 음향 부호기에서 압축된 신호는 H.223 다중화 부에서 다중화된다. 이것이 변조기를 거쳐서 전송되는데 이동통신 채널과 같이 오류 발생 확률이 높은 채널에 대해서는 H.324M 부분이 H.223 다중화 기법의 네 가지 단계(Annex A, B, C, D)와 연결되어 정의되어 있다. 그 중에서 본격적으로 채널상의 오류에 대처하기 위한 오류 정정 기법들이, H.223-Annex C³⁾의 RCPC, H.223-Annex D의 Reed-Solomon 부호와 같이 정의된다. 참고로 본 논문에서는 임의의 전송률을 구현하면서 UEP 적용에 용이한 RCPC를 대상으로 하였다.

그림 2에 H.223 계층에서 RCPC 부호가 적용되는 과정을 도시하였다³⁾. 먼저 H.263으로 부호화된 비트열이 AL-SDU(adaptation layer-service data unit)를 구성한다. 다음에 RCPC로 부호화되는 블록마다 AL-SDU의 오류 검출을 위한 CRC(cyclic redundancy code)와 RCPC의 트렐리스 종료를 위한 TB(tail bits)가 추가된다 이후 그림 3에 도시하는 부호화율 1/4의 RCPC로 부호화된 정보를 임의의 전송률로 구현하기 위해서 패리티(parity) 비트를 평터링(puncturing)하는 과정을 거치고 CF(control field)가 추가되어서 AL-PDU(adaptation layer-protocol data unit)를 구성하고 이것이 다중화 계층(multiplex layer)의 입력이 되어서 다중화가 이루어진다. 다중화 계층에 입력되는 AL-PDU는 오류 정정 부호화된 신호이고 수신측에서 이를 복호화하기 위해서는 오류 정정 부호화율을 알아야 한다. 특히 UEP이 적용된 경우와 같이 오류 정정 부호화율이 변하는 경우에는 오류 정정 부호화율을 정확히 알아야 신호를 복호화할 수 있다. 이를 위하여 먼저

MUX-SDU와 MUX-PDU를 처리하는 다중화 계층에서 각 MUX-SDU를 구분할 수 있는 flag를 사용함으로써 AL-PDU의 경계를 알아낸다. AL-PDU의 경계가 정해졌으면 각 AL-PDU에 속하는 데이터의 바이트 수를 구할 수 있고 이는 오류 정정 부호가 부가된 바이트 수이다.

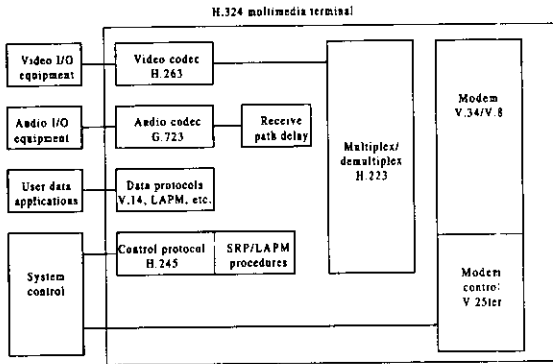


그림 1. H.324 멀티미디어 터미널

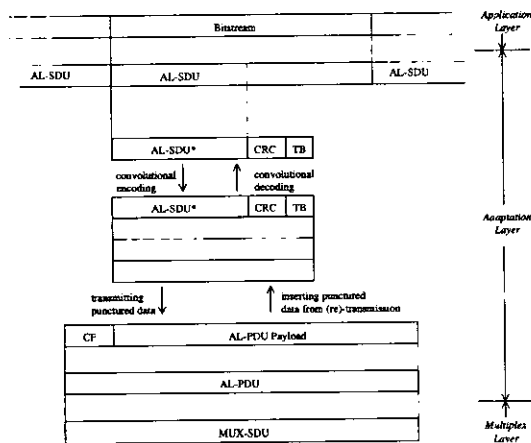


그림 2. H.223 계층에서 RCPC 부호의 적용

이 때 AL-PDU의 전체 바이트 수 l_v 는 다음 식으로 나타내어진다^[3].

$$l_v = \min_{\lambda \in \xi, \lambda \bmod 8 = 0} \{ \lambda \geq l_h + \lceil \frac{l + (l_{CRC} + l_{TB})}{r_{target}} \rceil \}, \quad \text{with } \xi \text{ all integers} \quad (1)$$

식 (1)에서 l , l_{CRC} , l_{TB} , l_h 는 각각 AL-SDU, CRC, TB, CF의 바이트 수를 나타내고 r_{target} 은 오류 정정 부호화율을 나타낸다. 만일 오류 정정 부호화율이 정해져 있다면 r_{target} , l_{CRC} , l_{TB} , l_h , l_v 의

값을 모두 알 수 있으므로 AL-SDU의 길이를 수신측에서 알 수 있게 된다. 이 때 수신측에서 복원되는 AL-SDU의 바이트 수 l 는 다음 식으로 나타낼 수 있다^[3].

$$l = \max_{r \in \xi, r \bmod 8 = 0} \{ r \leq \lfloor (l_v - l_h) \rfloor r_{target} \} - l_{CRC} - l_{TB}, \quad \text{with } \xi \text{ all integers} \quad (2)$$

III. RCPC 부호와 RCPT 부호의 성능 해석

1. RCPC 부호와 RCPT 부호

제2장에서 언급한 RCPC 부호는 비교적 간단한 구조를 가지면서도 중요한 정보와 중요하지 않은 정보에 차등적인 오류정정 부호화를 구현하는 UEP 기법에 쉽게 적용가능하기 때문에 표준 기법으로서 많이 사용되고 있다. H.223- Annex C에 정의된 RCPC 부호화기를 그림 3에 제시하였다^[3]. 입력되는 데이터 비트는 RCPC 부호화기를 거치면서 3 비트의 패리티 비트를 포함하는 4 비트를 생성하는데 이는 임의의 전송률로 구현하기 위해서 ping-pong 과정을 거친다. RCPC ping-pong의 보기를 표 1에 제시하였다^[3]. 표 1은 16 진수 표현으로서 전송 여부에 따라 1(전송), 0(비전송)으로 표시되어 있으며, 8/8부터 8/24까지 8단계의 전송율을 지원할 수 있음을 알 수 있다.

표 1. RCPC를 위한 ping-pong

부호 화율 r	8/8	8/10	8/11	8/12	8/14	8/16	8/20	8/24	8/32
$V_i(1)$	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
$V_i(2)$	00	88	A8	AA	EE	FF	FF	FF	FF
$V_i(3)$	00	00	00	00	00	00	AA	FF	FF
$V_i(4)$	00	00	00	00	00	00	00	00	FF

표 2. RCPT를 위한 ping-pong

부호 화율	8/8	8/10	8/11	8/12	8/14	8/16	8/20	8/24
x	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
p_1	00	80	88	88	AA	AA	FF	FF
p_2	00	40	40	44	44	55	55	FF

한편 Berrou 등이 1993년에 제안한 turbo 부호는 반복적 복호(iterative decoding) 기법을 사용하여 Shannon이 제시한 이론적 한계치에 근접하는 성능을 보이는 오류 정정 부호 기법이다^[5,6].

Turbo 부호는 그 성능의 우수함으로 인해서 많은 주목을 받고 있는데 turbo 부호를 구현하기 위한 부호기의 구조를 그림 4에 제시하였다. Turbo 부호는 인터리버에 의해서 재배치된 정보를 각각 RSC 부호기로 부호화하여 전송한다. Turbo 부호의 인터리버로는 random 인터리버를 많이 사용하는데 16 상태(state)를 갖고 random 인터리버에 최적화된 RSC 부호화기를 그림 5에 도시하였다^[8,9]. 이어서 복호기에서는 두 복호기의 반복적인 복호를 통해서 오류 정정 능력을 계속 높게 된다. Turbo 부호는 오류 정정 능력이 뛰어나기 때문에 압축된 영상 정보를 무선 채널을 통해 전송할 때 오류 정정 기법으로 적용하면 전체 시스템의 성능을 높인데 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 4에 제시한

turbo 부호기는 전송하려는 데이터 비트 x 와 두 개의 RSC 부호기에서 생성하는 패리티 비트인 p_1, p_2 로 인해서 부호화율은 A 지점에서 1/3이다.

그런데 부호화율이 1/3인 경우 전송률이 원 신호만을 전송하는 경우에 비해 정보량이 3 배가 되기 때문에 패리티 비트를 펴쳐링하게 되는데 특히 p_1, p_2 2 비트 중에서 1 비트만을 교대로 전송하는 방법이 많이 사용된다. 이 경우 B 지점에서 부호화율이 1/2로 되지만 영상부호화에 적용하기에는 여전히 전송률도 크고 임의의 전송률을 구현하기 어려운 단점이 있다. 따라서 turbo 부호가 영상 정보의 오류 정정 부호로 활용되기 위해서는 전송률을 일반화하기 위한 일반적인 펴쳐링 기법이 필요하다. 또한 펴쳐링 기법 중에서 낮은 부호화율에서 전송되는 패리티 비트가 이보다 높은 부호화율에서 전송되는 패리티 비트를 반드시 포함하는 RC의 특성을 만족하는 것이 UEP 등의 적용에 적합하다^[4].

따라서 본 논문의 모의 실험에서 turbo 부호에 적용된 RC 특성을 만족하는 펴쳐링 방법을 표 2에 정리하였다. 표1과 마찬가지로 표 2에서는 16 진수 표현을 사용하였고 전송/비전송은 1/0으로 표시되었으며, 8/8부터 8/24까지의 8단계 전송율을 지원한다.

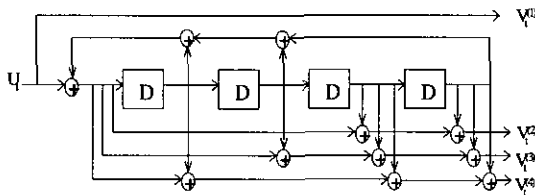


그림 3. RCPC 부호화기

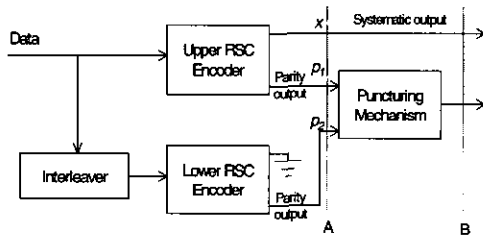


그림 4. Turbo 부호의 부호기

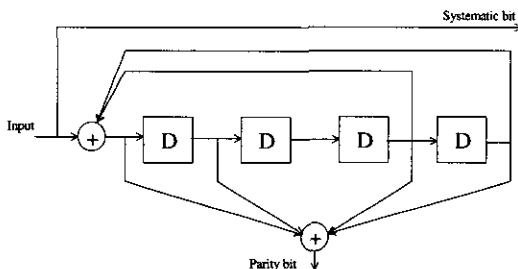


그림 5. Random 인터리버에 최적인 RSC 부호기
 $((D^4+D^3+D+1)/(D^4+D^3+1))$

2. AWGN 채널과 레일리 페이딩 채널에서 RCPC 부호와 RCPT 부호의 성능

이동통신 채널과 같이 다경로 전송 페이딩(multi-path fading)이 발생하는 경우에는 단순히 가산 백색 가우시안 잡음이 첨가된 AWGN 채널에 비해서 수신되는 신호의 진폭 특성이 크게 변하기 때문에 신호의 왜곡이 커지게 된다. 만일 BPSK(binary phase shift keying)에 의해서 신호가 전송될 때 동기식 수신기가 사용되어 위상을 수신측에서 완전히 복원할 수 있다면 수신측에서 샘플링되는 신호는 다음 식 (3)과 같은 관계를 갖는다.

$$y = a \cdot x + n \quad (3)$$

식 (3)에서 x, y 는 각각 전송 신호와 수신 신호의 샘플링 값이고 a 는 다경로 전송으로 인해서 발생하는 페이딩의 영향을 나타내는 진폭값을 나타내고 n 은 가산 백색 잡음이다. 수신된 신호의 심볼당 에너지가 E_s 일 때 x 는 $\pm\sqrt{E_s}$ 의 값을 갖는다. 또한 n 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 분포를 갖는 변수인데 분산 값은 $N_0/2$ 라고 가정한다. 다경로 전송으로 발생하는 페이딩에 의한 수신 신호의 왜곡을 나타내는 a 값은 페이딩 채널 중에서도 왜곡

이 가장 심한 식 (4)와 같은 레일리 분포를 갖는다고 가정하였다. 한편 전송률이 높을 때는 신호의 주기가 짧아지므로 채널의 특성이 신호의 주기를 기준으로 하였을 때 충분히 천천히 변하는 슬로우 페이딩(slow fading) 채널임을 가정하였다^[12].

$$p_a(a) = 2a \cdot e^{-a^2}, \quad a \geq 0 \quad (4)$$

이 때 레일리 분포를 갖는 변수 a 값은 실제로는 시간에 따라 특성이 바뀌는 랜덤 프로세스 $a(t)$ 이다. 랜덤 프로세스 $a(t)$ 의 경우 시간축 상에서의 상관도(correlation) $\rho(\tau)$ 를 고려해야 하는데 본 논문에서는 전송단과 수신단에서 블럭 인터리버가 사용되어 신호간의 상관성을 충분히 제거하였다고 가정하였다.

레일리 페이딩 채널에서의 성능을 해석하기 위해서 그림 6과 같은 레일리 페이딩 채널 시뮬레이터를 사용하여 레일리 분포를 갖는 랜덤 변수 a 를 발생시켰다^[13]. 그림 6의 채널 시뮬레이터에서 단일 페이딩 채널이 시간에 대한 상관성을 갖는다면 n_1, n_2 가 low-pass 필터를 거쳐야 하지만 본 논문에서는 이상적인 블럭

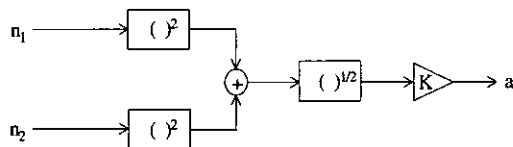


그림 6. 레일리 페이딩 채널 시뮬레이터

인터리버가 전송단에서 사용되었다고 가정하였기 때문에 레일리 분포를 갖는 랜덤 변수 a 의 시간축 상의 상관도는 고려하지 않았다.

한편 turbo 부호의 성능은 인터리버의 크기와 종류, 사용된 부호기에 의해서 결정되는데 인터리버는 random 인터리버로 하였고 부호기는 그림 5의 random 인터리버에 최적화된 부호기로 하여 그림 3의 RCPC 부호기를 사용하였을 때의 성능과 비교하였다. 또한 동영상 복호시의 복잡도와 복호 지연 등을 고려하면 인터리버의 크기는 500 이하가 적당하다. 이러한 사항들을 고려하여 turbo 부호의 성능을 측정하기 위한 모의 실험에서는 인터리버의 크기를 256으로 하였는데 이는 그림 2의 다중화 부에서 실제로 오류 정정 부호화 되는 AL-SDU*의 크기가 256 비트임을 의미한다. 이 때 그림 3과 그림 5의 RCPC 부호기와 RCPT 부호기는 모두 16 상태

(state)를 사용한 부호기이므로 트렐리스 종료를 위해서 사용되는 TB(tail bit) 개수 l_{TB} 는 4가 된다.

RCPC 부호의 복호를 위해서는 Viterbi 알고리즘이 많이 사용되고^[12], turbo 부호의 복호를 위해서는 일반적으로 MAP(maximum a posteriori)에 근거한 BCJR(Bahl, Cocke, Jelinek and Rajiv) 알고리즘^[10]이나 Viterbi 알고리즘의 출력을 soft output 형태로 고친 SOVA(soft output Viterbi algorithm)^[11] 등이 많이 사용된다. 그런데 BCJR 알고리즘의 계산량은 SOVA에 비해서 많은 반면에 성능은 가장 좋은 것으로 알려져 있기 때문에 본 논문에서는 BCJR 알고리즘을 turbo 부호의 복호에 사용하였다.

RCPC 부호와 RCPT 부호의 성능 분석을 위해서 먼저 AWGN 채널과 레일리 페이딩 채널에서의 비트 오류 발생 확률을 구하였다. 표 1과 표 2에 제시한 평처리링 방법을 사용하여 오류 정정 부호화율을 8/10~8/16로 하였을 때 AWGN 채널과 페이딩 채널에서의 BER(bit error rate)를 신호 대 잡음비 E_s/N_0 의 함수로 도시한 결과를 그림 7과 그림 8에 도시하였다. RCPT 부호의 성능이 RCPC 부호의 성능에 비해서 크게 우수한 결과를 보였는데 특히 레일리 페이딩 채널에서 두 부호의 성능이 큰 차이를 보였다. 레일리 페이딩 채널에서는 같은 RCPT 부호에서도 패리티 비트의 평처리링으로 인한 영향을 크게 받았는데 10^{-5} 이하의 BER을 보이기 위해서는 RCPT 부호의 부호화율이 1/2 이하이어야 한다. 그 이상의 부호화율에서는 E_s/N_0 를 아무리 크게 하여도 BER이 10^{-5} 이하로 떨어지지 않는다. RCPC 부호는 부호화율이 1/3은 되어야 10^{-5} 에 근접하는 BER 성능을 보였다.

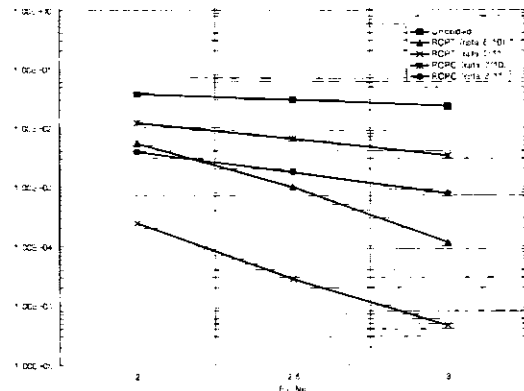


그림 7. AWGN 채널에서 RCPC 부호와 RCPT 부호의 성능

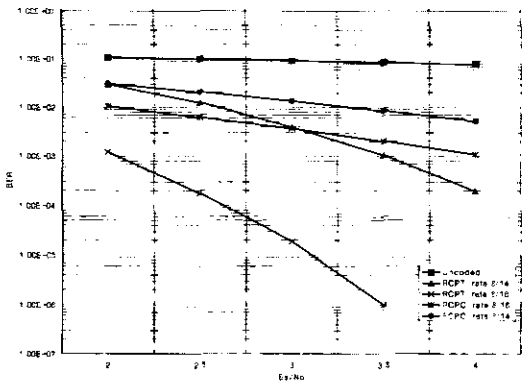


그림 8. 레일리 페이딩 채널에서 RCPC 부호와 RCPT 부호의 성능

IV. 압축 부호화율과 오류 정정 부호화율의 동시 최적화

제3장에서 얻은 결과를 바탕으로 RCPC 부호와 RCPT 부호를 사용하여 H.263 압축 부호화 기법으로 압축된 동영상 신호를 오류 정정 부호화를 하였을 때 레일리 페이딩 채널과 AWGN 채널에서 압축 부호화율과 오류 정정 부호화율을 동시에 최적화하였다. 만일 전체 전송률이 R_c 로 고정되어 있고 오류 정정 부호화율이 γ (γ/n)라면 압축 부호화에 할당된 비트율과 오류 정정 부호화에 할당된 비트율이 각각 $R_s (= \gamma \cdot R_c)$, $R_c (= (1-\gamma) \cdot R_c)$ 로 오류 정정 부호화율의 함수가 된다. 전송 채널의 상태를 S_c 라 하고 압축 부호화와 오류 정정 부호화로 인한 왜곡 D_s , D_c 이 서로 독립이라면, 전체 왜곡 D_e 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다^[14].

$$D_e(\gamma, S_c) = D_s(R_s(\gamma)) + D_c(R_c(\gamma), S_c) \quad (5)$$

채널의 상태 S_c 는 AWGN과 레일리 페이딩 채널에서 전송되는 신호의 한 심볼과 채널의 가산 잡음 비인 E_s/N_0 의 함수로 정해진다. 그런데 전송 채널의 상태가 결정되고 전체 전송률이 고정된 경우에는 동영상의 압축과 전송으로 인해 발생하는 전체 왜곡은 오류 정정 부호화율 γ 의 함수로 생각할 수 있다. 따라서 주어진 채널의 환경 하에서 오류 정정 부호화율을 변화시킬 때 전체 성능을 구하였다. 그런데 영상 부호화 성능은 보통 PSNR(peak to peak signal to noise ratio)로 나타내어지므로 MSE(mean square error) D_e 를 프레임 별로 구하고 전체 프레임에 대한 평균 D_e 를 구한 후에 $PSNR_e$ 를 구하여 성능

평가의 척도로 사용하였다^[14].

$$PSNR_e = 10 \log_{10}(255^2 / D_e) \quad (6)$$

본 논문에서는 Foreman 영상에 대해서 전체 전송률 96kbps로 부호화하였을 때 오류 정정 부호화율을 1/3~8/10으로 변화시키면서 영상 부호화 성능을 측정하였다. 이 때 오류 전파 등의 영향을 고려하기 위해서 30~180 프레임의 영상에 대한 D_e 의 평균 D_e 를 구하였다. 그림 9와 그림 10에는 $PSNR_e$ 를 도시하였는데 RC 특성을 갖는 turbo 부호인 RCPT 부호의 경우 AWGN 채널에서는 오류 정정 부호화율 0.667에서 최적의 성능을 보이고 레일리 페이딩 채널에서는 부호화율 0.5에서 최적의 성능을 보인다. 이는 RCPT 부호의 경우 상대적으로 적은 부가 정보로도 RCPC 부호와 비슷한 성능을 가짐을 의미한다. 또한 레일리 페이딩 채널에서는 RCPT 부호와 RCPC 부호는 각각 γ 가 0.5와 0.333일 때 최적의 성능을 보인다. RCPC 부호는 레일리 페이딩 채널의 경우 오류 정정 부호를 위해서 전체의 70% 정도의 비트가 소모되므로 전송률이 낮을 경우에는 큰 부담이 된다. 따라서 레일리 페이딩 채널에서 저 전송률로 동영상을 전송해야 할 때 turbo 부호에 근거한 RCPT 부호가 특히 유용함을 알 수 있다. 그림 11에는 최종 복원된 영상 중에서 45번째 프레임을 도시하였다.

한편 H.263 부호화기에 의해 압축된 영상 신호는 각 프레임과 GOB(group of block), MB(macro block) 등에 따라서 계층적으로 부호화되는데 특히 각 픽처가 시작될 때의 동기 정보 PSC(picture start code)와 TR(temporal reference) 등이 포함된 픽처 헤더 정보를 잘못 복호화할 경우에는 그 픽처 전체에 대한 복호가 잘못될 가능성이 크다.

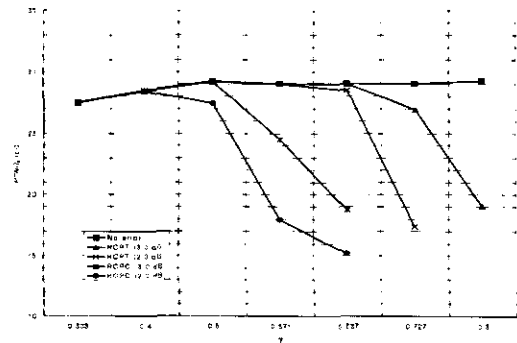


그림 9. AWGN 채널에서 오류 정정 부호화율 변화에 따른 성능

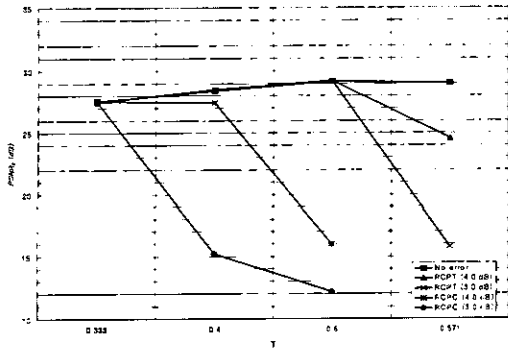


그림 10. 레일리 페이딩 채널에서 오류 정정 부호화율 변화에 따른 성능

따라서 다른 부분보다 픽처 헤더 정보에 대한 오류 정정 부호 비중을 높이는 기법은 비교적 간단하면서도 오류에 좀 더 강한 성능을 보이는 UEP 기법의 일종이라고 볼 수 있다. 픽처 헤더 부분만을 오류 정정 부호화율 1/3로 부호화하고 다른 부분은 부호화율을 1/3~8/10로 변화시키면서 성능 변화를 관찰하면 PSNR 성능은 크게 저하되지 않으면서 좀 더 안정적인 복호가 가능함을 확인하였다. 즉 레일리 페이딩 채널이면서 E_b/N_0 가 낮은 경우와 같이 채널의 상태가 좋지 않을 경우에는 부호화율을 일정하게 적용시킨 EEP(equal error protection)의 경우 복호 과정 중에서 오류가 발생하여 복호가 중단되는 경우가 있지만 픽처 헤더 부분에 오류 정정



(a)RCPT($\gamma = 1/2$) (b)RCPC($\gamma = 1/3$) (c)RCPC($\gamma = 1/2$)

그림 11. 최종 복원된 영상 (레일리 페이딩, 4.0 dB)

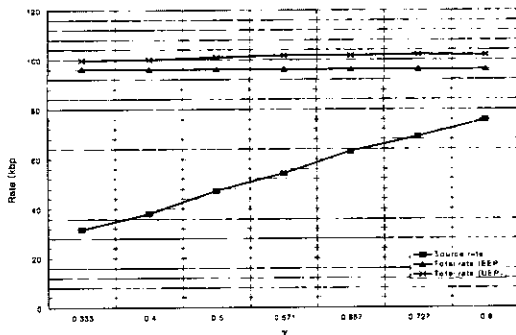


그림 12. 비트율 비교

부호의 비중을 높인 경우는 복호가 잘못되는 경우는 현저히 줄어든다. 그러나 이 경우에는 픽처 헤더 부분을 그림 2의 AL-SDU*의 시작 부분에 맞도록 정렬해야 하고 추가적인 오류 정정 부호가 필요하므로 전체 비트율은 조금 증가하게 된다. 그림 12에는 γ 의 변화에 따른 압축 비트율, EEP의 전체 비트율과 UEP의 전체 비트율 변화를 도시하였는데 UEP의 경우 EEP에 비해서 최대 5%의 비트율 증가가 있었다.

V. 결론

본 논문의 해석 결과 동영상 전송을 위해서 오류 정정 부호화 기법으로 많이 사용되는 RCPC 부호에 비해서 turbo 부호에 근거한 RCPT 부호가 동영상의 안정적인 전송에 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 H.263 기법으로 압축된 부분의 픽처 헤더 부분에 오류 정정 부호의 비중을 높이면 복호의 안정성을 높일 수 있었다. 따라서 turbo 부호의 우수한 성능을 그대로 유지하면서 압축된 동영상들 각 계층 별로 좀 더 정밀하게 부호화율을 달리 하는 UEP 기법에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] E. Dahlman, B. Gudmundson, M Nilson and J. Skold, "UMTS/IMT-2000 based on wideband CDMA," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, pp. 70-80, Sept. 1998.
- [2] N. Farber, B. Girod and J. Villasenor, "Extension of ITU-T recommendation H.324 for error-resilient video transmission," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, pp. 120-128, June 1998.
- [3] H.223 -Annex C, *Multiplexing protocol for low bitrate multimedia communication over highly error-prone channels-Annex C: extensions of recommendation H.223 for highly error-prone environment*, ITU-T Sept. 1997.
- [4] J. Hagenauer, "Rate-compatible punctured convolutional codes and their applications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, pp. 389-400, April 1988.
- [5] C. Berrou and A. Glavieux and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error

- correcting coding and decoding: Turbo codes," *IEEE Proc. ICC '93*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, May 1993.
- [6] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 1261- 1271, Oct. 1996.
- [7] S. A. Barbulescu, *Iterative decoding of turbo codes and other concatenated codes*, Ph.D. dissertation, University of South Australia, Feb. 1996.
- [8] S. Benedetto and G. Montorsi, "Design of parallel concatenated convolutional codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 591-600, May 1996.
- [9] S. Benedetto, R. Garelo and G. Montorsi, "A search for good convolutional codes to be used in the construction of turbo codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 1101-1105, Sep. 1998.
- [10] L. R. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," *IEEE Trans. on Information Theory*, pp. 284-287, March 1974.
- [11] J. Hagenauer and P. Hoehner, "A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications," in *IEEE Proceedings of GLOBE-COM'89*, vol. 3, Dallas, Texas, pp.47.1.1-47.1.7, Nov. 1989.
- [12] J. G. Proakis, *Digital communications*, McGraw-Hill, 1989.
- [13] E. K. Hall, *Performance and design of turbo codes on Rayleigh fading channels*, Master thesis, University of Virginia, 1996.
- [14] K. Stuhlmuller, N. Farber, M Link and B. Girod, "Analysis of video transmission over lossy channels," *IEEE J. on Select. Areas in Commun.*, vol. 18, pp. 1012-1032, June 2000.

이 참 우(Chang Woo Lee) 정회원
 한국통신학회 논문지 제25권 제7호 참조
 현재: 가톨릭대학교 컴퓨터·전자공학부 조교수
 <주관심 분야> 영상 압축, 영상 전송, 통신 신호처리

김 종 원(Jong Won Kim) 정회원
 한국통신학회 논문지 제23권 제4호 참조
 현재: University of Southern California, Signal & Image Processing Institute (SIPI) of Electrical Engineering - Systems Department에서 연구 조교수
 <주관심 분야> 멀티미디어 신호처리, 통신 시스템, 유무선 IP 네트워크상의 일체화된 멀티미디어의 견실하고 유연한 전달