

MPEG-2 동영상 표준방식에 대한 채널 오차의 검출 및 은폐 기법

正會員 金宗源*, 朴鍾旭**, 李商郁**

Channel Error Detection and Concealment Techniques for the MPEG-2 Video Standard

Jong Won Kim*, Jong Wook Park**, Sang Uk Lee** *Regular Members*

※본 연구는 1995년도 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구비지원에 의한 결과임.

요 약

본 논문에서는 디지털 TV 전송 등을 위한 동영상 부호화의 표준 방식인 MPEG-2 방식으로 부호화된 비트열에 발생하는 채널 오차의 특성을 조사하고 이에 대한 채널 오차 대책을 다룬다. 구체적으로는 MPEG-2에 사용되는 움직임 보상 기법과 가변 길이 부호화 특성에 의해 초래되는 채널 오차 전파 문제를 분석한다. 이러한 기본적인 연구를 토대로 기존에 제안된 채널 오차에 대한 대책들의 동향을 파악하여, 이를 부호화단과 복호화단의 대책들로 크게 구분한다. 그리고 각 기법들을 MPEG-2를 근간으로 한 전송 시스템에 적용함에 있어서 성능을 평가하고 구현 복잡도 등의 문제점을 비교 분석한다. 또한 MPEG-2 비트열에 대한 사전 정보, 부호화단에서의 부호화 조건, 그리고 영상의 통계적인 특성에 근거하여 실제적인 전송 환경에 부합하는 효율적인 오차 검출 기법을 제안한다. 그리고 나서 이를 계산상의 장점을 지니는 DCT 계수 복구 기법에 의한 오차 은폐로 연결할 수 있는 방법을 제안하고 그 성능을 평가한 결과, 10^{-5} 정도의 비트오차율에서도 수신 영상의 화질을 효과적으로 유지함을 확인한다.

ABSTRACT

In this paper, channel error characteristics are investigated to alleviate the channel error propagation problem of the digital TV transmission systems. First, error propagation problems, which are mainly caused by the inter-frame dependency and variable length coding of the MPEG-2 baseline encoder, are intensively analyzed. Next, existing

*공주대학교 공과대학 전자공학과

**서울대학교 공과대학 전기공학부 신호 처리 실험실

論文番號:95415-1205

接受日字:1995年 12月 5日

channel error resilient schemes are systematically classified into two kinds of schemes; one for the encoder and the other for the decoder. By comparing the performance and implementation cost, the encoder side schemes, such as error localization, layered coding, error resilience bit stream generation techniques, are described in this paper. Also, in an effort to consider the practicality of the real transmission situation, an efficient error detection scheme for a decoder system is proposed by employing *a priori* information on the bit stream syntax, checking the encoding conditions at the encoder stage, and exploiting the statistics of the image itself. Finally, subsequent error concealment technique based on the DCT coefficient recovery algorithm is adopted to evaluate the performance of the proposed error resilience technique. The computer simulation results show that the quality of the received image is significantly improved when the bit error rate is as high as 10^{-4} .

1. 서론

디지털 TV에 응용되는 대표적인 영상 부호화 기법은 움직임 보상 변환 부호화(motion compensated transform coding: MCTC) 기법을 근간으로 한 MPEG-2 방식이며[1], 세부적으로는 향후 추진될 고선명 TV와의 호환 및 다양한 매체에 대한 융통성을 보장하는 MPEG-2 MP@ML의 적용이 예상된다. MPEG-2 방식은 프레임간의 상관도를 제거하는 움직임 보상, 공간 영역 상관도를 제거하는 이산 여현 변환(discrete cosine transform: DCT), 양자화, 그리고 정보의 통계적 성질을 이용하는 가변 길이 부호화(variable length coding: VLC) 등의 알고리즘을 복합적으로 사용하는 효율적인 부호화 기법이다. 이러한 디지털 TV 신호는 위성, 전파, 광 케이블 등의 전송선로를 통하여 수신자에게 전송된다. 이때 전송선로 상에서 필연적으로 오차가 발생하는데, 이를 채널 오차(channel error)라고 부른다[2]. 채널 오차는 전송 신호간의 간섭 혹은 전송 신호의 불완전성 등에 의해 발생하게 되는데, 수신단에서 복원되는 영상의 화질에 큰 영향을 준다. 예를 들어, 움직임 보상 기법은 일종의 프레임간 DPCM(differential pulse code modulation) 기법이므로 특정한 프레임의 오차가 그 이후의 프레임들에 전파된다[3]. 그리고 VLC의 경우 오차가 발생하면 복호기의 동기기가 상실되어 많은 양의 정보들이 손상되거나 복원된 영상이 전이(shift)되기도 한다[4]. 따라서, 충실한 디지털 TV 신호의 송수신을 위해서는 채널 오차에 대한 분석, 영향 평가, 그리고 보정 기법 등에 대한 폭넓은 연구가 절실히 필요하다.

디지털 TV 시스템에서 채널 오차로부터 시스템의 견실성을 보장하려면 먼저 발생하는 채널 오차의 특

성을 파악하고, 수신단의 복원 영상에서 채널 오차에 의한 영향을 분석해야 한다. 또한, 순방향 오차 교정 부호화(forward error correction: FEC)[2]의 교정 능력을 분석하여 오차의 발생 확률 및 오차 발생 형태 등을 평가하는 것도 필요하다. 다음 단계에서는 효율적인 채널 오차에 대한 대책을 개발하고, 이와 연관시켜 오차 검색(detection) 및 은폐(concealment) 기법을 연구 개발해야 한다. 따라서 본 연구에서는 전송 환경에 따른 채널 오차의 특성과 MPEG-2 비트열(bit stream)에의 영향을 분석하기 위해서 다양한 비트 오차율(bit error rate: BER)에 따른 복호화기 성능 변화를 조사한다. 이어서 MPEG-2 시스템을 대상으로 채널 오차의 파급을 제한하기 위한 대책들을 분석하여 손상 방지 성능과 복잡도를 비교한다. 구체적으로는 오차 전파를 제한하기 위한 부호화기 상의 대책으로 국부화 기법 등을 검토하고, 그 성능을 비교한다. 또한 비트열 변형, 정보 추가 또는 재구성성을 통하여 채널 오차에 의한 파급 효과를 제한하는 기법을 MPEG-2 부호화 방식 자체의 구조적인 특성을 고려하면서 평가한다. 한편, 대부분의 오차 은폐 기법에서는 ATM(asynchronous transfer mode) 전송 방식과 같은 네트워크 기능에 의해서 발생한 셀 손실/오차(cell loss/error) 위치를 전달받아 채널 오차의 위치를 파악한다 [5-7]. 하지만 네트워크의 지원에는 부가정보가 요구되며, 경우에 따라서는 교정되거나 발견되지 않은 오차가 복호화기에 전달될 가능성도 남아 있다. 또한 네트워크 기능이나 유사한 채널 부/복호화에 의한 FEC 기법의 적용 자체가 불가능한 응용 분야도 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 복호화 과정에서 임의의 위치에 첨가된 비트 오차들을 검출하는 기법을 활용하여 실제적인 오차 은폐를 시도한다. 이를 위하

여 발생한 오차를 보다 정확하게 검출하기 위한 체계적인 접근 방식으로 비트열의 문맥(syntax)에 대한 사전(a priori) 정보, 부호화단에서의 부호화 조건, 그리고 영상 자체의 통계적 성질을 활용하는 기법을 제안한다. 그리하여 제안한 검출 기법에 공간상의 보간 기법을 근간으로 하는 DCT 계수상의 오차 은폐 기법 [8]을 효과적으로 결합하여 효과적으로 손상을 줄이는 은폐 기법을 제안하며, 그 결과 제안된 방식에 의해 향상된 오차 적응성을 확인한다.

II. 채널 오차의 특성 및 영향에 대한 고찰

2.1 전송 방식과 MPEG-2채널 오차

디지털 TV 전송을 위해서는 위성, 지상, 케이블 전송 등의 여러 가지 대안들이 고려되고 있으나, 채널 오차의 관점에서 볼 때 방식에 따른 차이는 미약하다고 판단된다[9, 10]. 따라서 본 논문에서는 이 중에서 위성 전송에 대한 분석을 시도하였다. 위성 방송 기법의 전송 성능은 QPSK(quadrature phase shift keying) 변조 방식을 이용하는 경우 전송 속도와 수신 안테나 직경을 포함한 지상 수신기 특성에 따라 결정되며, 복호기 출력 단에서 요구되는 BER을 10^{-9} 로 설정한 경우에 27 MHz의 위성 채널로 보낼 수 있는 가능한 전송 속도는 45 Mbps 정도로 알려져 있다[10]. 구체적으로 실용적인 규격의 수신기를 사용하는 경우, 상기한 전송속도에서 채널 자체의 BER은 10^{-3} 정도로

매우 크다. 따라서 위성 전송 시스템에서는 그림 1과 같은 채널 부/복호화기를 통해서 FEC를 수행하여 BER을 10^{-9} 이하로 개선하도록 설계한다.

구체적으로 채널 부/복호화기로는 부호이득이 높고, 임의오차(random error) 및 연집오차(burst error)가 복합적으로 작용하는 경우에 효과적인 혼합(concatenated) 부호화 방식이 널리 제안된다[10]. 즉 바깥(outer)부호로는 Reed-Solomon RS(255, 239, 8) 오차 교정 부호를 사용하여 8십벌(symbol=8bit)의 오차까지 교정하며, 연집오차를 오차 교정 부호의 교정 능력 한도 내로 분산시키기 위해 8십벌정도 깊이의 인터리빙(interleaving) 방식을 사용한다. 이어서 안쪽(inner)부호로는 부호율이 7/8이고 구속장 7이며, 8레벨 연판정(soft decision) 방식에 의한 Viterbi 복호로 동작되는 punctured 길쌈(convolutional) 부호가 사용된다. 안쪽 부호는 채널의 변조(modulation)와 깊은 연관을 지니며, 바깥 부호인 RS 부호와 상호 보완적인 특성을 보이며 전체적인 전송 성능을 제고한다고 알려져 있다[9]. 결과적으로 상기한 채널 부/복호화기는 약 20%의 중복성을 추가함으로써 최종적인 BER을 평균 10^{-9} 이하로 유지하며, RS 부호와 인터리빙 기법의 결합에 의하여 최소한 $8 \times 8 \times 8 = 512$ 비트의 연집오차도 교정할 수 있다.

이러한 채널의 특성을 영상 신호 부호화의 기준에서 해석해 보자. MPEG-2 MP@ML에서는 초당 영상 신호 전송율을 최대 15Mbps로 제한하고 있으며, 720×480 정도의 표준적인 움직임 영상을 효과적으로 부호화하기 위해서는 4Mbps~6Mbps 정도가 필요하다. 따

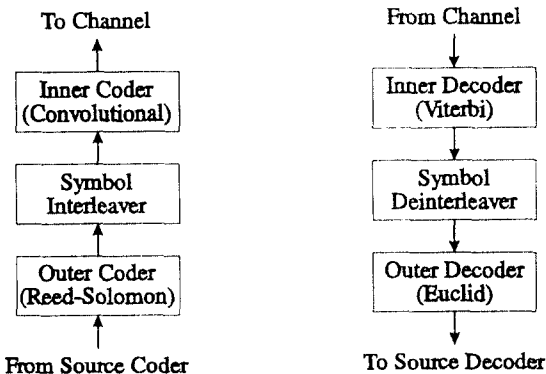


그림 1. 디지털 방송 위성 방식의 채널 부/복호화기 구성도.
Fig. 1 Channel encoder/decoder block diagram for digital broadcast satellite.

표 1. BER과 영상 신호 전송율에 따른 비트 오차의 평균 시간 간격.

Table 1. Average time interval of bit error according to BER and image signal bandwidth.

	비트 오차의 평균 시간 간격		
	5 Mb/s	10 Mb/s	15 Mb/s
10^{-4}	2 ms	1 ms	0.667 ms
10^{-5}	20 ms	10 ms	6.67 ms
10^{-6}	200 ms	100 ms	66.7 ms
10^{-7}	2 s	1 s	667 ms
10^{-8}	20 s	10 s	6.67 s
10^{-9}	3 m 20 s	1 m 40 s	1 m 6.7 s
10^{-10}	33 m 20 s	16 m 40 s	11 m 7 s
10^{-11}	5 h 33 m 20 s	2 h 46 m 40 s	1 h 51 m 10 s

라서 채널의 BER과 영상 신호 전송율에 따른 채널 오차의 발생 빈도(영상 신호만을 고려하는 경우)를 표 1에 제시하였다. 표 1를 살펴보면, 디지털 TV에 적당한 5Mbps 전송율의 경우에는 10^{-9} 의 BER이면 3.3분에 1비트 정도의 오차가 발생한다. 하지만 이와 같은 낮은 빈도의 오차에 의해서도 VLC에 의해 구성되는 영상 부호화의 특성 때문에 경우에 따라서는 시각적으로 감지되는 손상이 발생한다. 또한 채널에서 발생하는 오차는 시간적으로 균일하게 분포되는 임의 오차와 짧은 기간 집중적으로 발생하는 임의 오차로 나눌 수 있으며, 채널의 상태가 악화될 순간에는 오차가 집중적으로 발생하여 복구가 매우 힘든 손상을 초래할 수 있다. 결론적으로 FEC 기법에 의해서 BER을 평균적으로 개선하는 것은 가능하지만, 채널의 상태가 불량한 경우에는 오차가 크게 증가하며 인터리빙 기법에 의해 이를 분산시키더라도 이를 임의 오차로 국한시키는 정도라고 판단된다. 따라서 앞으로 본 논문에서는 임의 오차를 위주로 한 채널 오차를 대상으로 MPEG-2 영상 부호화의 오차 대책을 기술한다.

2.2 MPEG-2 복호화기의 채널 오차 특성

본 논문에서는 채널 오차 BER에 따른 MPEG-2 기법의 성능 변화를 먼저 관찰한다. MPEG-2 프로그램은 약간의 기능을 제외하면 MPEG-2 DIS[1]에 근거한 복호화를 수행할 수 있는 MPEG Software Simulation Group의 프로그램을 본 연구 목적에 맞도록 변경하여 사용하였다. 그리고 실험 영상에는 대표적인 MPEG-2 영상인 'Flower Garden' 영상과 'Football' 영상을 720×420 YUV = 4:2:0 형식으로 모두 240 프레임을 사용하였다. 또한 전송한 채널 오차에 대한 가정에 따라 MPEG-2 동영상 부호화 방식에 의해서 부호화된 비트열의 임의 위치에 비트 오차를 삽입하고 영향을 측정하였다. 즉 계층 부호화나 셀 전송 기법 등의 특수한 전송 알고리즘은 전혀 사용하지 않고 부호화된 비트열에 비트 오차를 직접 삽입하였다. BER은 10^{-4} 부터 10^{-8} 범위까지 변경하며 실험하였으며, 이 경우 기본적인 오차 검색은 이루어졌지만 오차 은폐 알고리즘은 전혀 적용하지 않았다. 또한 오차 삽입에 따른 임의성을 배제할 수 있도록 동일한 실험을 50회 이상 반복하였다. 참고적으로 프로그램의 수행에는 20 MFLOPS 성능의 계산기로 그림 2를

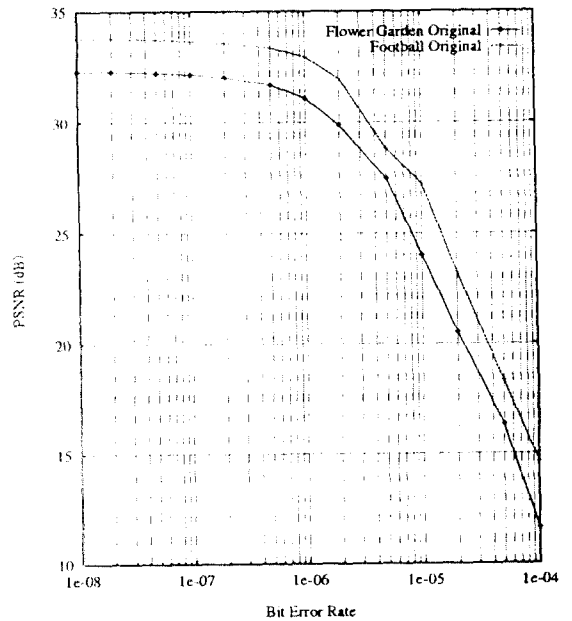


그림 2. 채널 오차 BER에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 PSNR 영향 비교(Flower Garden 영상과 Football 영상, 240 프레임, 50회 반복).

Fig. 2 PSNR performance comparison of MPEG-2 according to channel error BER.

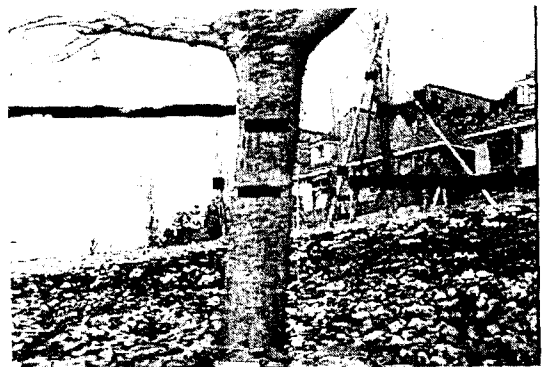


그림 3. 채널 오차에 의해 손상된 MPEG-2 부호화 영상(Flower Garden 영상, BER = 5×10^{-6}).

Fig. 3 MPEG-2 reconstructed image damaged by channel error.

완성하기 위해 약 $11.4분 \times 50회 \times 13 = 7410분 = 123.5$ 시간/줄 정도가 소요되었다.

그림 2에 비트 오차율의 변화에 따른 프레임 전체의 평균 PSNR 변화를 Flower Garden 영상과 Football 영상에 대하여 나타내었다. 대략적으로 BER이 10^{-7} 이하로 매우 낮을 경우에는 PSNR 측면에서 볼 때 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러나 이러한 결과는 평균적인 측면에서 얻은 결과이고 실제로는 주관적인 화질면에서 매우 손상될 수도 있다. 최악의 경우에는 동기를 설정하는 start_code에 발생한 오차에 의해 I 프레임의 한 슬라이스가 모두 손상되어 연속되는 15 개의 GOP 프레임에 영향이 전파되어 전체적으로 성능이 저하되는 경우도 관찰할 수 있었다. 한편 10^{-4} 이상의 BER에는 영상을 손상 없이 복호하는 것이 불가능하였으며, 복원된 화면 자체가 없기 때문에 그 전의 오차가 없는 화면을 유지하는 방법 이외에 오차 은폐도 불가능하였다. 참고로 채널 오차에 의해 손상된 영상의 예를 그림 3에 제시하였으며, 이로부터 비트 오차의 전파 현상을 쉽게 관찰할 수 있다.

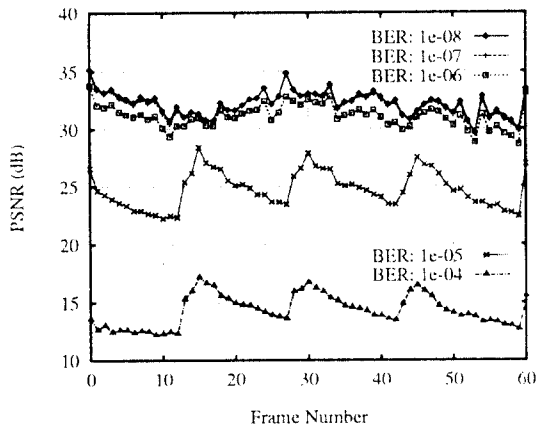


그림 4. 채널 오차 BER에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 프레임별 PSNR 영향 비교(Flower Garden 영상, 240 프레임중 60 프레임, 100회 반복).

Fig. 4 Frame based PSNR performance comparison of MPEG-2 according to channel error BER.

한편, BER 변화에 따른 평균 PSNR을 각 프레임별로 관찰하기 위해서 Flower Garden 영상에 대한 실험

결과를 그림 4에 제시하였으며, 제시한 PSNR은 100 회 반복에 의한 평균치다. 그림 4에서는 3 프레임과 15 프레임 간격으로 발생하는 주기성을 관찰할 수 있는데, 이는 MPEG-2의 기본적인 프레임 배합에 의한 I, P, B 프레임들의 특성을 반영한다. 즉, I 프레임의 오차는 이후의 14 개 P, B 프레임들에 영향을 미치고, P 프레임에서의 오차는 전후의 B 프레임들과 다음에 오는 P 프레임들에 영향을 미치기 때문이다. 또한 BER이 큰 경우에는 프레임이 진행될수록 평균 PSNR이 점차적으로 감소함을 쉽게 알 수 있다. 이는 채널 오차에 대한 배려가 부족한 MPEG-2 복호화 프로그램이 채널 오차가 증가하면 이를 감당하지 못하고 통제 불능의 상태가 되어 수행을 종료하기 때문이다. 이러한 사실을 확인하기 위해서 그림 5에 각 프레임별로 프로그램이 성공적으로 수행되는 확률을 도시하였으며, 그림 4와 깊은 상관성을 지님을 파악할 수 있다. 특히 10^{-4} BER에서는 200번째 프레임까지 진행되는 경우는 60%이하로 급격히 감소함을 알 수 있다.

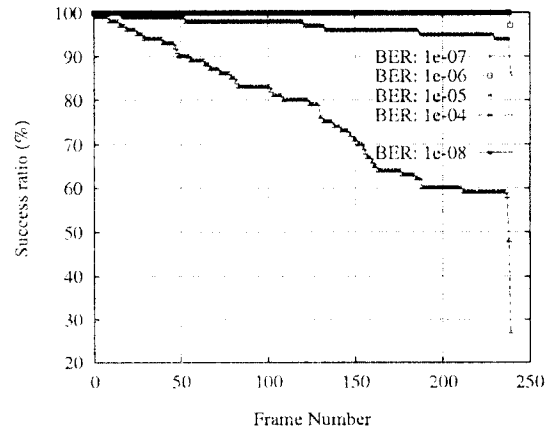


그림 5. 채널 오차 BER에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 프레임별 수행 성공률 비교(Flower Garden 영상, 240 프레임, 100회 반복).

Fig. 5 Frame based success rate comparison of MPEG-2 according to channel error BER.

III. MPEG-2 부호화 시스템의 채널 오차 대책

전술한 바와 같이 디지털 전송에는 항상 오차가 수반되고, 발생한 오차는 계속적으로 전파되면서 성능

을 저하시키므로, 채널 부/복호화 단계에서 FEC 기법에 의해 오차 교정 능력을 부여하는 이외에도 채널 오차에 대한 대책들이 강구될 필요가 있다. 따라서 MPEG-2 동영상 부호화 시스템 표준에는 ATM 망상의 셀 손실이나 위성이나 지상 전송시의 고립, 연결 오차 등에 강인성을 지니도록 하는 다양한 채널 오차 대책들이 일부 포함되어 있다[1]. 본 논문에서는 이를 확장하여 MPEG-2 구조하에 적용 가능한 채널 오차 대책을 중심으로 현재까지 제안된 기법들을 다음의 두 범주로 정리해 본다. 발생한 오차의 파급 효과를 좁은 범위에 국한시키는 데 초점을 두는 부호화기 상의 오차 전파 제한(error propagation resilience) 대책들과 발생한 오차에 의해 손상된 부분을 검출하여 은폐하는 복호화기 상의 오차 검출 및 은폐 대책으로 그림 6과 같이 구분할 수 있다.

1. 채널 오차 파급 효과 제한 기법 (Encoder)
 - (a) Error localization: Intra, inter에 적용적으로 사용.
 - i. Self-synchronizable and reversible VLC, re-synchronization.
 - ii. Spatial localization : macroblock sync code slice start code (small size slices, adaptive slice size)
 - iii. Temporal localization : intra picture, intra slices.
 - (b) Layered coding
 - i. Data partitioning : supported by Postprocessing
 - ii. Scalability : Not supported by MPEG-1, (SNR, Spatial, Temporal scalability).
 - (c) Error resilient bit stream modification.
 - MV: smoothing, Concealment MV.
 - Block Interleaving, Slice interleaving.
 - EREC(error resilient entropy coding).
2. 오차 검출 및 은폐 기법 (Decoder)
 - (a) Error detection.
 - Channel decoder: forward error correction.
 - VLC decoder via bit stream syntax.
 - Content (MV, DC, DCT coefficient).
 - (b) Error concealment
 - Temporal predictive.
 - i. Substitution from previous picture.
 - ii. Substitution from Motion compensated picture.
 - iii. Using concealment MV.
 - Spatial predictive
 - i. Spatial domain.
 - ii. DCT domain.

그림 6. 채널 오차에 대한 대책의 종류(강조한 부분은 MPEG-2 고려 가능 사항).

Fig. 6 Channel error resilience schemes for MPEG-2 system.

그러면 채널 오차의 검출 및 은폐에 대해서는 다음으로 미루고, 본 절에서는 MPEG-2 부호화기에 적용되는 채널 오차 전파 제한 기법에 대해 살펴보자. 그림 6에서 부호화 단계에서 고려 가능한 채널 오차에 대한 대책은 크게 세 가지로 나누어진다. 즉 오차의 전파범위를 제한하기 위한 오차 국부화(error localization) 기법과 이를 계층을 구분함에 의해 구현하는 계층 부호화(layered coding) 기법, 그리고 채널 오차에 적응성을 지니도록 부호화 비트열 변형을 하는 기법 등이 있다.

3.1 오차 국부화 기법

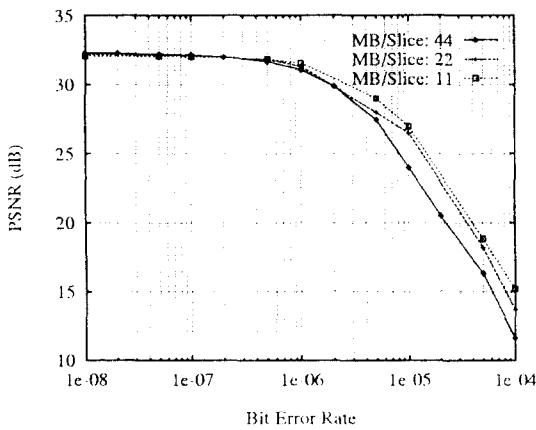
오차 국부화 기법에는 크게 어긋난 동기를 조속하게 재설정함에 의해서 오차의 전파를 방지하는 기법과 동영상 프레임간 오차 전파를 차단하도록 프레임 내 영상을 주기적으로 삽입하는 방식이 있으며, 다음과 같은 세 가지 기법들로 추가적으로 세분할 수 있다. 첫째로 동기 부호를 추가함에 따른 효율 저하를 방지하면서 동기를 재설정하는 기법으로 자기 동기(self-synchronizing) VLC[11, 12], 역으로 부호화할 수도 있게 고려한 가역(reversible) VLC[4]가 있다. 그런데 자기 동기 및 가역 VLC를 설계함에 있어서는 많은 문제점이 따르며[11], 특히 MPEG-2와 같은 표준 방식에는 VLC가 이를 감안하지 않고 결정되어 있으므로 적용이 불가능하다. 그리고 비트 이동에 의해 동기를 재탐색하는 재동기(re-synchronization) 기법[13] 등이 있다. 이는 일반적으로 부호체의 크기가 큰 VLC의 근사적 오차 전파 모델[14]을 살펴보면, 비트 오차가 생겨도 충분한 수의 심벌이 계속되면 재동기가 이루어지던지 VLC 집합에 없는 값으로 판별될 가능성이 크다는 것을 이용한다. 그런데 재동기화 알고리즘은 동기를 재설정하기 위한 시간 지연과 구현 복잡성이 문제가 된다.

두 번째 기법은 공간상의 국부화(spatial localization) 기법에 해당되는 방식으로 동기부호를 이용하는 단위를 조절하는 기법이다[1, 15]. 동기부호를 삽입하여 이를 기준으로 오차의 전파를 확실하게 차단할 수 있기 때문에 실제적인 효용성이 매우 크다. 하지만 이 방식은 동기부호에 의한 전송률 부담이 문제점이다. 그러므로 매크로 블록(MB: macro block) 단위까지 동기부호를 적용하는 기법도 제안되고 있지만[16], MPEG-2

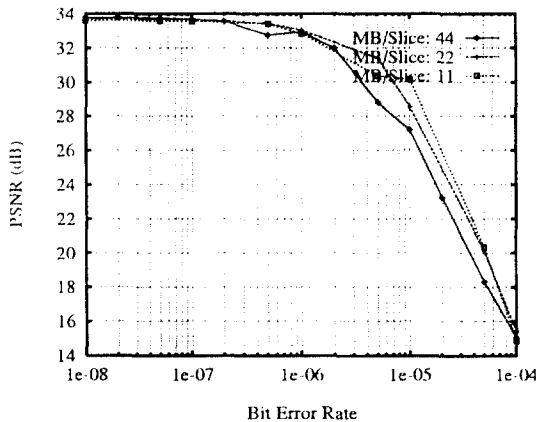
표준에서는 동기부호를 슬라이스(slice) 단위로 적용하는 방식을 활용하고 있다. 즉 동기부호 삽입에 의한 이점과 부호화 효율성을 감안한 결과 적절한 수준이 슬라이스 당 하나의 동기부호를 삽입하는 방식으로 판단한 것이다. 그러면서 [1]에서는 슬라이스의 크기를 영상에 따라서 적게 하거나 영상에 따라서 적용적으로 변화시킴에 의해서 동기가 삽입되는 단위를 조절한다. 따라서 본 논문에서는 슬라이스 크기를 최대 크기인 44로부터, 22, 11로 변동시키면서 BER에 따른 평균 PSNR 변화를 관찰하였다. 그림 7에 제시

한 결과를 살펴보면, 슬라이스당 MB를 11개로 줄이면 44개 경우에 비해 0.2dB정도 부호화 성능이 저하된다. 하지만, BER이 10^{-5} 정도로 채널 오차가 발생하면 약 2~3dB 정도 성능이 향상된다. 결론적으로 슬라이스당 MB의 수를 설정함에 있어서는 부호화의 효율성과 발생된 채널 오차에 따른 시각적인 손상간의 상충(trade-off) 관계를 감안해야 한다. 하지만 전송율에 여유가 있다면 채널 오차의 파급 효과를 줄일 수 있는 간단하고 효과적인 방식으로 판단된다.

마지막으로 프레임내 영상에 대한 비율을 높이는



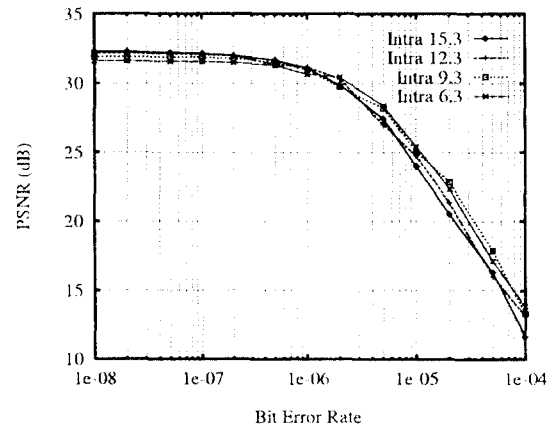
(a)



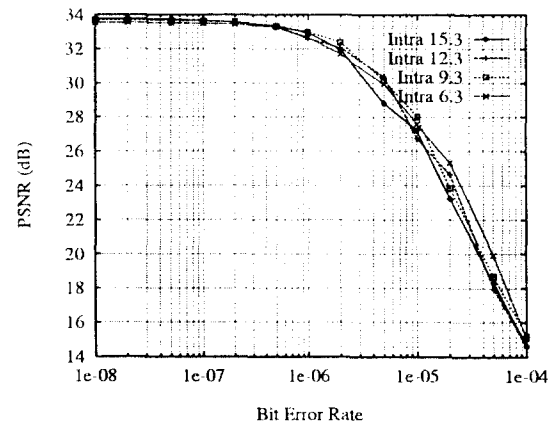
(b)

그림 7. 채널 오차 BER과 슬라이스의 크기에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 PSNR 영향 비교(240 프레임, 50회 반복). (a) Flower Garden 영상. (b) Football 영상.

Fig. 7 PSNR performance comparison according to BER and slice size.



(a)



(b)

그림 8. 채널 오차 BER과 프레임내 영상 빈도에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 PSNR 영향비교(240 프레임, 50회 반복). (a) Flower Garden 영상. (b) Football 영상.

Fig. 8 PSNR performance comparison according to BER and intra picture frequency.

방법인 시간상의 국부화(temporal localization) 기법이 있다. 이 기법은 MPEG-2에서 고려하는 기법의 하나이며, 구체적으로는 프레임내 영상의 빈도를 조정하는 기법과 각각의 영상마다 일정 비율의 슬라이스를 프레임내 부호화 하는 기법이 있다[1]. 하지만 후자를 구현함에 있어서는 주기적인 프레임내 영상이 초래하는 시각적인 역효과(예를 들면 windscreen wiper effect)들에 대한 세심한 고려가 필요한 문제점이 있다. 본 논문에서는 프레임내 영상의 빈도를 15, 12, 9, 6 프레임으로 변화시키면서 BER에 따른 평균 PSNR 성능 변화를 조사하였다. 그림 8에 제시한 결과에 의하면, 2×10^{-5} 정도의 오차 시에는 2dB이상의 차이를 보임을 확인할 수 있다. 하지만 이에 대한 대가로 0.2~0.5dB 정도의 평균 PSNR 성능 저하가 발생하는 문제점도 무시할 수는 없다. 또한 그림 7와 비교함에 의해 슬라이스의 크기를 조절하는 공간상의 국부화 기법에 비해 효과가 다소 저하됨을 알 수 있다.

3.2 계층 부호화

채널 오차에 의한 파급 효과를 제한할 수 있는 비교적 체계적인 방법인 계층 부호화 기법에는 데이터 분할(data partition)과 계층(scalable) 부호화가 있다[1]. 이 기법에서는 계층적 전송을 위해 오차 특성이 다른 여러 채널을 동시에 사용하든지, 동일 채널 상에 오차 교정 능력이 다른 채널 부호화 방식을 사용함에 의해 우선 순위(priority)를 부여한다. 그러면 수신 단에는 재생 영상에 손상을 미치는 정도에 따라 계층적으로 분리된 부호화 결과가 수신되며, 이들을 활용하여 우수한 성능의 오차 검출 및 은폐를 수행할 수 있다. 특히 직접 위성 방송에서 계층 부호화는 강우 감도저하(rain attenuation)이나 다른 장애가 있어 채널 손상이 발생해도 점진적인 성능저하(graceful degradation)를 보이는 이점을 지니며, 천재적인 장애(catastrophic distrupction)시에도 (ATM 망상에서 셀 손실이나 디지털 지상 방송에서 인접채널 간섭과 같은) 계층별로 다른 우선 순위를 할당하면 우수한 성능을 보인다고 알려져 있다[17].

하지만 계층 부호화를 위해서는 시스템의 복잡도가 상당히 증가하며, 비트열을 분리함에 따른 부가 정보의 필요성 때문에 부호화 효율이 다소 저하되는 문제점이 있다. 특히 MPEG-2 표준의 MP@ML에서

는 계층 부호화의 세 가지 경우인, SNR 계층성(scalability), 공간 계층성, 시간 계층성 방식은 배제되어 있으며, 단지 데이터 분할 기법만이 후처리의 개념으로 적용 가능한 상태이다. 데이터 분할 기법은 최소한의 압축 성능 저하를 보이는 방식으로 다른 계층 부호화 방식에 비해서 가장 상위 계층의 화질을 높게 유지할 수 있다. 또한 비트열에 오차가 발생했을 경우, 가장 신속한 오차 복원 성능을 지니며 체계적으로 오차를 은폐할 수 있는 기법을 제공한다[17]. 또한 간단하게 채널 특성에 대한 우선 순위를 부여할 수 있으며, 필요시에는 상위 계층으로 모든 데이터를 집중시킴에 의해 부호화 성능상의 효율성을 높이기 용이하다. [1]에 따르면 MPEG-2 상의 데이터 분할 기법은 상위 계층에 포함되는 정보의 양을 적게는 슬라이스 헤더까지로 부터 MB_address_increment까지, DC 계수를 포함한 첫 번째 부호화 계수까지, ..., 전체 계수들까지의 순서로 증가시킬 수 있다. 그런데 상위 계층으로의 포함 범위는 I, P 프레임에 대해 별도로 적용하는 것이 보다 효과적이며, I 프레임에서는 DC 계수가 갖는 비중을 P 프레임에서는 움직임 벡터 정보가 지닌다는 것을 감안하는 방식 등을 고려할 수 있다. 하지만 본 논문에서 중점적으로 고려하는 MPEG-2 시스템, 특히 MP@ML에서는 데이터 분할 기법에 대한 지원을 단지 허용하는 상태에 머무르고 있으며, 계층 부호화 기법이 셀 손실이 있는 ATM 환경에서 우선 순위 개념을 활용함에 있어서 적절하다는 사실을 잊어서는 안된다. 또한 데이터 분할 기법에서는 분리된 계층에 채널 오차가 발생한 경우 두 계층간의 동기를 유지하는 문제가 새로이 대두되며, 약 10~20%의 전송량이 증가되어야 하는 문제점도 뒤따른다.

3.3 오차 적응적인 비트열 변형 기법

마지막으로 채널 오차에 적응성을 갖도록 비트열을 변형하는 기법은 사실상 복호기 상의 오차 검출 및 은폐 기법과 밀접하게 관련된다. 하지만 부호화단에서 이를 감안한 부호화 정보의 변형이 필요하기 때문에 본 논문에서는 그림 6과 같이 분류하였다. 먼저 프레임간 영상에서 움직임 벡터가 손상된 경우 이를 복구하기 용이하도록 약간의 움직임 추정 성능 저하를 감수하면서 움직임 벡터를 변형하는 기법들이 있다. 구체적으로 부호기에서의 움직임 벡터의 스무딩

을 단순히 수행하는 기법[18], 손상된 움직임 벡터를 추정하기 위하여 복호기에서의 개선된 가장자리 정합을 사용함으로써 움직임을 탐색하는 기법[19] 등이 있다. 하지만 재생 영상의 화질에 큰 영향을 미치는 움직임 벡터에 대해서는 오차가 발생하지 않도록 유도하는 것이 보다 효율적이다. 또한 MPEG-2 표준에서는 프레임내 영상이 손상된 경우를 대비해서 오차 은폐를 위한 은폐 움직임 벡터를 추가로 전송할 수 있는 방법을 마련하고 있다[1]. 또한 추후 수행될 공간 영역의 오차 은폐 기법의 적용에 도움을 주기 위해 블록 끼워 넣기(block interleaving: BI)를 수행할 수 있다[5]. 끼워 넣기를 수행하면 손상된 영상을 프레임내 은폐 기법에 의해 복구함에 있어서 대단히 효과적이다. 하지만 끼워 넣기에 의해서 부호화, 복호화 단계에서의 복잡도 증가가 문제가 되며, 채널 오차가 없는 경우 PSNR 성능 상에 있어서도 약간의 손해를 감수해야 한다. 또한 다른 위치로 오차가 전파되는 소위 'threshold effect'도 발생한다[20]. 한편, [21]에서는 서로 다른 길이의 비트 수로 구성되는 각 블록 또는 슬라이스의 비트열을 조절하여 미리 약속한 비트열 상의 위치에서만 새로운 블록 또는 슬라이스의 부호화 비트열이 시작되도록 하는 EREC(error resilient entropy code) 기법을 제안하고 있으며, 이를 이용하면 비교적 적은 부담으로 채널 오차에 대한 적응성을 향상시킬 수 있음을 주장하고 있다.

IV. MPEG-2 복호화 시스템의 채널 오차 대책

4.1 제안하는 비트 오차 검출 기법 및 적용 결과

전송시 비트열에 오차가 발생하여 손상된 정보를 복호기에서 은폐하기 위해서는 발생한 오차의 위치를 미리 정확히 검출할 필요가 있다. 이를 위해서는 채널 복호화기 상의 오차 검출에 의존하는 상황을 가정할 수 있으며, 기존의 대부분의 오차 은폐 기법 연구에서는 ATM 전송 방식과 같은 네트워크 기능에 의해서 발생한 셀 손실/오차 위치를 전달받아 채널 오차의 위치를 파악한다[5-7]. 하지만 네트워크의 지원에는 FEC 기법의 적용을 위한 부가정보가 요구되며, 경우에 따라서는 미처 발견이나 교정이 이루어지지 않은 오차가 복호화기에 전달될 가능성도 많다. 또한 네트워크 기능이나 유사한 채널 부/복호화에 의

한 FEC 기법의 적용 자체가 불가능한 응용 분야도 고려해야 한다. 따라서 채널 복호화에 의존하지 않고 오차를 검출하는 보다 실제적인 채널 오차 대책을 강구하기 위해서 본 논문에서는 FEC 기법과의 결합은 일단 제외하고, 복호화 과정에서 임의 위치에 첨가된 비트 오차들을 검출하는 기법을 활용하여 실제적인 오차 은폐를 시도한다. 그러나 현재 복호화 과정을 통해서 부호화 비트열에 포함된 임의의 오차를 검출하는 기법에 대해서는 알려진 바가 별로 없다[13]. 왜냐하면 오차 검출 자체가 매우 어려울 뿐만 아니라, 부호화 기법과 사용된 부호의 종류 등에 따라 검출 기법 자체가 바뀌기 때문에 완벽한 검출을 기대하기는 힘들다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 오차 가능성을 체계적으로 접근함에 의해 검출 가능성을 향상시킬 수 있는 기법으로 그림 9와 같은 3단계에 걸친 효율적인 검출 방식을 제안한다.

먼저, 최상위 단계인 첫 단계는 동기 부호인 start_code에 발생할 수도 있는 오차를 검출함에 의해서 다음 슬라이스나 프레임으로 오차가 전파되는 것을 방지하는 동기(synchronization) 단계이다. 즉 VLC의 특성에 의해 발생된 오차가 계속적으로 전파되는 문제점을 확실하게 차단하기 위해, 동기부호 자체에 발생하는 오차를 검출 교정하는 것이다. 이를 위해서는 그림 9에 나타난 동기 부호인 start_code를 검출하는 별도의 로직과 VLC 복호화 과정 및 계속되는 데이터 복호 과정에서 확인되는 정보를 유기적으로 결합하여 판단하는 로직이 필요하다. 그러면, 그림 10에 제시한 MPEG-2 비트열의 흐름도를 참조하여 MPEG-2에서 동기부호가 활용되는 방식을 먼저 살펴 보자. 동기부호로 사용하기 위해서는 MPEG-2 비트열 전체에 걸쳐서 유일한 값으로 구분할 수 있어야 하므로 23개의 '0'에 1개의 '1'을 붙인 24 비트의 start_code_prefix가 먼저 나오고(동시에 동기부호는 항상 byte aligned 되어 있음), 다음에 오는 값에 따라 여러 가지 경우로 구분된다. 따라서 start_code의 사용 시에는 start_code를 검사하는 별도의 로직이 필요하며, sequence, group of picture, picture, slice 등으로 구분되는 상태를 체계적으로 추적할 수 있어야 한다. 그 중에서도 슬라이스 단위 동기부호에 대해서는 전체적인 발생 빈도가 많으므로 이에 대한 고려도 중요하다. 그러면 slice_start_code를 검출하는 방식을 위주로 start_code 검출

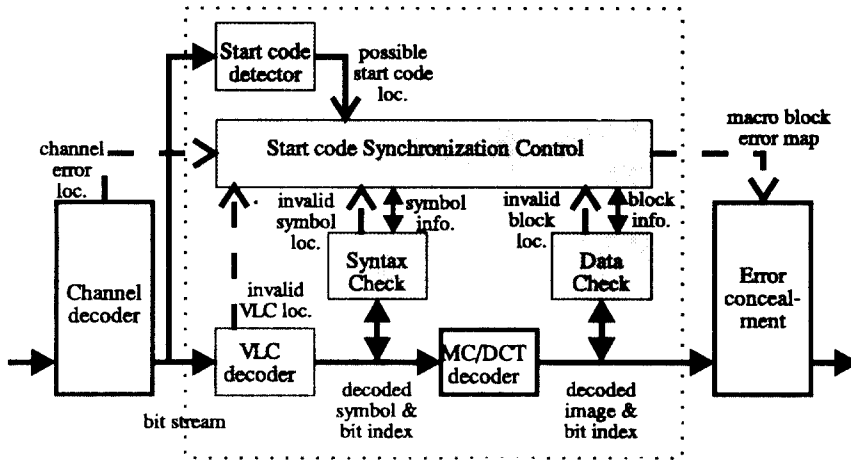


그림 9. 제안한 MPEG-2를 위한 3단계 오차 검출 블록선도.
Fig. 9 Proposed 3-stage error detection scheme for MPEG-2.

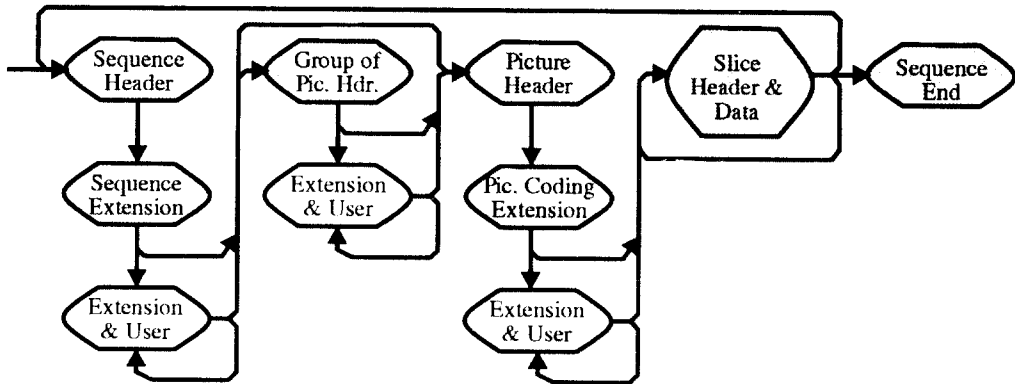


그림 10. 최상위 단계 MPEG-2 비트열의 구성(start_code의 관계).
Fig. 10 Bit stream syntax flow of MPEG-2 topmost level.

이 지나야할 성질을 살펴보자. MPEG-2 표준[1]에 의하면, 슬라이스에는 화면 전체 중에서 슬라이스에 포함되지 않고 누락되는 부분이 있는 일반(general) 슬라이스와 화면 전체가 빠짐없이 포함되는 제약된(restricted) 슬라이스가 있다. 그런데 일반적으로 제약된 슬라이스가 활용되며, 그 중에서도 모든 슬라이스들의 크기가 동일한 경우가 일반적이다. 따라서 slice_

start_code에 포함되는 슬라이스의 수직 위치 정보는 슬라이스마다 하나씩 증가하므로, 이를 이용하면 slice_start_code에 1 비트 정도의 오차가 포함된 것은 BER이 10^{-5} 이하인 경우에는 대부분 판독하여 교정 가능함을 실험적으로 확인하였다. 정리하면 본 논문에서는 동기부호를 채널 오차에 무관하게 검출할 수 있도록 그림 10에 제시한 동기부호간의 상태 변화를 고려

함에 의해서 동기부호에 발생한 오차를 극복할 수 있도록 배려한 것이다.

그러면, VLC에 의한 채널 오차의 검출 과정은 슬라이스 단위로 국한시킬 수 있으며, 이로 인해서 오차 검출이 체계적으로 수행될 수 있다. 이를 슬라이스 내부에 포함된 채널 오차에 의한 영향과 결부시키면 다음과 같은 세 가지 경우가 발생하게 된다. 첫 번째는 VLC단에서 오차가 검출되는 경우로서 이 경우에는 발견된 오차의 MB 위치를 파악할 수 있는 가능성이 매우 높으며, 부수되는 오차 은폐의 적용을 오차가 발견된 MB로부터 마지막 MB까지로 한정할 수 있다. 두 번째는 VLC 단에서는 오차를 검출하지 못하였지만 슬라이스 동기부호를 활용하여 오차의 발생을 인지한 다음, 오차 발생 위치를 역으로 탐색하여 발견하는 경우가 된다. 이 경우에도 부수되는 오차 은폐의 적용을 오차가 발견된 MB로부터 마지막 MB로 한정할 수 있다. 하지만, 슬라이스 동기부호에 의해 오차는 검출하였지만 발생 위치를 파악할 수 없는 마지막 경우에는 슬라이스의 전체 MB들에 대해 오차 은폐를 적용해야 한다. 이 때 슬라이스 내부에서 발생한 오차의 검출은 VLC 복호화기에서 VLC 부호값 자체의 유효 여부를 판정하는 로직과 복호화된 결과를 MPEG-2의 문맥에서 판단하여 확인하는 로직의 두 부분에서 수행한다. 먼저 VLC 복호화기에서의 검출은비트열에 오차가 발생하여 VLC 복호 자체가 유효하지 않게 되는 경우로 부호화 대상에 따라 각각 다른 판별 조건이 사용되며, 주로 MB의 헤더에 들어가는 정보들인 MB_type, MB_address, motion_vector, quantization_scale, CBP(coded block pattern) 등이 잘못되는 경우가 해당된다. 또한 DCT 계수의 VLC 복호에서도 가끔 오차가 검출되기도 한다. 한편, 복호화된 결과를 MPEG-2의 문맥에서 판단하여 확인하는 로직에서는 I, P, B 프레임에 따라서 달라지게 되는 상황 조건을 이용한다. 즉 I 프레임의 경우에는 모든 MB들이 부호화 되므로 MB_address_increment는 항상 1이 되어야 한다. 또한 I 프레임의 경우 MB_type도 두 가지 경우로 한정되며, 이외의 MB_type이 발생하였을 경우 오차를 검출할 수 있다. 다음으로 P 프레임과 B 프레임의 경우에는, 먼저 MB_address_increment의 값을 한 슬라이스의 끝까지 모두 더해나갔을 때 마지막에 한 슬라이스 내의 MB 수보다 많거

나 적어지면 오차를 검출할 수 있다. 또한 슬라이스 헤더나 매크로 블록 헤더의 각 심벌들이 유효한 값의 범위를 벗어나면 오차로 판별하게 된다. 또한 실제로 부호화된 블록의 수의 관계에 이상이 있거나 복호화된 DCT 계수의 수가 64개를 넘어가는 경우와 DCT 계수가 갖는 값의 범위를 벗어나는 경우도 이 단계에서 검출할 수 있다.

그러나 비트열에 발생한 모든 비트 오차가 반드시 검출되지는 않는다. 왜냐하면 비트열의 대부분을 차지하는 DCT 계수 복호화에 있어서는 오차가 발생하더라도 쉽게 발견되지 않기 때문에 복호화가 계속 진행되어 재동기가 되거나, 오차로 검출되더라도 몇 블록이 지난 후에야 검출되어 어느 블록부터 오차가 발생하였는지 알 수 없기 때문이다. 또한 MB_address_increment의 경우에는 이 값이 바뀌게 될 때 뒤의 모든 블록들이 밀리거나 당겨져서 복호화 되므로 이후의 모든 정보가 맞게 복호화가 진행되더라도 심각한 오차를 초래한다. 이러한 VLC의 복호화 측면에서 그 영향을 종합하여 보면, I 프레임의 경우에는 각 MB마다 MB_address_increment를 1 인지 아닌지 여부로 오차를 판별할 수 있으므로 오차를 검출할 수 있는 확률이 비교적 높지만, P나 B 프레임의 경우에는 위의 몇몇 특수한 부호들만으로 오차를 검출하므로 오차를 발견할 수 있는 확률이 적음을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 기법에서는 마지막 단계인 세 번째 단계에서는 복호화된 영상에서의 데이터 이상 여부를 판별하는 기법을 이용하여 최종적으로 오차를 검출함으로써 이전 단계에서 검출된 오차를 확인한다. 먼저 프레임내/프레임간 부호화에 대한 결정, 움직임 추정의 사용 여부에 대한 결정, 프레임/필드 DCT에 대한 선택 등의 부호화단에서 사용한 부호화의 조건들에 대한 확인 과정을 통하여 오차 포함 여부를 확인한다. 또한 다음과 같이 복호가 진행된 후 얻어진 휘도 값이 비정상적일 경우에도 오차를 확인한다. 즉 휘도 값의 경우에는 0 보다 작거나 255보다 큰 값이 발견되면 오차 발생을 알 수 있다. 또한 주변 블록과 비교하여 비정상적으로 DC 성분의 값이 다른 경우나, 비정상적으로 고주파 성분에 에너지가 집중되는 경우도 오차 발생 가능성이 크다. 특히 한 슬라이스의 블록의 휘도 값이 위, 아래 슬라이스의 블록과 경계 부분에서 잘 융합되지 않는 경우에는

MB_address_increment에 오차가 발생하여 블록들이 전체적으로 이동된 경우에 유용하므로 본 논문에서는 그림 11에 제시한 가장자리 비교 기법을 적극적으로 활용하였다. 그러나, 이 방법들은 모두 통계적으로 적절한 값의 범위를 설정하고 이와 비교하여 비정상적인 값을 판별하여 오차의 유무를 확인하기 때문에 오차로 잘못 판별할 경우도 있게 된다. 따라서 이 방식은 상기한 VLC 상의 오차 검출 단계와 상호 관련 시키면서 활용하는 것이 대단히 중요함을 모의실험 과정을 통하여 확인할 수 있었다.

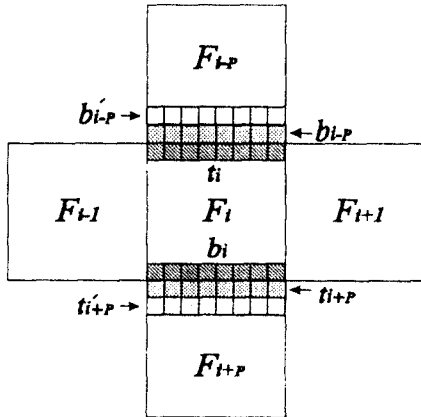


그림 11. 경계 비교를 통한 오차 검출에 사용되는 블록들과 가장자리 벡터들.
Fig. 11 Candidate vectors for the block boundary mismatch detection.

따라서 본 논문에서는 오차 검출 기법에 따른 MPEG-2 복호화 시스템의 성능 변화를 확인하기 위해서 Flower Garden 영상과 Football 영상을 활용한 실험을 진행하였다. 구체적으로는 부호화된 비트열의 임의의 위치에 비트 오차를 추가하였을 때 오차 검출 기법에 따른 영향을 측정하였다. 두 가지로 나누어진 실험에서 방식 #1에서는 VLC 단계에서의 간단한 오차 검출만이 적용되었으며, 방식 #2에서는 제안한 채널 오차 탐색 기법을 적용하였다. 그 결과 BER의 변화에 따른 PSNR은 그림 12에 제시한 바와 같다. 대략적으로 BER이 10^{-6} 이하로 매우 낮은 경우에는 두 방식의 차이는 거의 없지만, BER이 10^{-5} 부터는 추가된 검색 기능에 의한 성능 향상 효과를 쉽게 관찰할 수 있다.

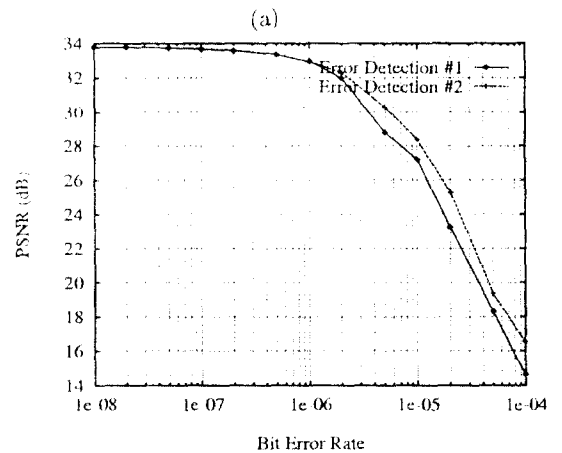
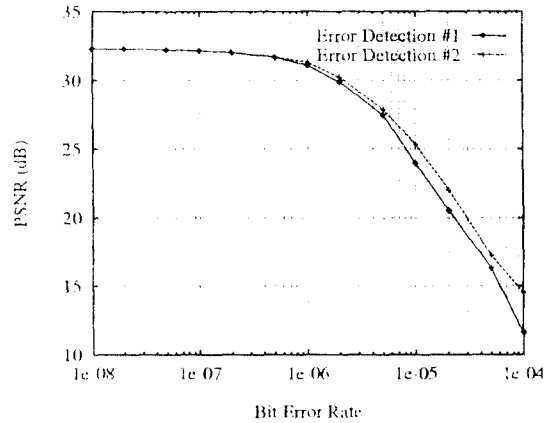


그림 12. 채널 오차 BER과 오차 검색 기법의 변화에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 PSNR 영향 비교(240 프레임, 50회 반복). (a) Flower Garden 영상. (b) Football 영상.

Fig. 12 PSNR performance comparison according to BER and error detection schemes.

4.2 오차 은폐 기법과 적용 결과

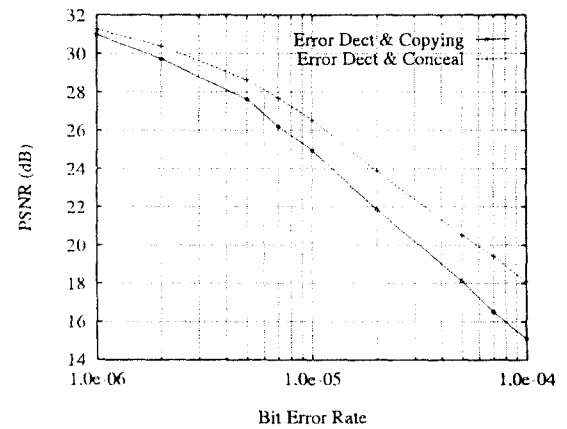
검출한 비트 오차의 전파를 최소화하기 위해, 손상된 DCT 계수나 휘도 값을 추정해 낸 후 이를 움직임 보상을 위한 계환 내부에 삽입하여 발생한 오차가 다음 프레임으로 전파되지 않도록 하는 것이 오차 은폐 기법이다. 이러한 오차 은폐 기법은 동영상의 시간축 상에서의 중복된 정보를 이용하는 방법과, 한 프레임 안에서 공간 내에서의 중복된 정보를 이용하는 방법

의 두 가지로 나누어진다. 전자는 시간적으로 인접한 프레임의 영상 정보에서 적절한 부분을 찾아서 손상된 블록을 채우며, MPEG-2의 시간 예측 은폐(temporal predictive concealment: TPC)에 해당된다[1]. 후자는 영상의 국부적인 휘도 변화가 연속임을 가정하여 비슷한 휘도 값을 가진 주변 블록으로부터 손상된 블록을 추정하는 것으로, MPEG-2에서는 이 방법을 공간 예측 은폐(spatial predictive concealment: SPC)로 정의하였다.

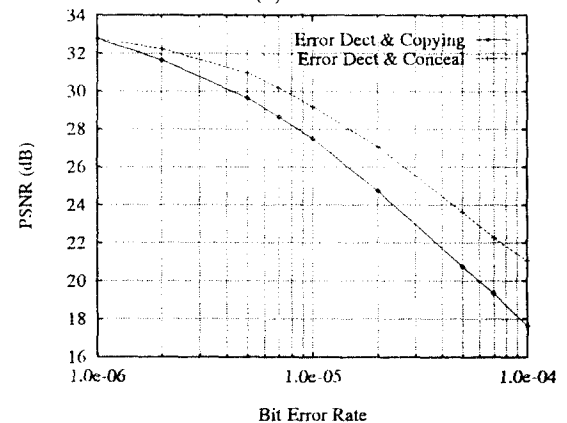
시간 예측 은폐 기법은 전 프레임의 적절한 위치의 데이터를 가져와 손상된 부분을 채워넣게 되므로 움직임이 없는 부분, 특히 배경 부분의 손실에 대해서는 거의 완벽하게 원래의 정보를 재생할 수 있다. 그러나 움직임이 있으면 이전 프레임에서 손상된 부분과 가장 유사한 부분을 찾아야 하는데, 이 경우 움직임 벡터 정보가 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 오차가 발생한 경우 움직임 벡터 역시 같이 손실되므로, 움직임 벡터를 사용하려면 3.3절에서 다룬 기법들의 적용이 필요하다. 그러므로 실제적으로 다소 복잡하여 비용이 많이 들며, 신뢰도가 낮고 프레임내 영상과 같이 적용이 불가능한 경우가 많이 있다. 한편, 공간 예측 은폐 기법은 주변 블록의 휘도 정보를 이용해서 주변 블록과 가장 잘 연결되도록 손상된 부분의 DCT 계수나 휘도 값을 복원하는 것으로 일종의 보간(interpolation) 기법이라 할 수 있다. 따라서 손상된 블록 내부의 정확한 정보를 주변 블록의 정보만으로 복원하는 것은 불가능하기 때문에 어느 정도 열화(blurring)된 결과를 얻는다. 그러나 프레임내 영상이나 정지 영상의 경우 등 시간 예측 은폐 기법을 적용할 수 없는 경우에도 시간 예측 은폐 기법을 적용할 수 없는 경우에도 적용이 가능하고, 움직임이 많은 영역 등에 대해서는 화질의 열화가 있더라도 눈에 덜 띄는 특성이 있다. 따라서 실제적인 오차 은폐 기법에 있어서는 서로 보완 관계에 있는 두 기법을 적절히 결합하는 것이 필요하다. 즉 움직임의 양이 적거나 블록의 내부가 매우 복잡할 경우에는 시간 예측에 의한 방법을 적용하고, 움직임이 큰 부분이나 내부가 단순한 경우의 손상된 블록에 대해서는 공간 예측 기법을 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

한편, 현재까지 제안되어 있는 공간 예측 은폐 기법은 손상된 블록의 휘도 값을 직접 복원하는 방법과,

DCT 계수를 복원하는 방법의 두 가지로 나눌 수 있다. 휘도 값을 직접 복원하는 방법으로는 간단한 선형 보간법을 사용하는 방법[7]과, 특수한 필터를 사용하여 휘도 값을 추정하는 방법[22] 그리고 주변 블록의 휘도 값의 가중 평균으로 구하는 방법[23] 등이 있다. DCT 계수를 복원하는 알고리즘에는 JPEG에서 제안한 블록화 현상(blocking effect)을 줄이기 위한 식을 DCT 계수 복원에 적용한 기법[24]과 주변 블록과의 경계 부분에서의 차이 값을 줄이도록 최적화 기



(a)



(b)

그림 13. 채널 오차 BER과 오차 검색 및 은폐 기법의 적용에 따른 MPEG-2 부호화 기법의 PSNR 영향 비교 (60 프레임, 500회 반복). (a) Flower Garden 영상. (b) Football 영상.

Fig. 13 PSNR performance comparison according to BER and error resilience schemes.

법을 사용한 방법[25] 등이 있다. 이러한 기법들은 나름대로 장점과 단점을 가지는데, 특히 기존의 DCT 계수 복원 알고리즘들은 아직 DCT 계수 복원 능력에 한계가 있거나 복원을 하기 위한 계산량 면에서 실제 영상 복호화에 적용되기에는 힘든 단점이 있다. 따라서 이러한 점들에 주목하여 본 논문에서는 계산 구조가 하드웨어 구현에 유리하면서도 계수 복원 능력이 뛰어난 Park[8]의 기법을 적용하여 제안한 오차 검출 기법과 함께 적용하였다. 마찬가지로 Flower garden 영상과 Football 영상에 대한 모의실험을 진행하였으며, 그 결과 그림 13(a)와 그림 13(b)에 제시한 결과를 얻을 수 있었다. 그리하여 제안한 오차 검출 및 은폐 기법을 단순한 손상 블록 대체 기법(copying algorithm)과 비교한 결과 PSNR이 BER이 증가됨에 따라 향상됨을 알 수 있으며, 이로부터 제안한 방식의 성능을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 방송에서 발생하는 채널 오차의 특성을 조사하고 이에 사용되는 MPEG-2 영상 부호화 기법에 대한 채널 오차 전파 현상에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과 표준적인 MPEG-2 영상에 대하여 BER이 10^{-7} 이하로 매우 낮은 경우에는 평균적인 PSNR 측면에서는 큰 영향을 받지 않지만, 이러한 BER에도 최악의 경우에는 시각적으로 인식되는 손상을 입을 수도 있음을 확인하였다. 또한 이러한 기본적인 인식을 토대로 기존의 영상 통신 시스템에서 채용되고 있는 채널 오차에 대한 대책들의 동향을 파악하여 이를 MPEG-2를 근간으로 한 부호화 시스템의 측면에서 접근해 보았다. 구체적으로는 채널 오차의 파급 효과를 제한하기 위한 기법을 부호화와 복호화에 대해 분리해 보았다. 먼저 부호화에 있어서는 오차의 전파 범위를 제한하기 위한 오차 국부화 기법, 계층 부호화 기법, 그리고 채널 오차에 적응성을 지니도록 부호화 비트열을 변형하는 기법 등을 고려하였으며, 특히 공간상, 시간상으로 제한함에 의해 최소화하는 방식들에 대해서는 모의실험을 통해 성능 비교 과정을 진행하였다. 그 결과 채널 오차의 파급 효과를 제한하는 기법에서 공간영역의 국부화 기법 및 계층 부호화 방식의 데이터 분할 기법이 주

목할 만하다는 결론을 얻을 수 있었다. 하지만 데이터 분할 기법은 적용을 위해서 추가적인 처리 과정이 증가하는 문제점이 있다고 판단된다. 또한 복호화기 단에서의 채널 오차 파급 효과 제한을 위해서는 오차 검출 및 은폐 기법을 활용해야 하며, 이를 위하여 본 연구에서는 채널 오차를 효율적으로 검출하기 위한 기법으로 MPEG-2 비트열에 대한 사전 정보, 부호화 단에서의 부호화 조건, 그리고 영상의 통계적인 특성에 근거하여 복호화기 상에서 채널 오차를 체계적으로 검출하는 기법을 제안하였다. 그리고 오차 은폐 기법에 있어서는 효과적인 계수 복원과 계산상의 이점을 동시에 지니는 DCT 계수 복원 알고리즘을 이용한 공간 예측 오차 은폐 기법을 활용하여, 제안한 오차 검출 기법과 결합하여 효과적인 오차 대책을 구현할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. M. P. E. G. (JTC1/SC29/WG11) and E. G. on ATM Video Coding (ITU-T SG15), "Generic coding of moving pictures and associated audio: (MPEG-2)," Draft International Standard 13818-2 Video, ISO/IEC, Mar. 1994.
2. S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1983.
3. M. Wada, "Selective recovery of video packet loss using error concealment," *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. SAC-7, pp. 807-814, June 1984.
4. K. M. Rose and A. Heiman, "Enhancement of one-dimensional variable-length DPCM images corrupted by transmission errors," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-37, pp. 373-379, Apr. 1989.
5. Q. Zhu, Y. Wang, and L. Shaw, "Coding and cell-loss recovery in DCT-based packet video," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-3, pp. 248-258, June 1993.
6. D. Raychaudhuri, H. Sun, and R. S. Girons, "ATM transport and cell-loss concealment technique for MPEG video," in ICASSP'93 [26], pp. V-117-V-120.
7. M. Ghanbari and V. Seferidis, "Cell-loss conceal-

- ment in ATM video codes," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-3, pp. 248-258, June 1993.
8. J. W. Park, D. S. Kim, and S. U. Lee, "On the error concealment techniques for DCT based image coding," in ICASSP'94 [27], pp. III 293-296.
 9. Y. Wu and B. Caron, "Digital television terrestrial broadcasting," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 32, pp. 46-52, May 1994.
 10. R. D. Gaudenzi, C. Elia, and R. Viola, "Analysis of satellite broadcasting systems for digital television," *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. SAC-11, pp. 99-110, Jan. 1993.
 11. T. Ferguson and J. Rabinowitz, "Self-synchronizing Huffman codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-30, pp. 687-693, July 1984.
 12. B. L. Montgomery and J. Abrahams, "Synchronization of binary source codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-32, pp. 849-854, Nov. 1986.
 13. S. H. Lee, J. S. Youn, S. H. Jang, and S. H. Jang, "Transmission error detection, resynchronization, and error concealment for MPEG video decoder," in *Visual Commun. and Image Proc. '93*, vol. 2094, (Cambridge, MA, USA), pp. 195-204, Nov. 1993.
 14. Y. Takishima, M. Wada, and H. Murakami, "Error states and synchronization recovery for variable length codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-42, pp. 783-792, Feb./Mar./April 1994.
 15. S.-M. Lei, "The construction of efficient variable-length codes with clear synchronizing codewords for digital video applications," in *Visual Commun. and Image Proc. '91*, vol. 1605, (Boston, MA, USA), pp. 863-872, Nov. 1991.
 16. P. Nasiopoulos and R. Ward, "Improving the HDTV picture performance under noisy transmission conditions," in ICASSP'93 [26], pp. V-277-V-280.
 17. T. Chiang and D. Anastassiou, "Hierarchical coding of digital television," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 32, pp. 38-45, May 1994.
 18. W.-M. Lam, A. R. Reibman, and B. Liu, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors," in ICASSP'93 [26], pp. V 417-420.
 19. C. S. Park, J. Ye, and S. U. Lee, "Lost motion vector recovery algorithm," in *Proc. IEEE Internat. Symp. Circuits and Syst.*, (London, England), pp. 229-232, May 1994.
 20. G. Yu and M.-K. Liu, "Temporal and spatial interleaving of H. 261 compression for lossy transmission," in *Visual Commun. and Image Proc. '95*, vol. 2501, (Taipei, Taiwan), pp. 1487-1489, May 1995.
 21. D. W. Redmill and N. G. Kingsbury, "The EREC : An error-resilient technique for coding variable-length blocks of data," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-5, pp. 656-674, Apr. 1996.
 22. X. Lee, Y.-Q. Zhang, and A. Leon-Garcia, "Information loss recovery for block-based image coding techniques-A fuzzy logic approach," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 259-273, Mar. 1995.
 23. S. S. Hemami and R. M. Gray, "Image reconstruction using vector quantized linear interpolation," in ICASSP'94 [27], pp. V-629-V-631.
 24. J. P. E. G. (ISO/IEC/JTC1/SC29/WG10), "Information technology-digital compression and coding of continuous-tone still images-requirements and guidelines," International Standard ISO/IEC 10918-1 (ITU-T T.81), ISO/IEC, 1993.
 25. Y. Wang, Q. Zhu, and L. Shaw, "Maximally smooth image recovery in transform coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-41, pp. 1544-1551, Oct. 1993.
 26. IEEE, *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Minneapolis, Minnesota, USA), Apr. 1993.
 27. IEEE, *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Adelaide, South Australia), Apr. 1994.

김 종 원(Jong Won Kim)

정회원

현재:공주대학교 전자공학과 조교수

논문지 제20권 제11호(1995년 11월) 참조.



박 종 욱(Jong Wook Park)정회원

1968년 11월 12일생

1991년 2월:서울대학교 제어계측
공학과 졸업(공학사)

1993년 2월:서울대학교 제어계측
공학과 졸업(공학석사)

1993년 3월~현재:서울대학교 제
어계측공학과 박사
과정 재학중

※주관심분야:영상 신호 처리, 영상 정보 전송

이 상 욱(Sang Uk Lee)

정회원

현재:서울대학교 전기공학부 교수

논문지 제19권 제10호(1994년 10월) 참조.