

디지털 TV 화질 개선을 위한 전송 오류 은폐 기법

Error Concealment Technique for Image Quality Improvement of Digital TV

서재원, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과
광주광역시 북구 오룡동 1번지
e-mail : won@gogh.kjist.ac.kr

ABSTRACT

이 논문은 디지털 TV의 압축 비트열을 전송할 때, 채널 오류로 인해 디지털 TV 디코더에서 화면을 재생할 때 발생할 수 있는 화질의 저하를 최소화시키는 방법을 기술한다. 텔레비전과 같은 단방향 방송 시스템에서 전송 도중에 오류가 발생하여 수신측에서 전송 오류를 제대로 정정하기 곤란할 때, 재생된 화면이 심각하게 훼손될 수 있다. 이때 오류로 인한 화면의 손상을 주변의 공간적 또는 시간적 상관 정보를 이용하여 화면을 복원하는 동작을 오류 은폐라고 한다. 최근 디지털 TV나 고선명 TV의 기본 부호화 방식으로 많이 사용하고 있는 MPEG 비디오 표준 방식은 공간적인 중복 정보를 압축하기 위해 DCT 변환을 수행하며, 시간적인 중복 정보를 압축하기 위해 움직임 예측과 움직임 보상 방법을 이용한다. 또한 MPEG 비디오 압축 방식은 일종의 차분 부호화 방법을 사용하기 때문에 현재 화면에서 오류가 발생하면 현재 화면 뿐만 아니라, 시간적으로 나중에 부호화된 화면에도 오류가 전파된다. 본 논문에서는 MPEG 비트열의 채널 오류의 영향을 분석하여 화면간에 존재하는 시간적인 중복성을 이용하여 움직임 벡터를 추정하여 손상된 부분을 은폐시키는 방법을 제안한다. 기본적으로 손상된 매크로블록의 위와 아래로 인접한 화소값들을 움직임 벡터의 추정에 사용한다. 제안된 방법들 중에서 주변 움직임 벡터들의 가중치를 이용한 평균값 방법과 초기 움직임 벡터를 이용한 확장 영역 움직임 추정 방법이 우수한 결과를 보였다.

1. 서론

디지털 신호처리와 컴퓨터 기술의 발전에 힘입어 영상을 포함한 멀티미디어 서비스의 사용이 급증하고 있다. 제한된 대역폭의 전송 채널을 통해 많은 양의 동영상 정보를 효율적으로 전송하거나 저장하기 위해 MPEG 표준화 그룹에서는 영상 정보를 압축 부호화하는 국제 표준 방식을 만들었다 [1]. 제안된 동영상 압축 기법은 여러 가지 부호화 기법들을 조합하여 사용하기 때문에, 부호화된 영상 정보에 오류가 발생할 경우에는 사용된 부호화 기법에 따라 그 오류의 영향이 다양한 형태로 나타날 수 있다.

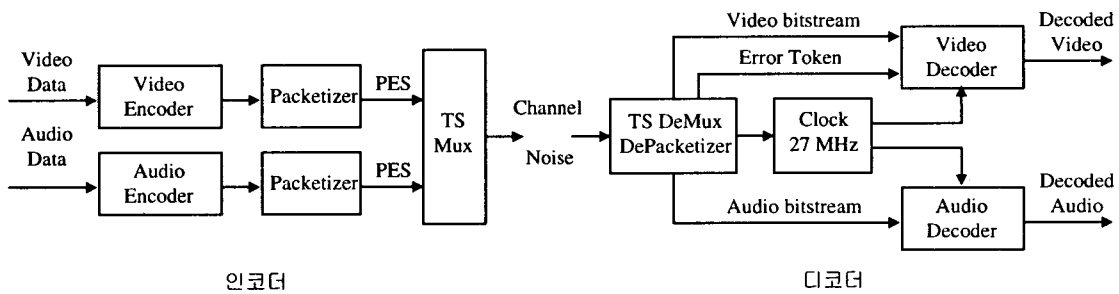
압축된 동영상 데이터가 전송 과정에서 채널상의 오류로 인해 손상되었을 때, 정상적으로 복원된 주변의 정보들로부터 원 영상에 가깝게 복구하는 오류 은폐 기법(Error Concealment Technique)을 사용할 수 있다. 일반적으로 MPEG 부호화 방식에서는 오류가 발생하면 발생 위치의 매크로블록에서부터 재동기의 최소 단위인 다음 슬라이스 헤더 정보를 찾을 때까지의 수신 정보를 제대로 복호할 수 없다. 따라서 전송 오류가 발생하면 연속적으로 여러 개의 매크로블록을 잃어버리기 때문에, 손실된 매크로블록에 수직으로 이웃한 매크로블록 정보와 시간적으로 앞서 수신된 이전 화면 정보를 이용하여 오류의 영향을 은폐시킨다.

오류 은폐 기법은 크게 화면내의 유사성을 이용하는 공간적 오류 은폐 기법과 화면간의 유사성을 이용하는 시간적 오류 은폐 기법으로 분류할 수 있다. 공간적 오류 은폐 기법에서는 이웃한 화소간에는 화소값들의 갑작스러운 변화가 없다고 가정하여 공간적인 보간법을 이용하여 손상된 부분을 복원한다 [2-4]. 이러한 방법은 오류의 형태가 고립적일 경우에는 우수한 결과를 보이지만, 실제로 발생하는 가로 방향의 연속된 오류에서는 복원 성능이 그렇게 좋지 못하다. 전송 오류가 발생한 매크로블록의 위치를 고립적으로 만들기 위해 부호화될 매크로블록의 순서를 위와 아래로 엇갈리면서 부호화하여 전송하는 블록 끼워넣기 방법을 사용할 수도 있다 [5]. 시간적 오류 은폐 기법에서는 연속된 화면간의 유사성을 이용하여 현재 화면에서 손상된 부분을 이전 화면에서 가장 비슷한 부분의 것으로 대치시켜 복원한다 [6].

본 논문에서는 이용 가능한 주변의 모든 정보로부터 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 추정하고, 추정된 움직임 벡터를 이용하여 손실된 매크로블록의 움직임을 보상하여 손실된 정보를 복원하는 시간적 오류 은폐 방법들을 제안한다.

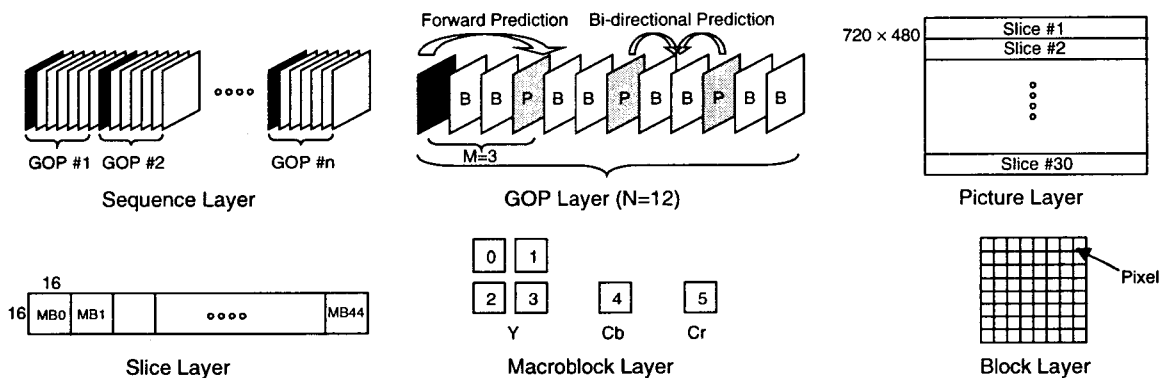
2. 시스템 구성과 오류 검출

디지털 TV 코덱의 구성도를 <그림 1>에 나타내었다. 시스템 부호기의 입력부에 표시된 비디오와 오디오 데이터 외에 일반적인 데이터도 포함될 수 있으며, 이렇게 구성된 프로그램은 방송 채널을 통해 전송된다. 각각의 입력 데이터는 전송 오류의 영향을 최소화시키기 위해 패킷으로 묶여 전송된다. 전송 도중에 네트워크 병목 현상이나 채널상의 잡음 등으로 인해서 패킷에 오류가 발생하면, 시스템 복호기의 TS DeMux/DePacketizer에서 오류가 발생했음을 각각의 분리된 데이터 복호기에 알려준다. 이때 패킷의 길이는 패킷 헤더를 제외하고 184 Byte이다. 패킷 오류를 알리는 신호를 받은 비디오 복호기는 정확한 오류의 발생 위치와 오류 영역을 알아야 손실된 부분에 적절한 오류 은폐 기법을 적용할 수 있다. 따라서 오류 은폐 기법은 적절한 오류 검출 작업이 선행되어야 한다.



<그림 1> 디지털 TV 코덱 구성도

디지털 TV의 압축 비트열 구조의 계층적 구조[1]를 이용하여 오류의 전파를 제한시킬 수 있다. MPEG-2 비디오 압축 구조에서는 <그림 2>와 같이 시퀀스, GOP(Group of Picture), 화면, 슬라이스, 매크로블록, 블록 순서로 정보를 포함하는 정도가 적어진다. 재동기는 동일 계층의 다음번째 헤더 정보를 찾아서 이루어지기 때문에, 각 계층의 헤더 정보가 손상되면 재동기가 이루어질 때까지 그 헤더가 이끄는 모든 데이터를 잃어버린다. 만약 슬라이스 내에서 오류가 발생하면, 복호기는 비트열 내에서 다음 슬라이스 헤더를 찾아서 복호기와 동기를 맞추어 복호화를 진행한다. 따라서 오류의 전파를 헤더와 헤더 사이로 제한시킬 수 있다.



<그림 2> 디지털 TV 영상의 계층적 구조

전송 오류는 압축 비트열의 계층적 구조를 이용하여 검출할 수 있다. 실제 오류가 발생하면 슬라이스 단위에서 오류의 발생을 알게 된다. 슬라이스 헤더는 재동기의 최소 단위이기 때문에, 오류 검출과 은폐 동작에 매우 중요하다. 오류 검출은 매크로블록의 주소값을 이용한다. 매크로블

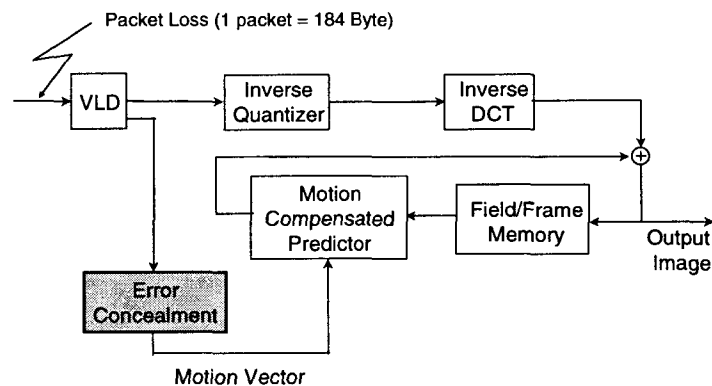
록은 매크로블록마다 고유의 값을 가지며, 이 값들은 화면의 왼쪽 상단의 매크로블록부터 오른쪽 하단의 매크로블록으로 0, 1, 2 순으로 증가한다. 따라서 복호화할 때 정상적으로 복호된 매크로블록의 주소값을 저장하였다가, 전송 오류로 인해 복호화가 진행되지 못하고 다음의 재동기 부분에서 동기가 재설정된다면, 저장된 매크로블록 주소값의 다음 위치에서 오류가 발생했다고 가정할 수 있다.

3. 오류 은폐를 고려한 MPEG-2 비디오 복호기

디지털 TV와 같이 시간에 따라 변화하는 비디오 시퀀스를 효율적으로 압축하기 위해서는, 각 화면이 가지고 있는 이차원 공간상의 중복성 뿐만 아니라, 이웃하는 화면 사이에 존재하는 시간축상의 중복 정보를 제거하는 것이 절대적으로 필요하다. 디지털 TV의 기본 부호화 방식으로 사용되는 MPEG-2 비디오 표준 방식에서는 공간상의 중복성을 줄이기 위해 DCT 변환을 수행하며, 시간축의 중복성 제거를 위해 움직임 예측과 움직임 보상 방법을 사용한다.

화면 배경과 같이 거의 변하지 않은 부분이나 움직임이 작은 물체에 대해서는 이전 화면에서의 움직임 변위만 전송하면, 전송할 데이터량을 큰 폭으로 줄일 수 있다. 이를 위해 인접 화면 사이에서 움직임 정도를 찾는 동작을 움직임 예측이라 하며, 이때 예측된 움직임의 정도를 움직임 벡터라 한다. 따라서 수신된 압축 비트열을 복호화할 때 움직임 벡터가 손실되면 화면의 복원이 불가능하게 된다. 만약 손상된 매크로블록의 움직임 벡터를 어느 정도 올바르게 추정할 수 있다면, 원래 영상과 비슷한 영상을 복원할 수 있다.

GOP 내에서 움직임 보상 동작의 기준이 되는 I-화면이나 P-화면에서 오류가 발생하면, 이러한 기준 화면을 이용하여 재생되는 다른 화면에도 오류의 영향이 전파된다. 만약 오류가 발생하여 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 제대로 추정하여 움직임을 보상할 수 있다면, 오류 전파의 영향을 최소화하여 화질 저하를 줄일 수 있다. 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 추정하여 오류를 은폐하는 방법을 고려한 MPEG-2 비디오 복호기를 <그림 3>에 나타내었다.



<그림 3> 오류 은폐를 고려한 MPEG-2 비디오 복호기

4. 움직임 벡터 추정에 의한 오류 은폐 기법

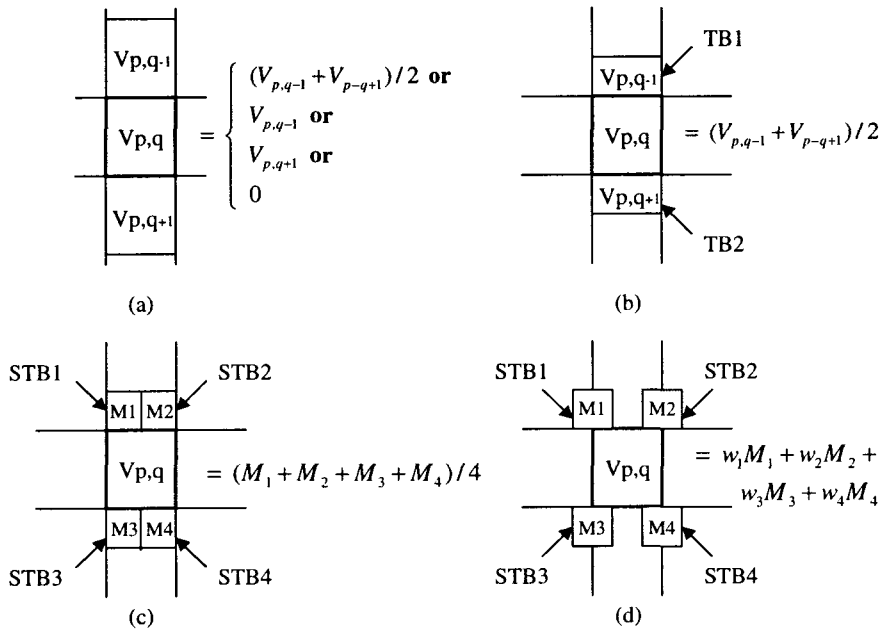
4.1 평균값을 이용한 움직임 벡터의 복원

화면 내의 물체들은 대개 같은 방향으로 움직이기 때문에, <그림 4>처럼 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 위 아래로 이웃한 매크로블록의 움직임 벡터를 이용하여 추정할 수 있다.

<그림 4(a)>에 보인 것처럼, 만약 상하 매크로블록이 모두 움직임 벡터를 가지고 있을 경우에는, 그들의 평균이 손실된 매크로블록의 움직임 벡터로 이용된다 [6]. 만약 둘 중 하나의 매크로블록만 움직임 벡터를 가졌을 경우에는, 그것을 손실 매크로블록의 움직임 벡터로 간주한다. 불행히도 어느 하나도 움직임 벡터를 갖지 못했을 경우에는, 움직임 벡터를 0으로 간주한다. 이 방법은 위와 아래의 매크로블록이 움직임 벡터를 가졌을 경우에는 우수한 성능을 나타내지만, 그렇지 않은 경우에는 매크로블록 경계 부분에서 약간 눈에 거슬리는 현상이 발생한다.

본 논문에서는 위와 아래의 움직임 벡터를 모두 이용할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. <그림 4(b)>와 <그림 4(c)>의 방법에서는, 먼저 위나 아래 매크로블록이 움직임 벡터를 가지지 않을 경우 새로운 블록을 정의하여 복호기에서 움직임 벡터를 예측한다. 즉, 아래의 매크로블록은 움직임 벡터가 있고 위의 매크로블록은 움직임 벡터가 없을 경우에, 위 매크로블록의 움직임 벡터를 추정하고, 추정된 움직임 벡터와 아래의 움직임 벡터의 평균을 손실된 매크로블록의 움직임 벡터로 사용한다. 움직임 벡터 예측의 기본 단위는 <그림 4(b)>의 방법에서는 16 x 4 또는 16 x 8 등으로 TB(Target Block)의 크기를 조절할 수 있고, <그림 4(c)>의 방법에서는 8 x 4 또는 8 x 8 크기로 STB(Small Target Block)의 크기를 가변시킬 수 있다. M은 STB의 예측된 움직임 벡터값이다. 이 방법들은 <그림 4(a)>보다는 우수한 결과를 보이지만, 계산량이 많다는 단점이 있다.

따라서 움직임 벡터의 예측 성능도 우수하고 계산량도 줄일 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 이 방법은 STB를 <그림 4(d)>와 같이 매크로블록의 경계에 엇갈리도록 정의한다. 이 경우 M2와 M4로 예측된 움직임 벡터는 다음 매크로블록에서도 이용할 수 있기 때문에 계산량을 줄일 수 있다. 또한 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 더 정밀하게 추정하기 위해 STB의 예상 움직임 벡터값에 대한 가중치 W를 이용한다. 각 STB와 이전 화면에서 M으로 예측된 부분과 차이값을 계산한 후에, 차이값이 작으면 정밀한 예측을 가정하여 차이값에 반비례하도록 W 값을 할당한다.

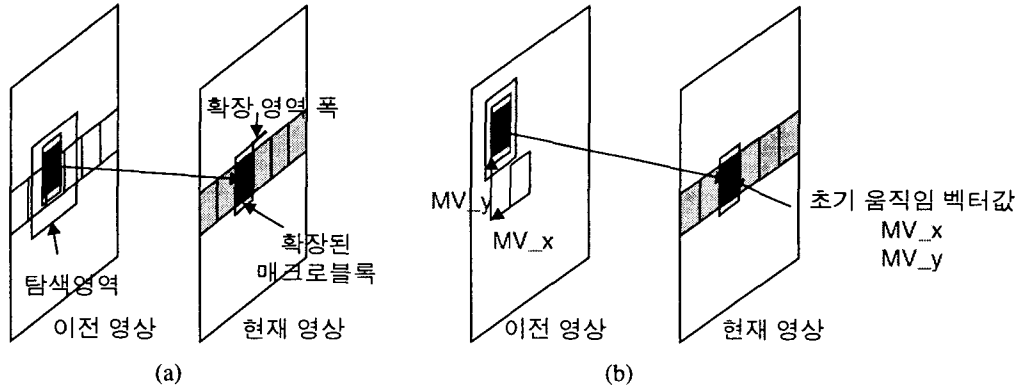


<그림 4> 평균값을 이용한 손실된 움직임 벡터 추정 방법

4.2 확장 영역을 이용한 움직임 벡터 추정

손실된 매크로블록의 위와 아래의 인접 화소값들을 손실된 매크로블록과 동일체로 간주하고 복호기에서 움직임을 예측하여 손상된 매크로블록의 움직임 벡터값을 복원한다. 즉, 복호기에서 손실된 매크로블록의 수직 방향으로 화소값을 확장하여 확장된 매크로블록을 정의하고, 정상 복원된 이전 화면의 탐색 영역 내에서 확장 영역과 가장 유사한 블록을 직접 찾는 방법이다. 따라서 확장 영역의 폭과 탐색 영역 범위의 결정이 중요하다. 즉, 손실된 매크로블록과 공간적 상관도가 높을수록 더 정확하게 찾을 수 있기 때문에, 확장 영역의 폭이 중요하다. 탐색 영역의 범위가 클수록 손실 매크로블록의 후보가 많아져서 좋은 결과를 기대할 수 있지만, 수행 시간이 늘어나는 단점이 있다. 하지만 탐색 영역이 너무 크면 오히려 더 나쁜 결과를 얻을 수도 있다.

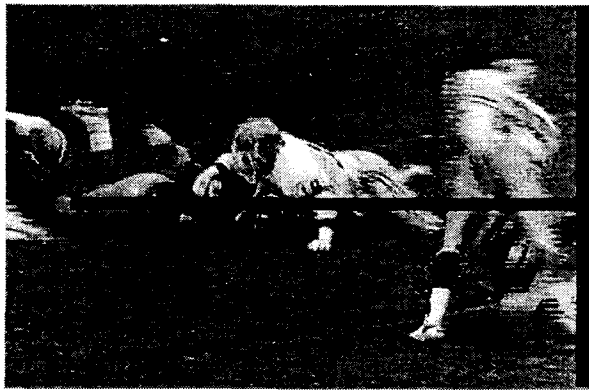
<그림 5(a)> 방법은 주변 움직임 벡터 정보들과는 무관하게 탐색 영역을 넓게 고정시키기 때문에, 수행 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. <그림 5(b)>는 <그림 4(a)>방법으로 초기 움직임 벡터 값을 설정하고, 그 위치로 이동하여 <그림 5(a)> 방법보다는 작은 탐색 영역 내에서 확장된 매크로블록과 비슷한 부분을 찾기 때문에, 움직임 벡터를 찾는 시간을 단축시킬 수 있다.



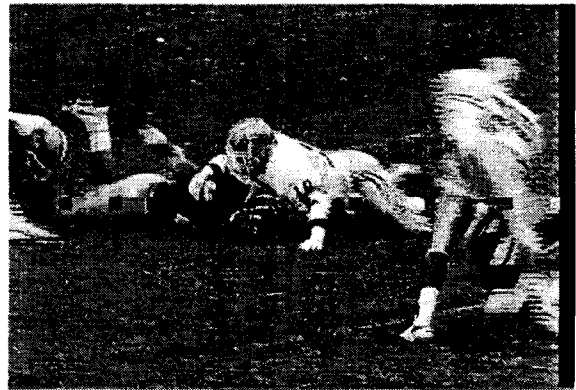
<그림 5> 확장 영역을 이용한 손실된 움직임 벡터 추정 방법

5. 실험 결과 및 결론

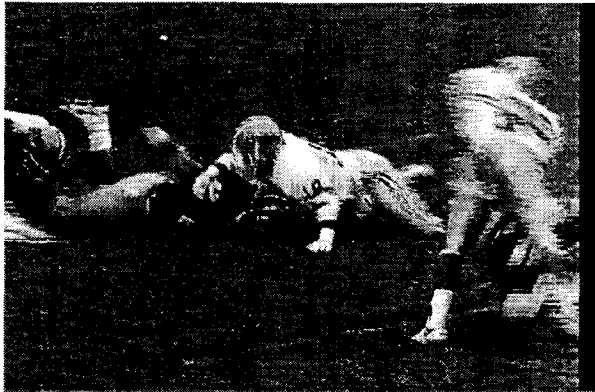
본 논문에서는 4 절에서 제안한 방법들을 S/W 로 구현하여 실험하였다. 사용된 영상은 FOOTBALL 시퀀스로 4:2:0 포맷의 720 x 480 크기이다. 제한된 구조의 슬라이스 형태를 이용하였기 때문에 한 화면내의 모든 매크로블록이 부호화되었다. 5 Mbts/sec 비트율로 부호화하였으며, 첫번째 오류가 발생하는 화면은 P-화면으로 화면 번호는 3 번이다.



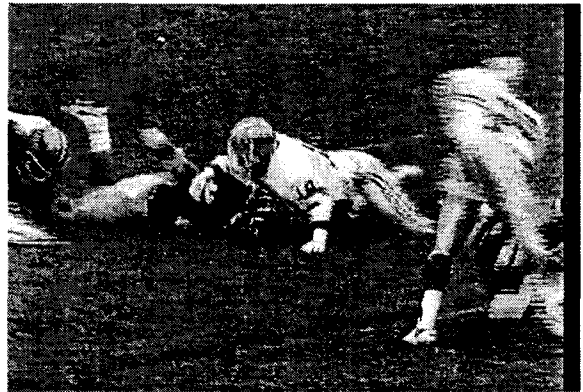
(a) 손상된 화면



(b) 움직임 벡터의 평균(4.1(a))



(c) 가중치를 이용한 방법



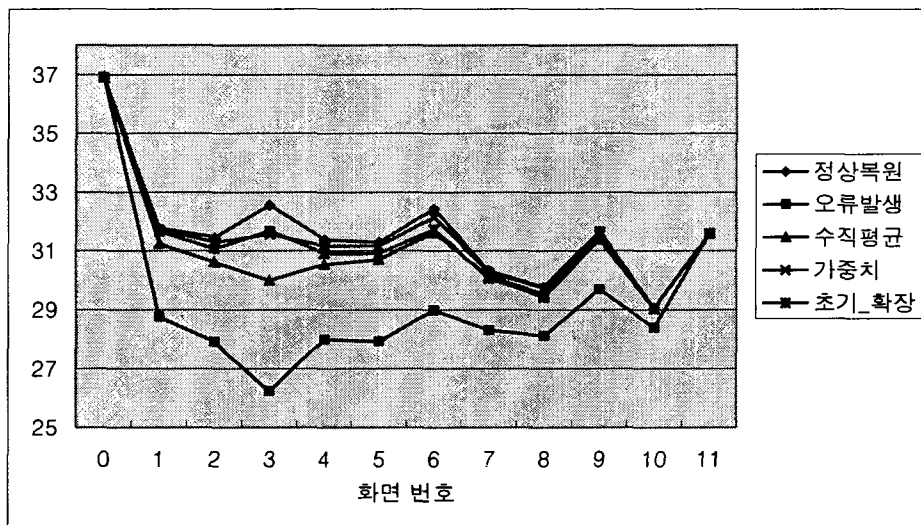
(d) 초기값을 이용한 확장 영역 움직임 추정

<그림 6> 시각적 비교

오류 은폐는 발생한 오류가 시각적으로 보이지 않게 숨기는 것이다. 따라서 오류 은폐 방법의 성능은 복원된 화면으로 판별하는 것이 중요하다. <그림 6>에 오류가 발생한 P-화면과 위와 아래 매크로블록의 움직임 벡터의 평균을 이용하여 복원한 화면, 가중치를 이용한 움직임 벡터 추정

방법을 이용하여 복원한 화면, 초기 움직임 벡터값을 설정하고 확장 영역을 이용하여 움직임 벡터를 추정하는 방법에 의해서 복원된 화면을 나타냈다. 가중치를 이용한 움직임 벡터 추정 방법에서 STB의 크기는 8×4 로 하였다. 초기 움직임 벡터값을 설정하고 확장 영역을 이용하여 움직임 벡터를 추정하는 방법은 초기 움직임 벡터값을 이용할 수 없을 때 탐색 영역의 범위는 $[+25 \sim -25]$ 이고, 초기값을 이용할 수 있을 때 탐색 영역의 범위는 $[+5 \sim -5]$ 이고, 확장 영역의 폭은 1이다.

제안된 방법들에 의해서 복원된 영상들의 PSNR을 <그림 7>에서 비교하였다. 수평축은 화면 번호이다. 정상 복원된 결과와 오류가 발생한 경우의 결과를 비교해 보면 P-화면에만 오류가 발생했지만, P-화면을 기준으로 부호화한 앞뒤의 화면으로 오류가 전파되는 현상을 볼 수 있다. 시각적 비교와 PSNR 값으로부터 가중치를 이용한 방법과 초기값을 이용한 확장 영역 움직임 추정 방법이 우수한 성능을 보였다. 이러한 방법은 수행 시간을 줄이면서 우수한 성능을 나타내므로, 디지털 TV나 고선명 TV 수신기에 실제 적용할 수 있다.



<그림 7> PSNR 비교

6. 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광네트워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금과 LG 전자(주) DTV 연구소의 연구비 지원금에 의한 것입니다.

참고 논문

1. ISO/IEC IS 13818-2 (MPEG-2 Video): Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, April 1996.
2. W. Kwok and H. Sun, "Multi-Directional Interpolation for Spatial Error Concealment," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 39, No. 3, pp. 455-460, Aug. 1993.
3. S. Aign and K. Fazel, "Temporal and Spatial Error Concealment Techniques for Hierarchical MPEG-2 Video Codec," *IEEE International Conference on Communication*, Vol. 3, pp. 1778-1783, 1995.
4. J.W. Suh and Y.S. Ho, "Error Concealment Based on Directional Interpolation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 43, No. 3, pp. 295-302, Aug. 1997.
5. Q. Zhu, Y. Wang and L. Shaw, "Coding and Cell-Loss Recovery in DCT-Based Packet Video," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 248-258, June 1993.
6. H. Sun, K. Challapali and J. Zdepski, "Error Concealment in Digital Simulcast AD-HDTV Decoder," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 38, No. 3, pp. 108-116, Aug. 1992.