

논문 2005-42SP-2-10

H.264/AVC를 위한 선택적 시간축 에러 은닉 방법

(Selective temporal error concealment method for H.264/AVC)

정 봉 수*, 최 웅 일*, 전 병 우**, 김 명 돈***, 최 송 인***

(Bongsoo Jung, Woongil Choi, Byeungwoo Jeon, Myung-Don Kim, and Song-In Choi)

요 약

본 논문은 H.264/AVC 비디오 비트스트림의 전송 에러 복원에 알맞은 선택적 시간축 에러 은닉 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 손실 매크로블록이 전경인지 배경인지 판단한 결과에 따른 해당 에러 은닉방법을 수행한다. 손실 블록이 배경으로 판단된 경우에는 단순 대체 기법으로 은닉하며, 손실 블록이 전경으로 선택되었을 경우에는 다중 참조영상에서 추정된 블록들의 유사성을 판단하여 추정블록들을 선택적으로 평균하여 은닉을 한다. 제안된 알고리즘은 CDMA2000 (UMTS)망의 무선(air) 인터페이스에서 발생하는 에러 모의실험을 통하여 H.264/AVC의 FMO 부호화에서 H.264/AVC의 테스트 모델상의 에러 은닉 알고리즘보다 평균 1.18dB 성능 향상이 있으며, N-Slice 부호화에서는 평균 0.33dB의 성능 향상을 나타내었다. 또한 주관적 화질면에서도 제안된 방법이 다른 에러 은닉 알고리즘보다 우수함을 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a new selective temporal error concealment algorithm best suited for H.264/AVC. The proposed algorithm performs selective temporal error concealment depending on whether the lost block is at background or foreground. If the corrupted macroblock is decided as at background, then the simple temporal replacement is performed. Also we propose replacing a lost block at foreground with the selective average of respectively estimated blocks from the multiple reference frames. This paper supposes error-corrupted H.264/AVC video bitstreams over CDMA2000 (or UMTS) air interface. It is shown that under Flexible Macroblock Ordering (FMO) coding of H.264/AVC, the proposed algorithm provides PSNR gain up to 1.18dB compared to built-in algorithm in the H.264/AVC test model. In addition, the proposed error concealment method has average PSNR improvement of 0.33dB compared with that under N-slice coding mode. The proposed algorithm also provides better subjective video quality than other conventional error concealment algorithms.

Keywords : error concealment, FMO, N-slice, H.264/AVC, CDMA2000

I. 서 론

최근의 영상압축 기술 발달과 인터넷, 이동 통신의 급속한 성장에 힘입어, 고품질의 멀티미디어 서비스를 다양한 전송채널을 통해 서비스하는 것이 가능해 지고 있다. 일반적으로, H.263, H.264, MPEG-1/2/4와 같은 대부분의 영상 부호화 기술은 가변장 부호화(VLC: Variable Length Coding)와 공간 및 움직임 예측 방법

(Spatial and Motion Prediction)과 같은 효율적인 영상 압축 방법을 이용하고 있다. 그러나, 가변장 부호화 기술은 에러가 있는 채널환경에 매우 취약하여 단지 한 비트 에러에 의해서도 영상 복호화 도중 동기를 잃어버릴 수 있으며, 또한, 예측 부호화 기술은 한번 발생한 에러가 전체 영상을 통해 전파되는 단점을 갖고 있다^[8]. 이로 인해 채널 전송, 저장매체 기록 또는 읽기 중에 발생하는 에러는 복원된 영상의 화질 저하에 많은 영향을 끼치게 된다. 따라서 이와 같이 피할 수 없는 전송 에러에 효과적으로 대처하기 위한 에러 강인 영상 부호화, 복호화 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

일반적으로 에러 강인 기술은 에러 검출, 재 동기화, 데이터 복원, 에러 은닉 기술로 분류 된다. 이 중 에러

* 학생회원, ** 정회원, 성균관대학교

(Sungkyunkwan University)

*** 정회원, 한국전자통신연구원

(Electronics and Telecommunications Research Institute)

접수일자: 2004년10월4일, 수정완료일: 2004년11월10일

은닉 기술은 에러 채널이나 패킷 손실 환경에서 비디오 데이터 간의 높은 상관도를 이용하여 손실 블록을 은닉한다. 이러한 에러 은닉(Error Concealment) 방법은 정상적으로 복원된 시간적 혹은 공간적 이웃 블록 정보를 이용하여 손상된 블록을 완벽하게 복원할 수는 없지만, 인간의 눈에 최대한 띄지 않도록 은닉시킬 수 있다. 일반적으로, 에러 은닉 방법은 복호기에 적용하여 손실된 블록 주변의 정보를 이용하여 효과적으로 은닉하는 방법이며, 또한, 부호화기의 변형이 필요 없고, 부호화 비트량의 증가를 가져오지 않는다는 장점이 있다. 에러 은닉 알고리즘은 크게 시간축 에러 은닉(TEC: Temporal Error Concealment) 방법과 공간축 에러 은닉(SEC: Spatial Error Concealment) 방법으로 구분할 수 있다. 공간축 에러 은닉 방법은 공간 영역에서 이웃 화소들 사이에는 갑작스러운 밝기 변화가 없다고 가정하고, 주변이 올바르게 복호된 블록들의 화소값을 이용하여 보간하고, 시간축 에러 은닉 방법은 시간적으로 연속된 화면 사이에는 유사성이 높은 성질을 이용하여 현재 영상에서 손상된 블록에 대한 참조 영상에서 가장 유사한 블록을 찾아 은닉하는 방법이다. 여기서, 시간축 에러 은닉 방법은 전송 채널의 에러로 인해 발생하는 영상의 손실된 부분의 주관적 화질을 최대한 개선하기 위한 방법으로서, 그림 1과 같이 손실된 블록 주변의 올바르게 복호된 블록 정보를 이용하여 참조 영상에서 가장 유사한 블록의 위치를 찾는 움직임 벡터 예측과 해당 움직임 벡터 지점의 블록을 손실 블록으로 대체하는 움직임 보상의 단계로 나눌 수 있다^[7].

일반적으로 시간축 에러 은닉 방법은 손상된 블록과 대응 되는 이전 프레임의 해당부분으로 단순 대체하는 방법, 손상된 블록의 움직임 벡터를 구하기 위해 단순히 이웃 블록의 움직임 벡터를 사용하는 방법과, 손실 블록 주변의 화소 값을 이용하여 움직임 벡터를 탐색하여 움직임 보상하는 움직임 보상 에러 은닉 방법이 있다. 이러한, 기존의 에러 은닉 방법은 한 장의 참조 프레임을 이용하여 후보 움직임 벡터 지점이나 탐색영역에서 손실 블록의 움직임 벡터를 복원하였다. 하지만, H.264/AVC의 경우 다중 참조 프레임을 이용하여 움

임 보상을 하기 때문에 시간축 에러 은닉 방법을 수행할 때 여러장의 참조 프레임을 이용하면 효과적으로 손실 블록을 은닉할 수 있다. 이러한 다중 참조 영상을 이용한 기존의 방법은 각각의 참조 영상에서 찾은 매크로 블록을 단순 평균하거나 가중평균하여 에러를 은닉하는 시간축 에러 은닉 방법^[3]이지만, 각 참조 영상에서 찾은 매크로블록의 유사성이 떨어질 경우, 이들을 평균하여 은닉하는 방법은 오히려 좋지 못한 성능을 나타내는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 기존의 에러 은닉 방법은 탐색 영역에서 손실 블록 주변의 올바르게 복호된 블록을 이용한 블록 정합 방법을 손실된 블록에 일관적으로 적용하였다. 하지만, 손실 블록의 주변에 올바르게 복호된 블록이 개수가 적고, 복잡도가 적은 배경 영상의 경우 오히려 잘못 탐색하는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 H.264/AVC의 다중 참조 영상을 이용한 새로운 선택적 시간축 에러 은닉 방법을 제안한다. 제안 알고리즘은 손실 블록이 전경(FG)과 배경(BG)중 어느 곳에 속하는지 판단하여 적용적으로 시간적 에러 은닉 방법을 선택하고, 전경(FG)의 경우 다중 참조 영상에서 찾은 손실 블록의 움직임 보상 에러 은닉을 선택적으로 수행함으로써 보다 효율적인 움직임 보상을 수행할 수 있는 선택적 에러 은닉 알고리즘이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 시간적 에러 은닉 방법을 기술 하고, III장에서는 제안 알고리즘을 서술한다. IV장에서는 제안 알고리즘의 실험 결과를 보이고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 기존의 시간축 에러 은닉 방법

1. 단순 대체 기법

가장 간단하면서 일반적으로 많이 사용되는 단순 대체 기법(TR)은 손실된 블록의 움직임 벡터를 (0,0)으로 간주하여 은닉하는 방법이다. 이 방법은 현재 프레임과 이전 프레임간의 움직임이 거의 없다는 가정하에 현재 프레임의 손실 블록과 동일한 위치에 있는 이전 프레임의 블록을 단순히 복사해 오는 방법으로, 배경과 같이 움직임이 거의 없는 영상에서는 효과적이지만, 움직임이 많은 영상에서는 손실된 블록을 제대로 은닉하기 어렵다.

2. 경계 정합 알고리즘

경계 정합 알고리즘 (BMA : Boundary Matching Algorithm)^[1]은 손상된 블록을 대체할 블록데이터를 이

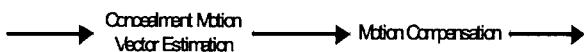


그림 1. 시간축 에러 은닉 단계
Fig. 1. The step of temporal error concealment.

전 영상에서 찾아오되 올바르게 복호된 이웃 블록과 블록 경계선에서의 차이가 최소화되도록 대체 블록을 찾아오는 방법이다. 이때 블록 경계에서의 차이를 구하기 위해 그림 2처럼 손상된 블록과 맞닿은 정상적으로 복원된 화소값들과 후보 움직임 벡터 위치에서 가져온 블록의 최외각 화소값들을 이용한다. 경계 정합 알고리즘에서 사용하는 후보 움직임 벡터들은 손실 블록과 같은 위치에 있는 이전 프레임 블록의 움직임 벡터 (Collocated MV), 이웃 블록의 움직임 벡터의 평균값 (Average MV), 이웃 블록의 움직임 벡터의 중간값 (Median MV), (0,0) 움직임 벡터 (Zero MV), 이웃 블록의 움직임 벡터값(L,T,B)이다.

블록 경계의 유사성 판단은 Side Match Distortion (SMD)을 이용한다. 후보 움직임 벡터들을 이용하여 움직임 보상된 블록 (\hat{f})의 경계 화소값과 이웃 블록의 경계 화소값의 차이에 의해서 SMD를 구하여 최소의 SMD를 갖는 후보 움직임 벡터를 손실 블록의 움직임 벡터로 하여 움직임 보상을 한다. SMD 는 식 (1)에 정의되어 있다.

$$\begin{aligned}
 C_T &= \sum_{i=0}^{N-1} (\hat{f}(m, n+i) - f(m-1, n+i))^2 \\
 C_L &= \sum_{i=0}^{N-1} (\hat{f}(m+i, n) - f(m+i, n-1))^2 \\
 C_B &= \sum_{i=0}^{N-1} (\hat{f}(m+N-1, n+i) - f(m+N, n+i))^2 \\
 C &= C_T + C_L + C_B \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 \hat{f} 은 후보 움직임 벡터를 이용하여 이전 프레임에서 추정된 블록이고 f 는 현재 프레임이다. $C_{T,L,B}$ 는 이전 프레임에서 추정된 블록과 인접한 현재 프레임

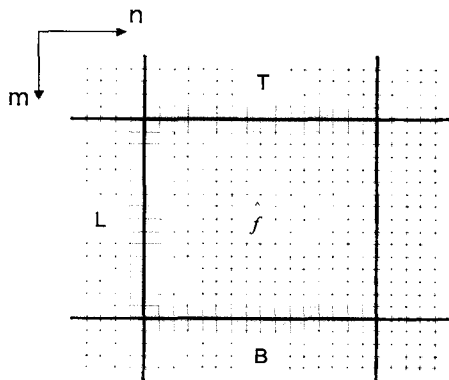


그림 2. 경계 정합 알고리즘
Fig. 2. Boundary matching algorithm.

의 위쪽, 왼쪽, 아래쪽 블록 각각의 경계 정합 왜곡이며, C 는 각 경계 정합 왜곡의 합으로 그 값이 최소가 되는 후보 움직임 벡터를 손실 블록의 움직임 벡터로 복원하여 움직임 보상을 수행한다. 단순히 이웃 블록의 움직임 벡터를 이용하는 방법보다 경계 정합 알고리즘이 성능은 좋지만 영상의 에지 부분이 손실 블록과 주변 블록에 걸쳐 있는 경우 경계 정합 왜곡 오차가 크게 나타나기 때문에 최적의 움직임 벡터를 찾는 데 어려움이 있다.

3. 복호기 움직임 벡터 추정 방법

복호기 움직임 벡터 추정 방법(DMVE: Decoder Motion Vector Estimation)^[2]은 기존의 경계 정합 알고리즘이 이전 프레임에서 추정된 블록의 최외곽 화소와 손실된 블록과 맞닿은 정상 복원된 화소값들과의 연속성을 판단하는 것과는 달리, 손실 블록의 경계 바깥쪽에 있는 화소와 이전 프레임에서 움직임 보상된 블록의 경계 바깥쪽에 있는 화소간의 유사성을 판단하는 방법이다. 따라서 경계정합 알고리즘은 손실 블록의 움직임 벡터를 추정하기 위해 공간적 상관도를 이용하지만, 복호기 움직임 벡터 추정 방법은 시간적 상관도를 이용한다. 그림 3은 복호기 움직임 벡터 추정 방법을 보여준다. 먼저 제한된 탐색 영역(SR: Search Range)내에서 위쪽, 왼쪽, 아래쪽의 바깥 부분에서 화소들의 차이 값의 제곱의 합을 구한다. 그리고 이 값이 최소값을 갖는 위치가 손상된 블록의 움직임 벡터값이 되며, 이를 이용하여 손상된 블록을 움직임 보상한다.

이 방법은 탐색영역의 크기와 예측 시 유사성 판단을 위한 확장 영역의 폭에 따라 에러 은닉 기법의 성능에 차이가 나타난다. 확장 영역의 폭이 클수록 좋은 성능

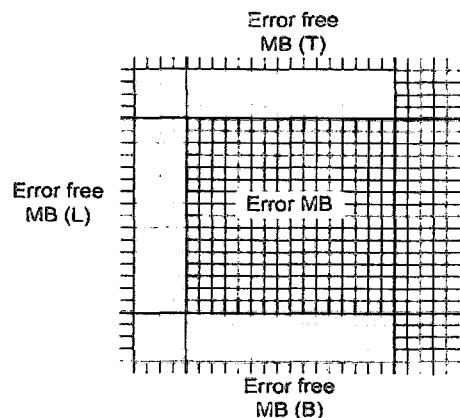


그림 3. 복호기 움직임 벡터 추정 방법
Fig. 3. Decoder motion vector estimation.

을 나타내는 반면 계산량의 증가를 가져온다.

4. H.264 참조 복호기의 에러은닉 방법

H.264/AVC에서는 표준화 대상은 아니지만 효과적인 H.264 코덱 평가를 위한 테스트 모델에 에러 은닉 기술도 포함하고 있다. 현재 H.264에서 사용되고 있는 에러 은닉 방법^[6]은 다음과 같다.

한 프레임에는 여러 개의 슬라이스(slice)가 존재할 수 있는데 이 슬라이스 중에서 일부 슬라이스가 오류발생으로 인하여 손실될 경우, 오류가 발생한 해당 매크로블록을 에러 은닉 기술을 이용하여 차례로 복원하게 된다. 오류가 발생한 매크로블록의 복원 순서는 픽처 경계의 매크로블록부터 복원하기 시작하여 중앙에 있는 매크로블록을 마지막으로 복원한다. 그림 4는 복호기에서 매크로블록의 상태를 나타내는 정보로 에러가 없는 매크로블록의 경우 '3'으로, 손실된 매크로블록은 '0', 그리고 손실 매크로블록을 복원한 매크로블록은 '2'로 표시한다. 손실 매크로블록의 복원 순서는 먼저 가장 왼쪽에 있는 매크로블록 열(column)을 복원한 후, 그 다음 가장 오른쪽 매크로블록 열을 복원하게 된다. 이런 식으로 좌, 우를 번갈아 가면서 슬라이스 외부에서 내부쪽으로 차례로 복원해 나간다.

H.264 참조 복호기의 에러 은닉 알고리즘은 인트라 프레임에서 손실된 매크로블록의 경우 매크로블록 기반 화소 공간 브간법으로 은닉^[6]한다. 인트라 프레임의 경우 올바르게 복호된 주변 매크로블록의 움직임 벡터를 후

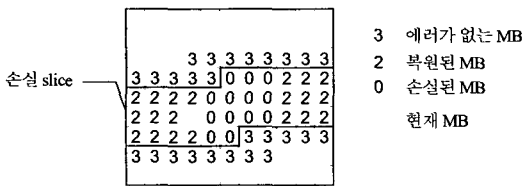


그림 4. 복호기의 매크로블록 상태도
Fig. 4. The macroblock status map of decoder.

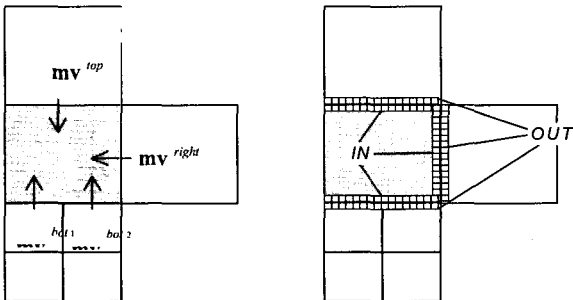


그림 5. 예측을 위한 움직임 벡터의 선택
Fig. 5. Selecting the motion vector for prediction.

보 움직임 벡터로하여 경계정합방법을 수행한다. 이때 각 후보 움직임 벡터는 그림 5와 같이 최소 8x8 단위로 하고, 4x4로 나누어져 있을 경우 두 움직임 벡터의 평균값을 해당 8x8단위의 움직임 벡터로 한다. 이렇게 계산된 주변 블록의 후보 움직임 벡터들을 이용하여 경계정합 알고리즘(BMA)과 같은 방법으로 손실된 매크로블록의 움직임 벡터를 복원한다. 이때 각 후보 움직임 벡터가 가리키는 참조 프레임을 이용한다. 블록 경계의 유사성 판단은 SAD(Sum of Absolute Difference)를 계산하여 가장 작은 SAD값을 가지는 움직임 벡터지점의 매크로블록으로 손실된 매크로블록을 대체한다.

III. 제안하는 시간축 에러 은닉 방법

그림 6은 제안한 에러 은닉 알고리즘의 전체 블록도를 보여준다. 제안한 에러 은닉 알고리즘은 손실된 블록이 배경(Background) 또는 전경(Foreground) 어느 곳에 속하는지 판단하는 Stage 1과 판단 결과에 따라 적합한 에러 은닉 알고리즘을 수행하는 Stage 2의 두 단계로 나눌 수 있다. 손실된 블록이 배경으로 판단된 경우 Stage 2에서 참조 영상의 해당 위치의 블록 데이터를 복사하여 손실 블록을 복원하는 단순 블록 대체 알고리즘을 수행한다. 또한 손실된 블록이 전경으로 판단된 경우, 해당 손실된 블록은 움직임이 있기 때문에

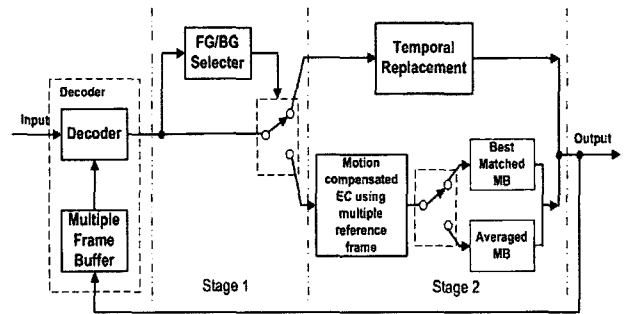


그림 6. 제안 알고리즘의 블록도
Fig. 6. Block diagram of the proposed algorithm.

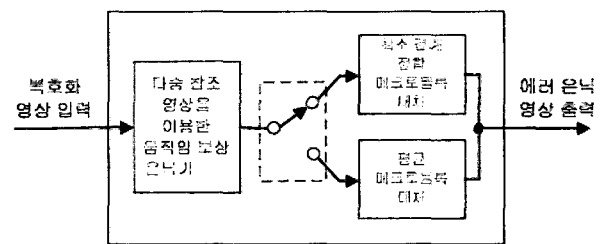


그림 7. 다중 참조 움직임 보상 에러 은닉기
Fig. 7. Motion compensated error concealment using multiple reference frame.

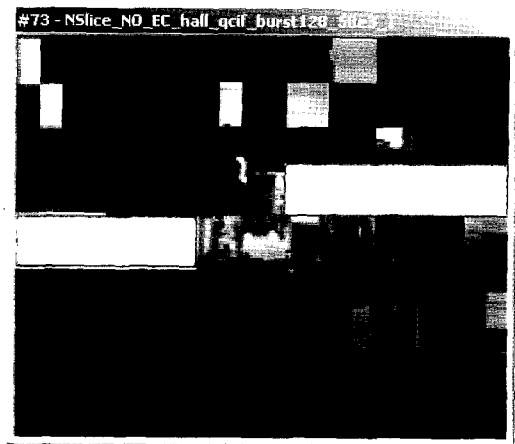
본 논문에서 제안하는 다중참조 움직임 보상 에러 은닉 과정을 수행한다.

그림 7은 Stage 2의 에러 은닉 알고리즘인 다중 참조 움직임 보상 에러 은닉 알고리즘의 블록도를 나타낸다. 그림 7에서 다중 참조 프레임 각각에 대하여 탐색 영역에서 움직임 벡터를 추정하여 추정된 매크로블록 주변의 정합 오류간의 차가 크면 각 참조 프레임에서 찾은 블록 중 최소 정합 오류값을 가지는 매크로블록으로 대체한다. 또한 각 참조 프레임에서 찾은 블록의 정합 오류간의 차가 작으면 은닉 블록들은 유사하기 때문에 매크로블록들을 평균하여 손실 블록으로 대체한다.

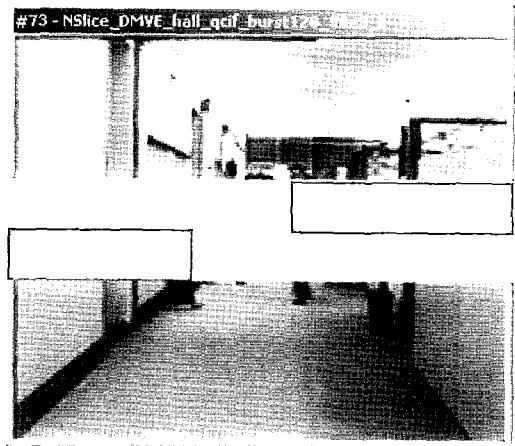
1. 손실 블록의 배경(BG) 또는 전경(FG) 판단

복호기 움직임 벡터 방법^[2]과 같이 탐색 영역에서 손실 블록 주변의 올바르게 복호된 블록을 이용한 블록 정합 방법은 다른 에러 은닉 알고리즘과 비교하여 좋은 성능을 나타낸다. 하지만 손실 블록의 주변에 올바르게 복호된 블록의 개수가 적고 복잡도가 적은 배경 영상과 같은 경우 오히려 잘못 탐색하는 경우가 발생한다. 이에 대한 한 예로 그림 8은 에러가 발생한 영상을 보여 준다. 새롭게 에러가 발생한 슬라이스 부분이 직사각형으로 표시되어 있다. 여기서 그림 8 (a)는 어떠한 에러 은닉 알고리즘도 적용하지 않은 것이고 (b)는 참조영상에서 ±16 탐색 범위에서 블록 정합 방법으로 은닉한 것이다. 그리고 (c)는 전경과 배경을 분리 판단하여 선택적으로 에러 은닉한 영상이다. 그림 8 (b)에서 손실된 블록의 주변 블록의 개수가 적으며 복잡도가 적은 배경에 발생한 에러는 잘못 은닉한 결과를 볼 수 있다. 반면 전경과 배경을 판단하여 선택적으로 수행한 (b)의 경우 올바르게 은닉된 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 에러 은닉을 수행하기 전에 손실 블록의 주변에 올바르게 복호된 블록의 정보를 이용하여 움직임이 있는 전경(FG)과 움직임이 없는 배경(BG)을 구분하여 은닉한다.

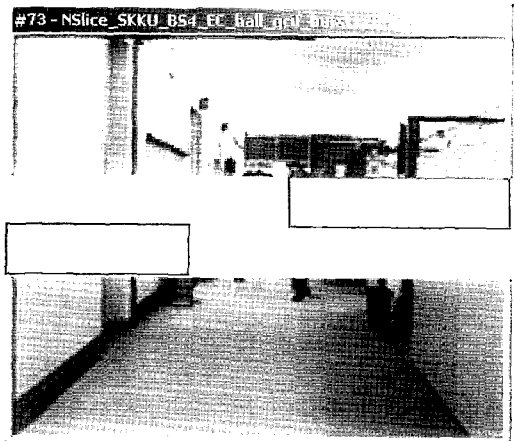
전경(FG)과 배경(BG)의 판단은 손실된 블록 주변의 올바르게 복호된 블록의 움직임 벡터값을 이용하여 판단할 수 있다. 하지만 주변에 올바르게 복호된 블록의 움직임 벡터를 이용할 경우 한 영상의 블록 개수의 움직임 벡터값을 저장해야할 추가적인 메모리가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 움직임 벡터를 저장할 추가적인 메모리 없이 주변에 올바르게 복호된 블록의 화소들과 대응되는 이전 프레임의 화소간의 블록 정합 오류를 계산하여 판단한다. 블록 정합은 그림 9와 같이 손



(a) 에러로 손상된 프레임



(b) 블록 정합 은닉



(c) 전경과 배경을 판단하여 은닉

그림 8. 복원 영상 비교

Fig. 8. comparison of error concealed sequence.

실 매크로블록 주변의 제대로 복호된 매크로블록들의 M개 행이나 M개 열의 화소를 이용한다. 정합 오류 평가기준은 식 (2)의 SAD(Sum of Absolute Difference)를 사용한다.

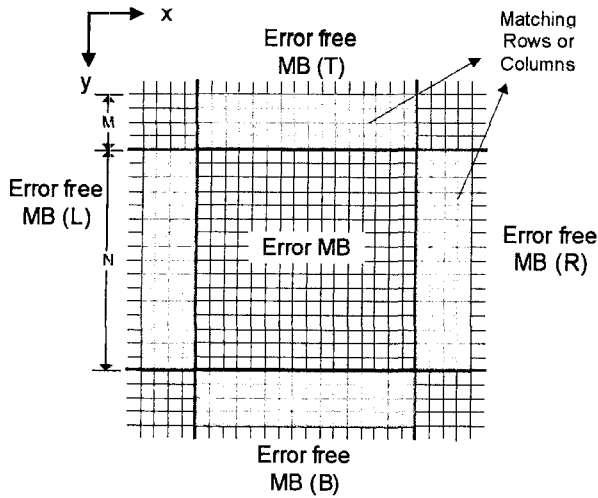


그림 9. 유사성 판단에 사용되는 화소

Fig. 9. Rows or columns used in similarity matching.

$$SAD_T = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_t(x+i, y-M+j) - B_{t-1}(x+i, y-M+j)|$$

$$SAD_L = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_t(x-M+j, y+i) - B_{t-1}(x-M+j, y+i)|$$

$$SAD_B = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_t(x+i, y+N+j) - B_{t-1}(x+i, y+N+j)|$$

$$SAD_R = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_t(x+N+j, y+i) - B_{t-1}(x+N+j, y+i)|$$

$$T_{ACT} = \left(\sum_{i=\{T,L,B,R\}} SAD_i \right) / \text{numOfPredBlock} \quad (2)$$

여기서 $B_t(x, y)$ 는 손실 매크로블록의 위치이고, $B_{t-1}(x, y)$ 는 이전 프레임의 대응 위치의 매크로블록을 나타낸다. $SAD_{T,L,B,R}$ 은 각각 위쪽, 왼쪽, 아래쪽, 그리고 오른쪽의 올바르게 복호된 블록과 대응되는 이전 프레임의 화소간의 블록 정합 오류를 나타낸다. 그리고 (i, j) 는 손실 매크로블록 주변의 화소 위치를 나타내며 제대로 복호된 매크로블록의 화소만 이용하여 식 (2)와 같이 시간축 영상 활동도 T_{ACT} 를 계산한다. 이때 손실 블록 주변의 제대로 복호된 매크로블록의 개수인 numOfPredBlock 으로 SAD합을 나누어 T_{ACT} 를 정규화한다.

$T_{ACT} < T1$ 인 경우, 손실 매크로블록을 배경(BG)으로 간주하고, 가장 간단한 단순 대체 에러 은닉 방법을 사용하여 손실 매크로블록을 대체한다. 그렇지 않은 경우는, 움직임이 있는 전경으로 간주하여 다중 참조 프레임에 이용한 움직임 보상 에러 은닉을 수행하여 좀더

정확한 에러 은닉을 수행한다.

기존의 움직임탐색 방법^[9]에서 매크로블록이 움직임이 없는(0,0)의 움직임 벡터인 경우 SAD가 대부분 512값보다 적게 나타났다. 따라서 본 논문에서는 배경과 전경을 판단하기 위해 사용한 고정된 임계값 T1을 위쪽, 왼쪽, 아래쪽 그리고 오른쪽의 정합 오류값을 정규화하였기 때문에 512값을 4로 나눈 128의 고정된 값으로 설정하였다.

2. 다중 참조 영상을 이용한 움직임 보상 에러 은닉

여러 개의 참조 프레임을 이용하여 손실 매크로블록을 복원할 때는 각 참조 프레임의 탐색 영역에서 정합 오류가 가장 작은 위치를 탐색하여 손실 매크로블록을 대체할 수 있다. 기존 연구^[3]에서는, 각 참조 프레임에서 찾은 매크로블록들을 평균하거나 가중 평균하여 손실 블록을 대체하는 방법을 제안하였다. 하지만 각 참조 프레임에서 찾은 움직임 벡터 지점간의 정합 오류의 차가 큰 경우, 추정된 매크로블록간의 유사성이 떨어지기 때문에 매크로블록들을 평균하여 손실 매크로블록을 대체하면 오히려 좋지 않은 성능을 나타낼 수 있다. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 그림 10과 같이 3개의 참조 프레임을 사용한다고 가정하고, 각각의 탐색 영역에서 움직임 벡터를 추정한다. 이때 손실 블록의 움직임 벡터는 1/4화소 정확도로 복원한다. 참조 프레임 각각에서 추정된 움직임 벡터에 위치한 매크로블록 주변의 정합 오차를 비교하여 크기 순서로 나열한다. 여기서 SAD_1 은 가장 작은 정합 오차를 가지는 참조 프레임의 매크로블록의 SAD값이고, SAD_2 는 그 다음으로 작은 정합 오차를 가지는 참조 프레임의 매크로블록의 SAD값이다. 그리고 $\text{diffSAD} = SAD_2 - SAD_1$ 를 계산한다. 정합 오차값 간의 차인 diffSAD 가 임계값(T2)보다 작으면 추정된 매크로블록간의 유사성이 크다고 판단하여 손실된 매크로블록을 식(3)의 \widehat{MB} 으로 대체한다.

$$\widehat{MB} = (\widehat{MB}_1 + \widehat{MB}_2) / 2 \quad (3)$$

여기서 \widehat{MB}_1 은 SAD값이 가장 작은 매크로블록이고, \widehat{MB}_2 는 SAD값이 그 다음으로 작은 매크로블록이다. 반면 diffSAD 가 임계값(T2)보다 크면 추정된 매크로블록간의 유사성이 떨어지기 때문에 손실된 매크로블록을 가장 작은 SAD를 갖는 매크로블록으로 대체한다. 식 (4)는 각 참조 프레임에서 손실 매크로블록의 움직

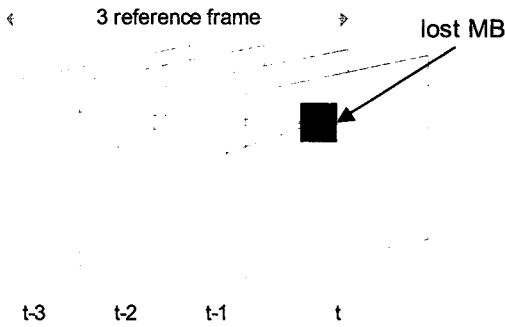


그림 10. 다중 참조 프레임을 이용한 에러 은닉
Fig. 10. Error concealment using multiple reference frame.

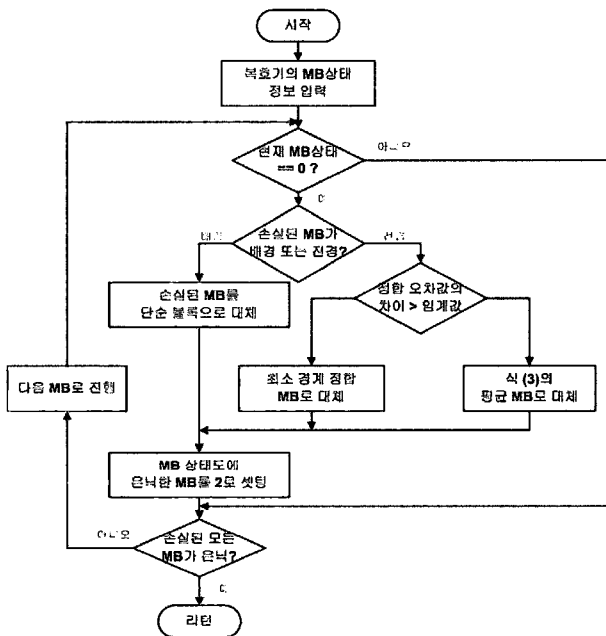


그림 11. 선택적 에러 은닉 방법의 흐름도
Fig. 11. Flow chart of selective temporal error concealment.

임 추정 시 사용하는 정합 오류의 계산식이다.

$$SAD_T = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_i(x+i, y-M+j) - \hat{B}_{refX}(x+i+dx, y-M+j+dy)|$$

$$SAD_T = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_i(x-M+j, y+i) - \hat{B}_{refX}(x-M+j+dx, y+i+dy)|$$

$$SAD_T = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_i(x+i, y+N+j) - \hat{B}_{refX}(x+i+dx, y+N+j+dy)|$$

$$SAD_T = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} |B_i(x+N+j, y+i) - \hat{B}_{refX}(x+N+j+dx, y+i+dy)|$$

$$SAD(dx, dy) = \left(\sum_{i \in \{T, L, B, R\}} SAD_i(dx, dy) \right) / numOfPredBlock \quad (4)$$

여기서 $\hat{B}_{refX}(dx, dy)$ 는 참조 프레임 X에서의 매크로블록의 위치이다.

그림 11은 제안한 시간축 에러 은닉 알고리즘의 동작

흐름도로서, 에러 은닉 방법의 수행 순서를 요약 하면 다음과 같다.

Step 1: 에러가 포함된 압축 영상 데이터를 입력받고, 이후, 복호기의 매크로블록의 상태 정보를 입력 받는다.

Step 2: 손실된 매크로블록 주변의 올바르게 복호된 매크로블록의 4개 행이나 열의 화소를 이용하여 T_{ACT} 를 계산한다. T_{ACT} 가 임계값($T1=128$) 보다 작으면 Step 3을, 그렇지 않으면 Step 4를 수행한다. 또한 손실된 매크로블록 주변에 올바르게 복호된 매크로블록이 없으면 Step 3을 수행한다.

Step 3: 단순대체기법(TR: Temporal Replacement)을 수행하여 손실된 매크로블록을 대체한 후 Step 6을 수행한다.

Step 4: 다중 참조 영상을 이용한 에러 은닉기를 이용하여 3개의 참조 프레임 각각에 대해 탐색영역(± 16)에서 탐색을 수행하여 가장 작은 정합 오류를 가지는 매크로블록들을 추정하고, 정합오류의 크기순서로 나열한다.

Step 5: 다중 참조 영상중 첫번째와 두번째 작은 정합오류를 가지는 SAD_1, SAD_2 의 블록을 취하여 $diffSAD$ 가 임계값($T2=100$)보다 크면 SAD_1 값을 가지는 매크로블록을 손실된 매크로블록으로 대체한다. 그렇지 않으면 두 매크로블록을 평균하여 손실된 매크로블록을 대체한다.

Step 6: 손실된 모든 매크로블록을 은닉할 때까지 Step1에서 Step4를 반복 수행한다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 패킷 기반 제 3세대 이동 통신망(3G network) 하에서의 비디오 서비스를 가정하여, 3GPP 또는 3GPP2를 위한 RTP/IP 전송 프로토콜 환경에서의 비디오 전송을 위해 ITU-T VCEG에서 정한 실험 조건 및 시뮬레이터 소프트웨어를 사용하여 모의실험을 수행하였다^[4]. 본 실험에서는 라우터에서의 전송 트래픽에 의한 패킷 손실은 거의 없으며 단지 채널에서의 페이딩(fading)이나 쉐도잉(shadowing) 등에 의한 전송 에러로 인해 패킷 손실이 발생하는 상황을 가정하였다.

각 라우터나 게이트웨이 등의 네트워크 시스템이 패

킷을 처리하는데 필요한 시간과 용량을 규정하기 위해 물리 계층에서는 최대로 전송할 수 있는 프레임의 크기 (Maximum Transfer Unit: MTU)를 제한하고 있다. 이 더넷과 같은 유선 인터넷 망의 경우 MTU 크기는 보통 1,500바이트로 알려져 있으나 UMTS나 CDMA-2000과 같은 이동망의 경우에는 일반적으로 100바이트 미만으로 알려져 있다^[5].

따라서 본 논문에서는 MTU 측면을 고려하여 비디오 패킷의 크기를 80바이트로 정하여 실험하였다. 시뮬레이션에서 RTP-PDU 크기를 640비트로 지정하였기 때문에 이에 맞춰 슬라이스의 크기도 80바이트로 하였다. 이외에 구체적인 부호화 조건 및 실험 영상들은 표 1과 같다. 부호화기의 에러 강인 기술로는 표 1에서 보는 것처럼 FMO를 사용하지 않는 일반적인 슬라이스 구조의 경우(N-Slice)와 FMO mode 2인 Dispersed Slice가 사용된 경우로 나눠 각각 에러 은닉 기술을 평가하였다. FMO mode 2를 선택하여 실험한 이유는 이 모드가 에러 은닉의 측면에서 가장 효율적인 성능을 가질 것이라고 예상되기 때문이다.

비디오 비트율은 QCIF(176x144) 영상의 경우 64kbps로 실험하였고 CIF(352x288) 영상은 128kbps의 비트율에 대해 실험하였다. 본 실험에서는 울 제어 기법을 적용하지 않았기 때문에 CBR (Constant Bit Rate)로 부호화한 것은 아니지만 목표 비트율에 맞도록 QP (Quantization Parameter)를 사전에 조절하여 최대한 근사한 비트율을 얻도록 하였다. H.264 부호화기로는

표 1. 에러 은닉 실험을 위한 부호화 조건 및 실험 영상

Table 1. Coding conditions and test sequences for error concealment simulation.

Category	Parameter
H.264 Encoder	JM 7.3
Error resilience tools	- N Slices per Picture - FMO (Mode 2) # slice group:2
Video Packet Size	80Byte
# Reference frames	3 frames
Test sequences	- Akiyo (QCIF, 10Hz, 100Frames, 64Kbps) - Carphone (QCIF, 10Hz, 100Frames, 64Kbps) - Mother and daughter (QCIF, 10Hz, 100Frames, 64Kbps) - Container (CIF, 15Hz, 150Frames, 128Kbps) - Foreman (CIF, 15Hz, 150Frames, 128Kbps)
etc	- CAVLC, RD optimization on, IPPP. - Constrained Intra Prediction on

JM7.3 참조 소프트웨어를 이용하였고 베이스라인 프로파일의 기술을 사용 하였다. 움직임 보상을 위해 3개의 참조 영상을 사용하였고 R-D(Rate-Distortion) 최적화 기법을 적용하였다. 또한 에러 전파를 차단하는 Intra refresh를 위해 인트라 예측시 주변 인트라 블록으로부터 예측하지 않도록 하는 Constrained Intra Prediction 플래그를 ON 시키어 사용하였다.

각 부호화 비트 스트림은 표 2의 실제 모바일 환경에서 얻은 에러 패턴 파일에 정의된 3에서 6까지의 비트 에러 패턴 파일을 사용하여 에러를 삽입하였다^[4]. 각 파일들은 실제 기지국에 연결된 수신 단말기가 이동하는 가운데 얻은 전송 에러로 단말기가 시속 3 또는 50 km로 움직이는 가운데 채널의 전송 대역폭이 각각 64kbps 또는 128kbps인 경우에 해당한다. 비트 에러 패턴 3에서 6까지의 에러 패턴은 10^{-4} 이하로써 대화형 서비스 환경에 적합한 에러 패턴이다. 따라서 본 논문에서는 실시간 대화형 서비스 응용을 목적으로 하여 에러 패턴 3에서 에러 패턴 6까지의 에러 패턴 파일을 적용하면서 링크 계층의 재 전송이 없다는 가정하에 실험을 하였다. 각 에러 패턴 파일에 대한 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 각 에러 패턴 파일 시작점을 표 3^[4]과 같이 이동하여 실험을 10회 반복 수행하였다.

제안한 에러 은닉 기술의 성능을 평가하기 위해 기존 방법으로 단순대체기법(TR), H.264 참조 소프트웨어의 에러 은닉 방법(REFEC)^[6], 손실된 블록을 두 개의 추정된 매크로블록의 평균으로 대체하는 방법(MH-EC),

표 2. VCEG-N80 에러 패턴 파일^[4]
Table 2. Error pattern files of VCEG-N80.⁴⁾

No	File name	Bitrate (kbps)	Length (s)	BER	RLC PDU size	Mobile Speed
1	18681.3	64	60	9.3e-3	640 bits	3 km/h
2	18681.4	64	60	2.9e-3	640 bits	3 km/h
3	Wcdma_64kb_3kph_5e-04.bin	64	180	5.1e-4	640 bits	3 km/h
4	Wcdma_64kb_50kph_2e-04.bin	64	180	1.7e-4	640 bits	50km/h
5	Wcdma_128kb_3kph_5e-04.bin	128	180	5.0e-4	640 bits	3 km/h
6	Wcdma_128kb_50kph_2e-04.bin	128	180	2.0e-4	640 bits	50km/h

표 3. 에러 패턴 파일 적용시 각 시작점 위치⁴⁾
 Tabel 3. Different starting positions of the error pattern files.⁴⁾

No.	Simulation starting positions (in bytes)
1	227200, 259840, 128000, 348800, 81920, 79360, 392320, 56960, 440960, 458880
2	227200, 259840, 128000, 348800, 81920, 79360, 392320, 56960, 440960, 458880
3	551040, 251840, 613120, 609920, 616000, 57600, 1313120, 1248640, 273920, 1366400
4	551040, 251840, 613120, 609920, 616000, 57600, 1313120, 1248640, 273920, 1366400
5	1143200, 410240, 2480000, 561920, 2135840, 1954560, 283520, 730880, 698720, 154368
6	1143200, 410240, 2480000, 561920, 2135840, 1954560, 283520, 730880, 698720, 154368

제안한 에러 은닉 알고리즘에서 BG/FG의 판단을 제외한 방법(NO-BGFG)과 성능을 비교하였다. H.264 참조 에러 은닉 방법은 JM4.1에 구현된 알고리즘을 동일하게 구현하였다. 다음 실험 결과에서 제안한 에러 은닉 방법은 'STEC'로 표기하였다.

실제 WCDMA 이동망에서 추출한 에러 패턴에 대하여 각 영상에 따른 기존 에러 은닉 기법 및 제안 알고리즘의 PSNR 값을 표 4와 표 5에 나타내었다. 표 4와 표 5의 각 PSNR 값들은 동일 에러 패턴에 대하여 각 시작점 위치에 따른 10차례 실험에 대한 평균치를 나타낸 것이다.

실험에 적용된 WCDMA 에러 패턴은 이동망의 페이딩(fading) 특성에 의해 군집 성향이 강하기 때문에 비교적 패킷 손실율이 낮다. 그러나 에러 패턴내 군집의 길이가 길기 때문에 한꺼번에 발생하는 비트 에러들로 인하여 특히 QCIF와 같이 작은 영상의 경우에는 한 프레임에 많은 슬라이스가 손실되는 경우가 발생하였고 심지어 한 프레임 전체가 손실되기도 하였다. 이렇게 한 프레임 내에서 다수 슬라이스가 손실되는 경우에는 주변 블록의 정보를 이용한 에러 은닉의 효율이 떨어지므로 화질 열화가 심하게 발생하기 마련이다. 이렇게 발생한 한 프레임의 심한 화질 열화는 곧 시간축 에러 전파로 인하여 전체 비디오 화질에 영향을 미치게 된다. 따라서 에러 패턴의 군집 구간이 길수록, 그리고 영상의 해상도가 낮을수록 동일 BER 특성을 갖는 에러 패턴이라도 화질 열화가 더 크게 발생하는 것을 볼 수

표 4. WCDMA 에러 패턴에 따른 에러 은닉 기법별 PSNR 비교 (N-Slice)

Table 4. PSNR comparison of the error concealment methods under WCDMA.(N-Slice)

BER=5x10 ⁻⁴		ER Free	TR	REF -EC	MH -EC	NO-BGFG	STEC
QCIF (64k)	aki	43.94	32.29	39.29	39.76	39.43	39.81
	carp	35.27	30.69	30.82	30.44	30.46	30.48
	m&a	40.98	37.25	36.50	36.26	36.91	37.03
CIF (128k)	cont	34.37	31.12	31.10	31.53	31.57	31.57
	fore	30.80	26.84	26.87	27.01	27.02	27.04
average		37.07	31.64	32.92	33.00	33.08	33.19
BER=2x10 ⁻⁴		ER Free	TR	REF -EC	MH -EC	NO-BGFG	STEC
QCIF (64k)	aki	43.94	40.60	40.60	40.78	40.62	40.81
	carp	35.27	31.61	31.31	31.18	31.21	31.27
	m&a	40.98	37.67	36.89	36.39	37.67	37.87
CIF (128k)	cont	34.37	32.79	32.55	33.04	33.02	33.05
	fore	30.80	28.96	28.87	29.02	29.02	29.02
average		37.07	34.33	34.04	34.08	34.31	34.40

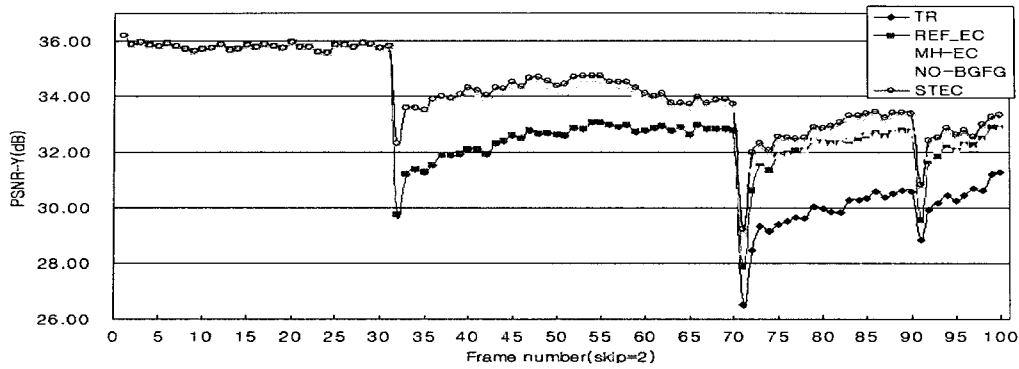
표 5. WCDMA 에러 패턴에 따른 에러 은닉 기법별 PSNR 비교 (FMO)

Table 5. PSNR comparison of the error concealment methods under WCDMA.(FMO)

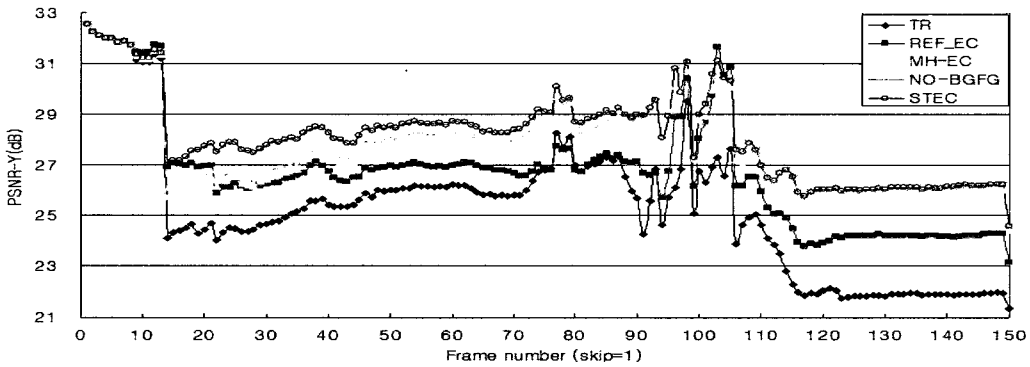
BER=5x10 ⁻⁴		ER Free	TR	REF -EC	MH -EC	NO-BGFG	STEC
QCIF (64k)	aki	44.06	31.81	39.81	40.94	41.10	41.17
	carp	35.30	31.15	32.28	32.79	32.94	32.94
	m&a	41.01	35.79	36.43	36.23	36.92	36.89
CIF (128k)	cont	34.38	29.64	29.70	30.73	32.25	32.23
	fore	30.91	26.08	28.24	28.52	28.59	28.61
average		37.13	30.89	33.29	33.84	34.36	34.37
BER=2x10 ⁻⁴		ER Free	TR	REF -EC	MH -EC	NO-BGFG	STEC
QCIF (64k)	aki	44.06	40.75	40.74	41.72	42.06	42.08
	carp	35.30	32.02	32.05	32.79	32.89	32.91
	m&a	41.01	37.44	37.97	38.47	38.64	38.63
CIF (128k)	cont	34.38	30.69	30.82	32.96	33.18	33.19
	fore	30.91	26.98	29.29	29.59	29.69	29.69
average		37.13	33.58	34.17	35.11	35.29	35.30

있다.

표 4는 N-Slice의 경우로, H.264의 REF-EC와 비교하여 제안 방법이 대부분의 영상에서 좋은 성능을 보여주는 것을 알 수 있다. 하지만 평균 PSNR 상승은 대략



(a) Carphone (BER=5xe⁻⁴)



(b)Foreman (BER=5e⁻⁴)

그림 12. FMO에서 프레임별 PSNR 성능 비교
Fig. 12. PSNR comparison in FMO.

0.31dB로 성능 향상이 크지않다. 이것은 N-Slice의 경우 손실 블록 주변에 에러 은닉에 사용한 올바르게 복호된 블록의 개수가 다소 적기 때문이다. 또한 제한 알고리즘은 손실 블록 주변에 올바르게 복호된 블록이 없는 경우에는 기존의 TR과 같은 방법을 사용하기 때문이다. 특히, 제안 알고리즘(STEC)의 경우 BG/FG를 판단하여 에러 은닉을 하지 않는 NO-BGFG보다 PSNR 향상이 있음을 알 수 있다. 이것은 NO-BGFG의 경우 일괄적으로 손실 블록에 대해 다중 참조영상을 이용한 움직임 보상 에러 은닉을 수행하기 때문에 손실 블록 주변에 올바르게 복호된 블록이 적거나 영상의 복잡도가 적은 경우 잘못 탐색하는 경우가 발생하지만, 제안한 선택적 에러 은닉 알고리즘은 움직임 보상 에러 은닉을 수행하기 전에 손실 블록이 움직임이 없는 배경(BG)인지 움직임이 있는 전경(FG)인지 판단하여 수행하기 때문에 잘못 은닉하는 경우가 적게 발생하기 때문이다.

표 5는 FMO의 경우로, REF-EC와 비교하여 제안

방법의 PSNR이 1.18dB이상 향상되었음을 알 수 있다. 특히, 움직임이 적으면서 선형적인 움직임을 보이는 "Container" 영상의 경우 2.45dB 이상의 성능 향상을 보여 주었다. 또한 제안 알고리즘은 MH-EC와 같이 다중 참조 영상에서 추정된 블록을 평균하여 은닉하는 방법보다 모든 영상에 대하여 좋은 성능을 보여준다. 이는 제안 알고리즘의 경우 손실 블록을 추정된 두 매크로블록의 유사성을 판단하여 선택적으로 평균하여 에러 은닉을 하기 때문이다.

N-Slice와 FMO의 결과를 비교해 보면, TR은 FMO가 오히려 N-Slice에 비해 PSNR이 더욱 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 FMO에 대한 에러 은닉의 중요성을 시사하는 것이다. FMO를 사용하게되면 슬라이스 내의 매크로블록들은 픽춰 내에서 서로 인접하지 않고 분산형으로 존재하기 때문에 주변 블록을 이용한 효과적 에러 은닉이 가능하다. 따라서 표 4와 표 5에 나타난 것처럼 N-Slice와 비교하여 FMO에서 다른 에러 은닉 기법들의 성능이 뚜렷히 나타나는 것이다. 또한 제

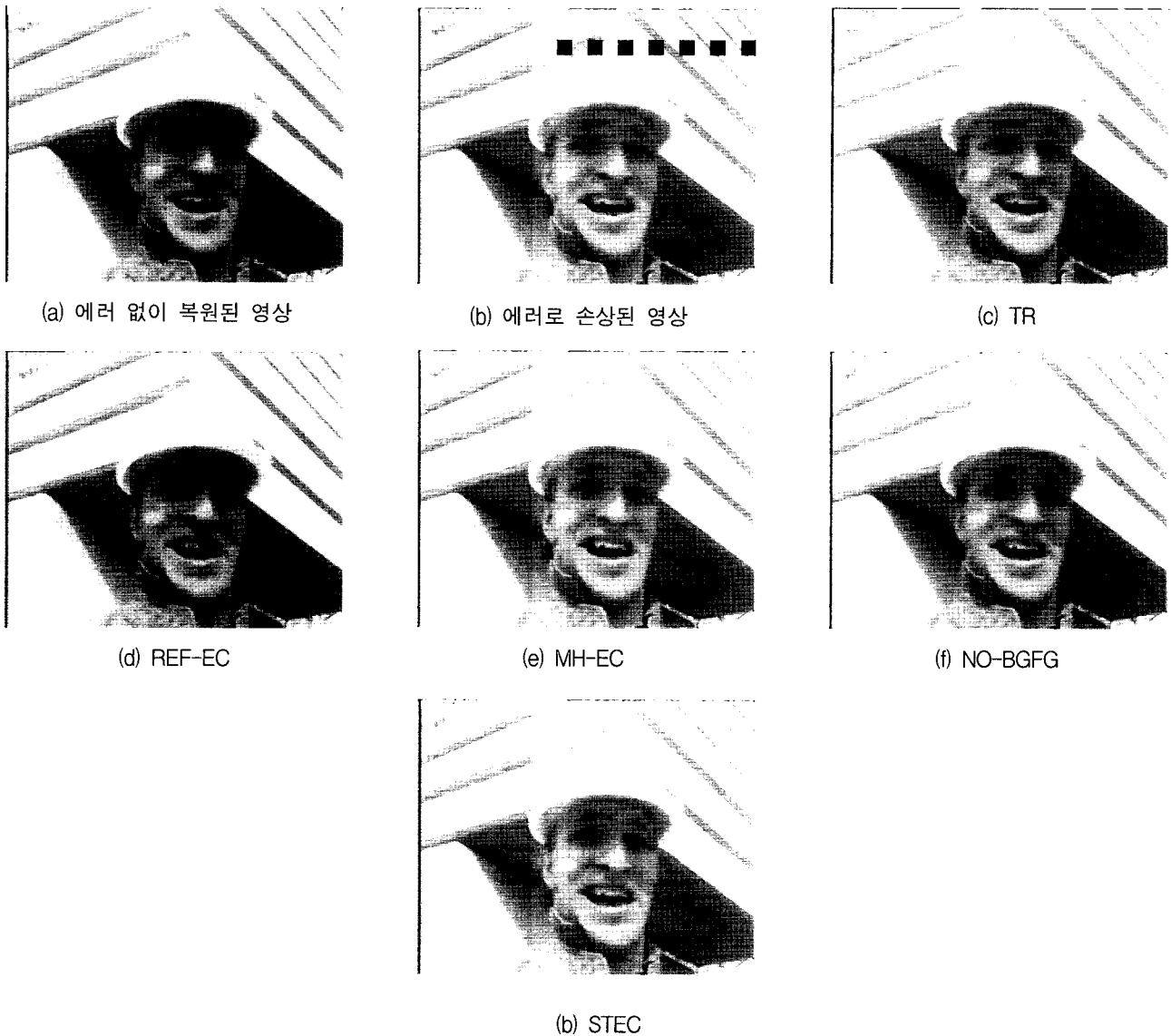


그림 13. 은닉 방법의 주관적 화질 비교 - Foreman (7th frame)
 Fig. 13. Subjective quality comparison for concealment method - Foreman (7th frame).

안한 알고리즘의 경우 FMO에서 상당히 우수함을 입증하였다. 반면 매크로블록들이 서로 떨어져 영상 내에 분산적으로 존재하게 되므로 에러 전파의 측면에서 더 광범위한 영역으로 에러가 전파할 가능성이 크다. 즉, 에러로 인해 손실된 영역을 제대로 처리하지 못하게 되면, 움직임 보상에 의한 시간축 에러 전파로 인해 그 파급 효과가 N-Slice에 비해 FMO에서 더 크게 발생하는 것이다.

그림 12에는 FMO에서 프레임별 PSNR이 나타나 있다. 그림에서 보는 것과 같이, 제안 방법은 프레임별로 좋은 성능을 보이는 은닉 방법으로 상당히 잘 적용되고 있음을 알 수 있다. 즉, 제안한 에러 은닉 알고리즘은

움직임이 없는 배경 부분과 전경 부분에 적응적으로 손실 블록을 은닉하며, 전경 부분의 경우 선택적으로 추정된 두 매크로블록의 평균에 의한 은닉으로 성능을 높게 된다.

그림 13과 그림 14에는 에러 은닉 방법의 주관적 화질을 비교하기 위해 각 방법으로 복원된 Foreman 영상이 나타나 있다. 그림 13은 처음 에러가 발생된 7번째 프레임의 경우이다.

7번째 프레임은 이전프레임과의 움직임이 적기 때문에 에러 없이 복원된 영상과 비교하여 화질차이가 크지 않다. 그러나 기존의 단순대체 기법(TR)이나 H.264 참조 은닉 방법(REF-EC)의 경우 에러가 발생한 모자 부

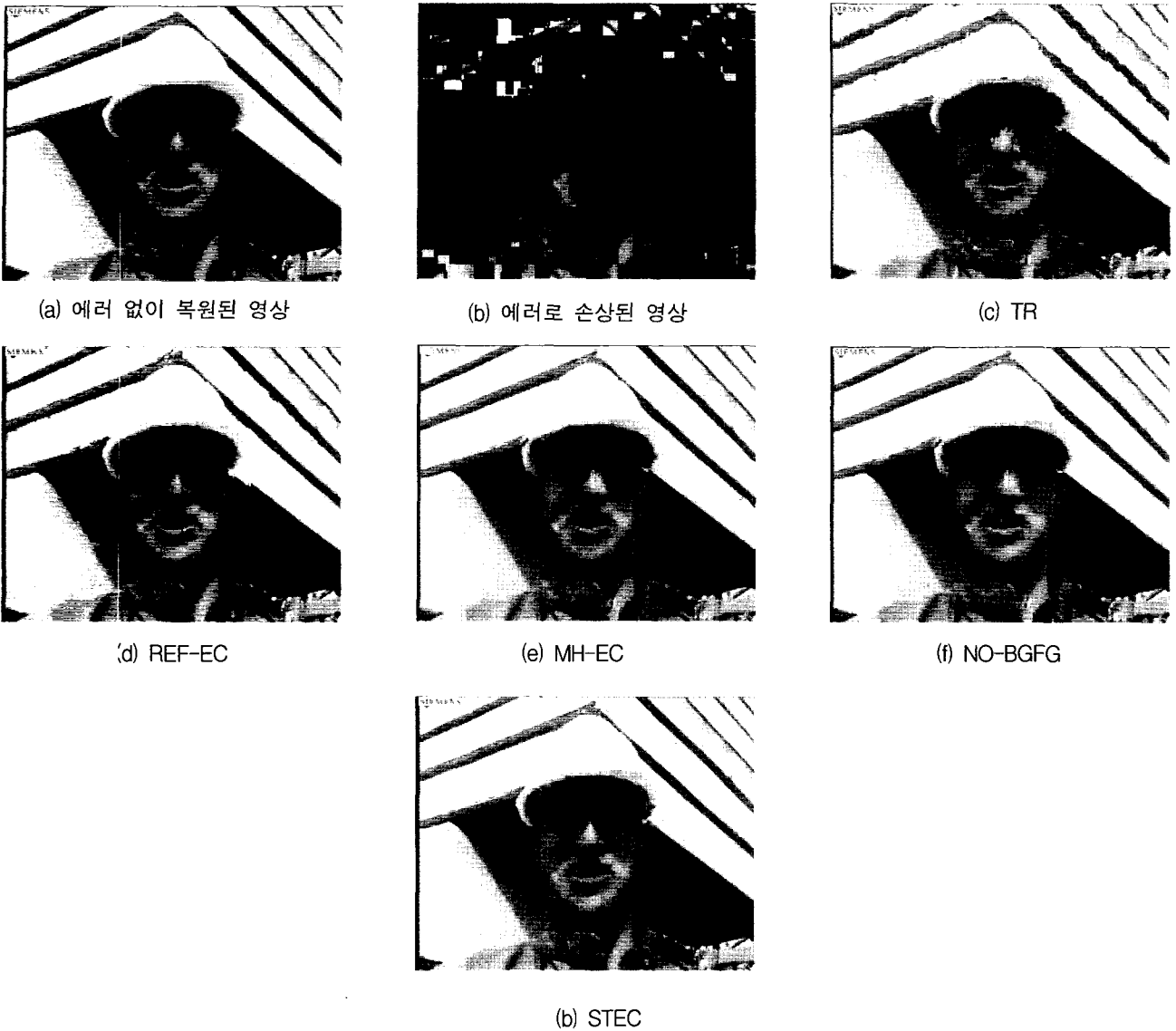


그림 14. 은닉 방법의 주관적 화질 비교 - Foreman (27th frame)
 Fig. 14. Subjective quality comparison for concealment method - Foreman (27th frame).

분을 제대로 은닉하지 못하였다. 하지만 제안 방법은 에러가 없는 영상과 거의 똑같이 복원된 것을 볼 수 있다. 그림 14는 에러가 발생한 영상을 27번째 프레임까지 각 은닉 방법으로 복원된 영상들을 나타내었다. 복원된 영상의 화질을 비교해보면 제안 방법(STEC)은 다른 에러 은닉 방법과 비교하여 주관적 화질이 매우 우수한 것을 볼 수 있다. 또한 에러가 없는 복원 영상의 주관적 화질과도 비슷한 것을 알 수 있다. 이것은 제안 알고리즘이 손실 블록의 전경과 배경을 판단하여 적응적으로 에러 은닉 방법을 적용하기 때문이다. 또한, 초기 손실된 영상을 제대로 은닉했기 때문에 시간 방향으로의 에러 전파의 영향을 줄일 수 있음을 확인 할 수

있다.

IV. 결 론

본 논문은 무선 이동통신 환경에서 H.264/AVC 표준을 사용하여 동영상을 전송할 때 발생하게 될 비디오 패킷 손실의 영향을 최소화하기 위한 선택적 시간 에러 은닉 알고리즘을 제안하였다. 선택적 시간 에러 은닉 알고리즘은 에러 은닉을 수행할 손실 블록이 배경(BG)인지 전경(FG)인지 결정하여, 배경의 경우 단순 대체 기법을, 전경의 경우 다중 참조 영상을 이용한 움직임 보상 에러 은닉 기법을 적용한다.

그 결과, 제안 방법은 움직임이 거의 없는 영상이나 움직임이 크고 넓은 영역에 걸쳐 존재하는 영상에서 모두 성능이 좋았음을 실험 결과 알 수 있었다. 하지만, FMO를 사용하지 않는 경우(N-Slice)에는 본 제안 기법의 성능 향상이 미비하였다. 반면 에러 은닉 효율을 극대화하기 위해 FMO mode 2인 Dispersed Slice 구조로 슬라이스를 전송하는 경우에는 객관적, 주관적화질 측면에서 제안 알고리즘이 우수한 성능을 나타내었다. 제안 알고리즘은 다중 참조 영상 기반 움직임 보상 은닉 방법의 계산량 감소의 추가적인 연구를 통하여 무선 채널 환경하에서 동영상 데이터 통신에 유용하게 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

- 203-216쪽, 2004년 9월.
- [9] A.M. Tourapis, O.C.Au, and M.L.Liou, "Predictive motion vector field adaptive search technique (PMVFAST)-Enhancing block based motion estimation," Proc. SPIE Visual Commun. Image Process., San Jose, CA, Jan. 2001.
- [1] W.-M. Lam, A.R. Reilbman, and B. Liu, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 417-420, Apr. 1993.
- [2] J. Zhang, J. F. Arnold, and M.R. Frater, "A cell-loss concealment technique for MPEG-2 coded video," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Jun. 2000, pp. 659-66
- [3] Y. O. Park, C. S. Kim, and S. U. Lee, "Multi-hypothesis error concealment algorithm for H.26L video," IEEE International Conference on Image Processing, pp. 465-468. Sep. 2003.
- [4] V. Varsa, M. Karczewicz, et al, "Common Test Conditions for RTP/IP over 3GPP/3GPP2," ITU-T Q.6/SG16, VCEG-N80, Santa Barbara, Sep. 2001.
- [5] T. Stockhammer, M.-M. Hannuksela, and T. Wiegand, "H.264/AVC in Wireless Environments", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, pp. 657-673, Jul. 2003.
- [6] W. Ye-Kui, M.M. Hannuksela, V. Varsa, A. Houruwranta, M.Gabbouj, "The error concealment feature in the H.26L test model," Proceedings of Intern. Conf. on Image Processing, 2002.
- [7] M .E. Al-Mulla, C. N. Canagarajah, and D. R. Bull, *Video Coding for Mobile Communications*, Academic Press, 2002.
- [8] 정봉수, 황영휘, 진병우, 김명돈, 최송인, "MPEG-4 와 H.264/AVC의 에러 강인 기술 성능 평가", 대한전자공학회 논문지, 제 41권 SP편, 제 5호,

저 자 소 개



정 봉 수(학생회원)
 2002년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(학사)
 2004년 8월 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
 2004년 9월~현재 성균관대학교 전자 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야 : 영상압축, 멀티미디어 통신, 멀티미디어 VLSI, 에러 강인 디지털 비디오>



최 응 일(학생회원)
 2000년 성균관대학교 전기·전자·컴퓨터공학부 학사 졸업.
 2002년 성균관대학교 전기·전자·컴퓨터공학과 석사 졸업.
 2002년~현재 성균관대학교 전기·전자·컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : 영상압축, 영상통신, 영상처리>



전 병 우(정회원)
 1985년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1987년 2월 서울대학교 전자 공학과 졸업(석사)
 1992년 12월 Purdue Univ, School of Elec. 졸업(공학박사).

1993년~1997년 8월 삼성전자 신호처리연구소 수석연구원
 1997년 9월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수

<주관심분야 : 멀티미디어 영상 압축, 영상인식, 신호처리>



김 명 돈(정회원)
 1993년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1995년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업(석사)
 2000년 3월~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정

1995년 8월~현재 한국전자통신연구원 이동A/V 연구팀 선임연구원 .

<주관심분야 : 이동통신, 영상신호처리, 음성신호처리>



최 송 인(정회원)
 1982년 2월 광운대학교 응용전자공학과 졸업(학사)
 1987년 2월 광운대학교 전자계산기공학과 졸업(석사)
 1982년 7월~현재 한국전자통신연구원 이동 A/V연구팀 책임연구원

<주관심분야 : 이동통신, 음성신호처리, 영상신호처리>