

주변의 움직임 벡터를 사용한 비디오 에러 은닉 기법

정회원 임 유 두*, 이 병 옥*

Video Error Concealment using Neighboring Motion Vectors

You-Doo Lim*, Byung-Uk Lee* Regular Members

요 약

최근 wireless network이나 internet과 같이 오류가 많이 발생하는 channel을 통한 video의 전송이 급격히 증가하면서 channel상에서 발생하는 전송에러로 인한 데이터의 손실이 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 영상통신에서의 error control과 concealment가 주된 관심사로 부각되었다. 본 논문은 MPEG-4나 H.263등의 방식으로 압축된 비디오를 전송하는 동안 채널 상에서 발생하는 전송에러로 인하여 블록 손실이 일어난 영상에 대해 디코더에서의 후처리(postprocessing)에 의한 시간적 에러 은닉(error concealment) 기술을 이용하여 손실된 블록을 정정하는 기법에 대하여 연구하였다. 손실된 블록 주위의 정상 블록의 움직임 벡터를 이용하여 중간(median) 값을 취한 후, 손실된 블록의 새로운 움직임 벡터로 할당하고, overlapped block motion compensation (OBMC)을 통해 최종적으로 손실영역을 은닉하게 된다. 그 결과 계산량이 적고, PSNR 성능평가 면에서는 제안한 방법의 결과가 기존의 방법들 중 우수한 에러 은닉 결과를 내는 MVRI (Motion Vector Rational Interpolation) EC 2-D Case of All Directions 보다 약 1.4 ~ 3.5 dB정도 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Error control and concealment in video communication is becoming increasingly important because transmission errors can cause single or multiple loss of macroblocks in video delivery over unreliable channels such as wireless networks and the internet. This paper describes a temporal error concealment by postprocessing. Lost image blocks are overlapped block motion compensated (OBMC) using median of motion vectors from adjacent blocks at the decoder. The results show a significant improvement over zero motion error concealment and other temporal concealment methods such as Motion Vector Rational Interpolation or Side Match Criterion OBMC by 1.4 to 3.5 dB gain in PSNR. We present experimental results showing improvements in PSNR and computational complexity.

I. 서론

압축된 비디오신호를 통신채널을 통해 전송하는 동안 채널의 잡음이나 과잉(congestion)으로 데이터의 손실이 발생할 수 있고 이로 인하여 디코딩된 비디오 영상의 화질은 심하게 열화된다. MPEG-4에서는 이러한 문제를 해결

하기 위해 인코더에서 전송비트열에 부가정보(redundancy)를 부여하고, 디코더에서는 그 부가정보를 이용하여 에러의 검출 및 정정을 가능하게 하는 에러 내성 기법들을 활용한다^{[1][2]}. 하지만 이러한 대책에도 불구하고 움직임 정보의 손실이 발생하면 디코더에서 디코딩된 영상의 화질은 현저히 떨어지고, 이러한 화질열화가

* 이화여자대학교 정보통신학과 영상신호처리 연구실 (doos@lge.com)

논문번호 : 020154-0404, 접수일자 : 2002년 4월 4일

심각한 문제로 대두됨에 따라 에러를 은닉하기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다 [3].

그러한 에러 은닉 기법은 크게 공간적 에러 은닉 기법과 시간적 에러 은닉 기법으로 나눌 수 있다. 공간적 에러 은닉 기법은 같은 프레임 내에서 이웃 화소 간에 높은 상관도를 갖는 특성이 있으므로 손실블록 주변의 화소 정보를 이용하여 손실영역을 은닉하는 방법이고, 시간적 에러 은닉 기법은 손실블록 주변의 정상 블록의 움직임 벡터를 이용하여 손실영역의 움직임 벡터를 복구하고 이전 프레임의 데이터로 손상된 현재 프레임을 보상하는 방법이다.

본 논문에서는 MPEG-4로 압축된 비디오 신호를 전송하는 동안 채널 상에서 발생하는 전송 에러로 인하여 블록 손실이 일어나 심한 화질 열화를 갖는 영상에 대해 디코더에서의 후처리(postprocessing)로 손실을 은닉하는 방법에 관하여 연구하였다. 손실된 블록 주위의 정상적인 블록의 움직임 벡터들을 이용하여 중간(media n)값을 취한 후, 손실된 블록의 새로운 움직임 벡터로 할당하고, Overlapped Block Motion Compensation (OBMC)을 통해 최종적으로 손실영역을 보상하는 시간적 에러 은닉(temporal error concealment) 기술을 제안하였다. 기존의 시간적 에러 은닉 기법 중 가장 간단한 방법인 zero motion 에러 은닉 기법과 객관적 성능평가 면에서도 우수한 결과를 나타내는 MVRI(motion vector rational interpolation) 2-D Case of All Directions 에러 은닉 기법, Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법과의 결과를 비교하여 제안된 방법이 계산속도도 빠르고 객관적 성능평가에서도 우수함을 확인하였다 [4][5].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II절에서는 기존의 시간적 에러 은닉 방법 중에서 가장 기본적인 zero motion 에러 은닉 기법과 MVRI(motion vector rational interpolation) 2-D Case of All Directions 에러 은닉 기법, Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법에 대해 설명하고, 제 III절에서는 제안한 방법인 디코더에서의 후처리에 의한 시간적 에러 은닉 기법에 대해 구체적으로 설명하고, 하나 혹은 여러 개의 매크로블록 손실이 일어난 디코딩 영상에 대해 적용한 결과를 제시한다. 제 IV절에서는 기존의 시간적 에러 은닉 방법을 적용한 결과와 제안한 시간적 에러 은닉 방법을 적

용한 결과를 비교, 분석한다. 마지막으로 제 V절에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 연구방향을 제시한다.

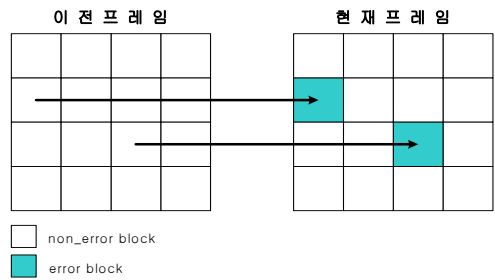


그림 4. zero motion 에러 은닉

II. 기존의 시간적 에러 은닉 기법

1. Zero Motion 에러 은닉

zero motion 에러 은닉은 그림 1과 같이 현재 프레임에서 손실이 발생한 블록의 데이터를 정상적으로 디코딩된 이전 프레임에서 손실영역과 동일 위치에 있는 블록으로 대체함으로써 에러를 은닉하는 방법이다 [3]. 그러나 움직임 벡터가 손실되어 블록 손실이 발생한 영상에 대해 zero motion 에러 은닉을 적용하여도 움직임이 크고, 빠른 영상에 대해서 보상한 후에도 오차가 시각적으로 감지된다.



그림 5. zero motion 에러 은닉 결과영상의 일부 확대한 부분

2. MVRI (Motion Vector Rational Interpolation) 2-D Case of All Directions 에러 은닉

비디오 비트열의 전송도중 에러가 발생하여 디코더가 동기를 맞추지 못하면 다음 동기코드가 전송되기 전까지 모든 데이터를 잃어버리게 된다. 즉 움직임 정보, 코딩 모드 정보, 예측 모드 정보가 손실되어 정상적인 디코딩 영상을

출력할 수 없다. 따라서 손실 블록의 상, 하 주변블록들의 정보가 손실 없이 전송되었다면, 이들의 움직임 정보를 이용하여 손실영역을 복원해 줄 수 있게 된다.

MVRI 에러 은닉 기법은 손실 블록의 움직임 벡터 v 를 추정하기 위해 주변의 오류가 없는 정상 블록들의 움직임 벡터 a, b, c, d, e, f 를 이용하여 2-stage 1-D Case, 2-D Case, 2-stage Combined 1-D and 2-D Case, 2-D Case of All Directions의 4가지 보간법 (interpolation) 을 통해 추정해 낸 후 손실영역을 은닉해 준다^[4]. 본 논문에서는 이 4가지 방법 중 가장 우수한 결과를 내는 2-D Case of All Directions방법에 대해서 자세히 기술하고 이후 3가지 방법에 대해서는 표 1과 표 3에 PSNR 성능평가와 표 2에 계산량을 기술한다.

그림 3 와 같이 손실 블록의 움직임 벡터 v 를 추정하기 위해 주변의 정상 블록들의 움직임 벡터 a, b, c, d, e, f 를 이용하여 다음의 식 (1) 을 통해 추정해 낸 후 손실영역을 은닉해 준다.

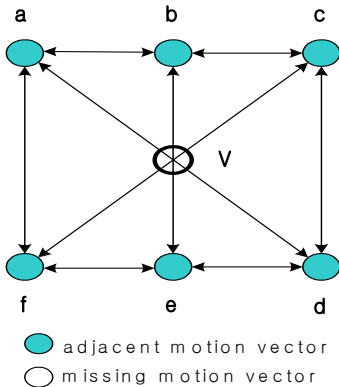


그림 7. MVRIEC 2-D Case of All Directions



그림 8. MVRI 2-D Case of All Directions 에러 은닉 결과영상

◇ lost motion vector

$$v = \frac{w_{ad}(a+d) + w_{be}(b+e) + w_{cf}(c+f) + w_{ab}(a+b) + w_{bc}(b+c) + w_{fc}(f+e) + w_{ed}(e+d) + w_{af}(a+f) + w_{cd}(c+d)}{2(w_{ad} + w_{be} + w_{cf}) + w_{ab} + w_{bc} + w_{fc} + w_{ed} + w_{af} + w_{cd}} \quad (1)$$

식(1)에서 w_{UV} 는 다음의 식 (2) 와 같이 정의된다.

◇ coefficient w_{UV} ($u, w, u \neq w \{a, b, c, d, e, f\}$ 에서 값을 취한다.)

$$w_{UV} = \frac{1}{1 + k \|u - w\|} \quad (2)$$

$\| \cdot \|$: Euclidean distance

k : positive constant (controls the degree of nonlinearity of the rational filter)

일반적으로 k 값은 1을 사용한다.

2. Side Match Criterion OBMC

손실 블록을 중심으로 상, 하, 좌, 우에 위치한 정상블록의 움직임 벡터를 이용하여 각각 손실 블록을 보상한 후, 인접한 이웃 블록들과 가장자리 픽셀들에 대한 absolute error를 구한다. 이 4가지 absolute error 값 중 가장 작은 값을 갖는 경우의 움직임 벡터를 손실 블록을 보상하기 위한 최적의 움직임 벡터로 결정하게 된다. 이렇게 하여 결정된 움직임 벡터로 손실 블록을 보상하고, 그 보상된 블록에 OBMC를 적용하여 최종적으로 손실 블록을 은닉하게 된다^{[5][6]}.



그림 9. Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 결과 영상

Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법

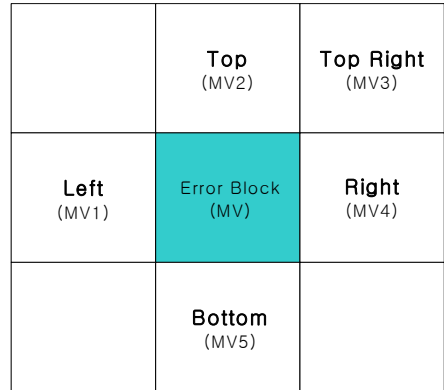
과 제안된 시간적 에러 은닉 기법과의 가장 큰 차이점은 손실 블록을 보상하기 위해 필요한 움직임 벡터를 결정하는 방법이다. 즉, Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법은 손실 블록 주변의 상, 하, 좌, 우 블록들의 움직임 벡터에 대해서 4번의 움직임 보상과 각각에 대한 가장자리 absolute error를 구한 후 대소 비교를 해야 하므로 계산량이 증가하고 디코더에서의 디코딩 순서를 고려 하였을 때 그 만큼 처리 속도가 길어진다.

III. 제안한 시간적 에러 은닉 기법

에러에 의해 손실된 블록의 주변블록들의 움직임 벡터는 정상적으로 전송되었을 때, 손실 블록의 움직임 벡터는 인접 블록의 움직임 벡터와 상관도가 높으므로 이를 이용하여 손실된 움직임 벡터를 추정해 낼 수 있다. 이때, 손실 영역의 움직임 벡터를 추정하기 위하여 MPEG-4에서 영상 (*shape*) 신호의 움직임 벡터의 예측치를 검출할 때 사용하는 블록들을 참조하였다 [5]. 이 움직임 벡터들은 오류가 발생한 블록보다 위 또는 왼쪽에 있으므로 먼저 decode 된다. 위와 같은 정의를 바탕으로 그림 6 와 같이 손실블록 (*error block*)을 중심으로 주변의 정상블록 Left, Top, Top Right를 참조 블록으로 묶고 이 참조 블록들의 움직임 벡터 $MV1, MV2, MV3$ 를 선택하여 중간 (*median*) 값을 취한 후 이를 손실 블록의 움직임 벡터로 추정하여 손실 블록에 대해 움직임 보상을 한다. 그리고 나서, 다시 손실 블록을 중심으로 주변의 정상블록 L, T, R, B 의 움직임 벡터 $MV1, MV2, MV4, MV5$ 로 MPEG-4에 정의된 중첩된 블록 움직임 보상 (*overlapped block motion compensation*)을 적용하여 [5] 그림 7과 같이 손실블록에 중첩된 블록 움직임 보상을 한다.

여기에서 Q 블록은 그림 7의 설명과 같이 손실 블록 (*error block*)을 주변의 정상 블록 움직임 벡터들 ($MV1, MV2, MV3$)의 중간값으로 움직임 보상을 한 8x8 블록이고, R 블록은 손실 블록과 수직방향으로 인접한 블록 T 의 움직임 벡터 $MV2$ 로 움직임을 보상을 한 4x8 블록 R_1 과 블록 B 의 움직임 벡터 $MV5$ 로 움직임을 보상을

한 4x8 블록 R_2 를 합한 8x8 블록이다. 마지막으로 S 블록은 손실 블록과 수평방향으로 인접한 블록 L 의 움직임 벡터 $MV1$ 으로 움직임을 보상을 한 8x4 블록 S_1 과 블록 R 의 움직임 벡터 $MV4$ 로 움직임을 보상을 한 8x4 블록 S_2 를 합한 8x8 블록이다.



□ adjacent motion vector (MV1, MV2, MV3, MV4, MV5)
 ■ missing motion vector (MV)

그림 11. 제안한 에러 은닉 방법에 사용된 움직임 벡터들

위와 같이 구해진 블록 $Q, R (R_1 \cup R_2), S (S_1 \cup S_2)$ 의 화소값에 그림 7의 (d), (e), (f)에 나타낸 H_0, H_1, H_2 가중치 행렬을 곱하여 식(3)과 같이 가중 평균한 후 최종적으로 손실 블록을 복원하게 된다. 여기에서 가중치

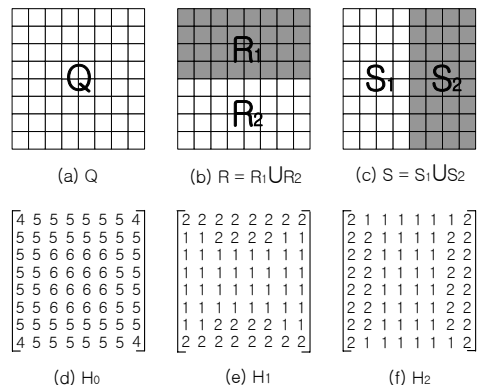


그림 12. OBMC weighted matrix (8x8)

행렬은 MPEG-4의 OBMC에서 사용되는 8x8 가중치 행렬이다 [6].

$$error\ block(i, j) = [q(i, j) \cdot h_0(i, j) + r(i, j) \cdot h_1(i, j) + s(i, j) \cdot h_2(i, j) + 4] / 8 \quad (3)$$

여기에서 $error\ block(i, j)$, $q(i, j)$, $r(i, j)$, $s(i, j)$, $h_0(i, j)$, $h_1(i, j)$, $h_2(i, j)$ 는 각각 $error\ block$, Q , R , S , H_0 , H_1 , H_2 의 화소 성분이고, $H_0 + H_1 + H_2$ 의 모든 원소값은 8 이 된다.

만약 16x16 블록 (매크로블록)단위로 처리하여 OBMC를 적용한다면 가중치 행렬 H_0 , H_1 , H_2 를 2배로 확장해야 하는데 이때, 가중치 행렬들의 같은 위치 원소들끼리의 합이 8이 되도록 확장한다.

IV. 실험결과 및 분석

제안한 시간적 에러 은닉 기법은 다음의 조건 하에서 실험을 하였다. 실험영상은 8x8 매크로블록 단위로 처리하였으며, 720 x 480 flower garden 영상과 352 x 280 stefan 영상을 MPEG-4 MoMuSys로 인코딩, 디코딩하고 전송도중 채널상에서 발생한 전송에러로 인해 움직임 벡터가 손실되었다고 가정하고, 그림 8 과 같이 error 가 삽입된 영상을 만들었다. 기존의 시간적 에러 은닉 기법 중 여러 가지 실험영상



그림 13. 전송에러로 인해 블록이 손실된 디코딩 영상



그림 14. 제안된 방법에 의한 에러 은닉 결과영상

에 대해 고르게 우수한 은닉 결과를 내는 Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법에 대해서는 60 프레임의 영상으로 제안된 방법과 비교 실험을 하였다.

제안한 시간적 에러 은닉 기법이 기존의 시간적 에러 은닉 기법에 비해 어느 정도 향상된 결과가 나오는지 알아보기 위해, 객관적인 성능 평가방법인 PSNR을 측정하고, 계산량을 조사한 처리속도를 구하여 비교하였다. Error free PSNR은 실험영상이 전송에러 없이 정상적으로 디코딩된 영상과 최적의 움직임 벡터로 움직임 보상한 영상간의 PSNR을 구한 것이다.

여기에서 최적의 움직임 벡터는 손실없이 정상적으로 디코딩 되었을 때의 움직임 벡터를 의미한다.

PSNR 성능평가 비교 결과 flower garden 영상, stefan 영상은 표 1에 기술한 내용과 같이 제안한 방법이 zero motion 에러 은닉 기법의 PSNR보다 각각 약 12 dB, 약 9.2 dB 정도 향상됐고, MVRI 2-D Case of All Directions 에러 은닉 기법의 PSNR보다는 각각 약 2.8 dB, 약 3.5 dB 정도 향상되었고, Side Match Criterion OBMC 에러 은닉 기법의 PSNR보다는 각각 약 3.3 dB, 약 1.4 dB정도 향상된 결과를 얻었다.

처리속도, 즉 계산량에서는 flower garden 영상, stefan 영상 모두 표 2 에 기술한 내용과 같이 제안된 기법에서 주변 움직임 벡터들의 중간 (median)값을 손실블록의 움직임 벡터로 추정하여 움직임 보상한 결과가 기존의 기법보다 더 빠르지만 이후 중첩된 블록 움직임 보상을 하면서 계산량이 다소 증가했다. 여기에서 주변의 참조블록들은 P 혹은 B 블록이라고 가정하였다. 그러나 중첩된 블록 움직임 보상은 매크로블록내에서 불균일한 움직임을 보상하는 특성이 있어 median 움직임 벡터만을 이용해서 움직임 보상했을 때 보다 PSNR이 약간 향상됨을 볼 수 있었다. 그림 10은 손실 블록에 기존의 시간적 에러 은닉 기법을 적용한 결과 영상과 제안한 에러 은닉 기법을 적용했을 때의 결과 영상의 일부를 확대하여 나타낸 것이다. 제안한 방법을 적용한 결과 영상 (b)와 (d)에 비해 기존방법이 적용된 (a)와 (c)는 나무의 가장자리와 나뭇가지 주변에 블록들이 눈에 띄는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서는 8x8 블록 단위로 실험한 결과에 대해서만 자세히 기술하였는데, 제안된 방법은 매크로블록 (16x16) 단위의 손실이 발생하는 경우에도 표 3에 기술한 것과 같이 우수한 결과를 보인다.

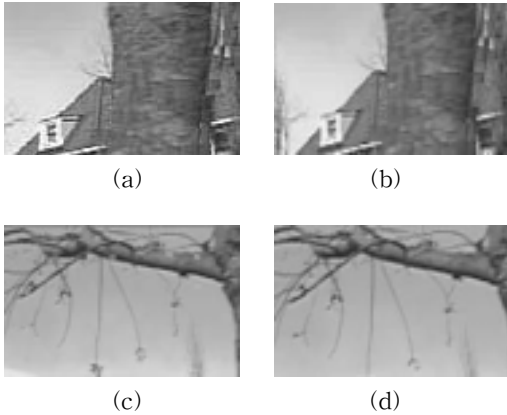


그림 10. 기존의 시간적 에러 은닉 기법과 제안한 에러 은닉 기법을 적용하여 에러 은닉한 결과영상 (a)MVRI EC 2-D Case of All Directions, (c) SMC OBMC EC, (b)&(d) 제안한 에러 은닉 기법

그림 11은 stefan 영상 60 frame에 대하여 side match criterion OBMC와 본 논문에서 제안한 방법을 비교한 것이다. 모든 프레임에서 제안된 방법이 1 ~ 2 dB 향상되었음을 볼 수 있다. 그림 12는 garden 영상에 대하여 동일한 실험을 한 것이고 2 ~ 4 dB 향상된 것을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 MPEG-4로 코딩된 비디오를 전송하는 동안 채널 상에서 발생하는 전송에러로 인하여 블록 손실이 일어난 디코딩 영상에 대해 디코더에서의 후처리에 의해 손실된 블록 주위의 정상 블록의 움직임 벡터들을 이용하여 중간값을 취한 후, 손실된 블록의 새로운 움직임 벡터로 할당하고, 중첩된 블록 움직임 보상을 통해 최종적으로 손실영역을 복원해 주는 시간적 에러 은닉 기법에 대하여 연구하였다. 여러 손실영상에 대한 실험결과 우수한 결과를 내는 기존의 시간적 에러 은닉 기법에 비해 제안한 시간적 에러 은닉 기법이 PSNR 성능평가 면에서 flower garden 영상, stefan 영상의 경

우 각각 약 3 dB, 약 1.4~3.5 dB 정도 향상되었다. 또 제안된 기법의 계산량은 주변 움직임 벡터들의 중간 (median)값을 손실블록의 움직임 벡터로 추정하여 움직임 보상을 한 결과가 기존의 기법보다 더 빠르지만 이후 중첩된 블록 움직임 보상을 하면서 계산량이 Motion Vector Rational Interpolation 에러 은닉 기법보다는 다소 증가했다. 그러나 중첩된 블록 움직임 보상은 매크로블록 내에서 불균일한 움직임을 보상하는 특성이 있어 median 움직임 벡터만을 이용해서 움직임 보상을 했을 때 보다 PSNR이 향상됨을 볼 수 있었다.

이제까지 블록의 완전 손실로 인해 주변 정상 블록의 움직임 벡터 정보만을 이용하여 에러를 은닉해 주는 방법에 대해 연구하였다. 앞으로의 연구과제는 비디오 신호 전송 시 에러로 인한 데이터의 손실이 발생하였더라도 손실 블록에 대한 일부정보가 이용가능 할 때 Error Resilience를 고려한 효과적인 에러 은닉 방법에 대해 연구할 것이다.

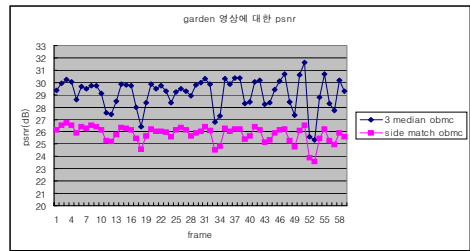


그림 11. side match criterion OBMC와 제안된 에러 은닉 기법의 PSNR (60 frames garden image)

표 1. 8x8 블록 단위의 에러 은닉 PSNR 비교표

	EC method	Garden [dB]	Stefan [dB]
Error free	Error free MV	31.22	26.50
	Zero motion EC	17.63	17.24
기존 방법	MVRI EC 2-stage 1-D Case	26.13	21.86
	MVRI EC 2-D Case	27.00	22.26
	MVRI EC 2-stage combined 1-D&2-D Case	26.88	22.10
	MVRI EC 2-D Case of All Directions	26.90	22.85
	side match criterion OBMC	25.80	24.33
제안 방법	주변 mv의 median 값을 이용한 에러 은닉	28.30	24.74
	Median_OBMC	29.65	26.39

표 2. 계산량 비교표

[에러 블록 1 블록당 움직임 벡터를 추정해 내는 과정의 계산량만 비교]

	EC method	Error Block Size : 16 x 16	
		+	X
기존 방법	MVRI EC 2-stage 1-D Case	114	74
	MVRI EC 2-D Case	86	44
	MVRI EC 2-stage combined 1-D&2-D Case	228	110
	MVRIEC 2-D Case of All Directions	266	128
	side match criterion OBMC	1212	1024
제안 방법	주변 mv의 median 값을 이용한 에러 은닉	주변 mv들의 대소비교만을 이용	
	Median_OBMC	768	1024

표 3. 매크로블록 단위의 에러 은닉 PSNR 비교표

	EC method	Garden [dB]	Stefan [dB]
Error free	Error free MV	28.51	29.27
	Zero motion EC	17.87	27.28
기존 방법	MVRI EC 2-stage 1-D Case	24.97	28.35
	MVRI EC 2-D Case	25.89	28.66
	MVRI EC 2-stage combined 1-D&2-D Case	25.98	28.52
	MVRI EC 2-D Case of All Directions	25.85	28.66
	주변 mv의 median 값을 이용한 에러 은닉	26.78	28.74
제안 방법	Median_OBMC	27.98	29.12

참고문헌

[1] Luis Ducla-Soares and Fernando Pereira, "Error resilience and concealment performance for MPEG-4 frame-based video coding", *Elsevier Science Signal Processing Image Communication*, Vol. 14, No. 6-8, pp. 447-472, May. 1999.

[2] Madhukar Budagavi, Wendi Rabiner Heinzelman, Jennifer Webb, and Faj Talluri, "Wireless MPEG-4 Video Communication on DSP Chips", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 36-53, Jan. 2000.

[3] Yao Wang and Qin-Fan Zhu, "Error Control and Concealment for V

ideo Communication : A Review", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 5, pp. 974-997, May. 1998.

[4] S. Tsekeridou, F. Alaya Cheikh, M. Gabbouj, I. Pitas, "Motion Field Estimation by Vector Rational Interpolation for Error Concealment Purposes", *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 6, No. 6, pp. 3397-3400, March. 1999.

[5] Mei-Juan Chen, Liang-Gee Chen, and Ro-Min Weng, "Error Concealment of Lost Motion Vectors with Overlapped Motion Compensation", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 7, No. 3, pp. 560-563, June, 1997.

[6] "International Organisation for Standardisation Organisation International de Normalisation ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Audio", Atlantic City, October. 1998.

임 유 두(You-Doo Lim)

정회원



2000년 2월 : 호남대학교 정보통신공학과 졸업
 2002년 8월 : 이화여자대학교 정보통신학과 석사
 2002년 9월~현재 : LG 전자 DM연구소 DST그룹

<주관심분야> 영상처리, Error Resilience, 영상통신

이 병 옥(Byung-Uk Lee)

정회원

이화여자대학교 정보통신학과 부교수
 한국통신학회논문지 제 22권 6 호 참조