

논문 2009-46SP-4-14

# 새로운 움직임 예측기법 기반의 에러 내성이 있는 영상 부호화

## ( Novel Motion Estimation Technique Based Error-Resilient Video Coding )

황민철\*, 김준형\*\*, 고성제\*\*\*

(Min-Cheol Hwang, Jun-Hyung Kim, and Sung-Jea Ko)

### 요약

본 논문에서는 에러에 강한 동영상 압축을 위해서 효과적인 에러 은닉을 제공하는 새로운 움직임 예측기법을 제안한다. 일반적으로 전송 에러에 의해 손실된 프레임은 효율적으로 복원하기 위해서는 영상 내에서 객체의 실제 움직임을 정확하게 아는 것이 중요하다. 하지만 현재 블록과 움직임 보상된 블록에 있는 화소의 차의 절대값의 합 (sum of absolute different, SAD)을 기준으로 이용하는 기존의 움직임 예측 (motion estimation, ME)기법이 객체의 실제 움직임을 항상 정확하게 반영하는 것은 아니다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서 현재 블록과 움직임 보상된 블록의 움직임 벡터들의 차의 절대값 (absolute different of motion vectors, ADMV)을 새로운 부가적인 기준으로 소개한다. 본 논문에서 제안하는 ME 기법은 SAD와 ADMV의 가중 합을 최소화시킴으로써 실제 움직임과 거리가 먼 움직임 벡터들을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한, 제안하는 ADMV를 이용하면 영상의 전송 과정에서 손실된 프레임의 정보를 전혀 사용하지 않고도 손실된 움직임 정보를 효과적으로 복원할 수 있으므로 복호기에서의 에러 은닉 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 기법이 기존의 ME기법과 유사한 압축 효율을 갖으면서 기존의 에러 내성 기법보다 성능이 더 우수하다는 것을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a novel true-motion estimation technique supporting efficient frame error concealment for error-resilient video coding. In general, it is important to accurately obtain the true-motion of objects in video sequences for effectively recovering the corrupted frame due to transmission errors. However, the conventional motion estimation (ME) technique, which minimizes a sum of absolute different (SAD) between pixels of the current block and the motion-compensated block, does not always reflect the true-movement of objects. To solve this problem, we introduce a new metric called an absolute difference of motion vectors (ADMV) which is the distance between motion vectors of the current block and its motion-compensated block. The proposed ME method can prevent unreliable motion vectors by minimizing the weighted combination of SAD and ADMV. In addition, the proposed ME method can significantly improve the performance of error concealment at the decoder since error concealment using the ADMV can effectively recover the missing motion vector without any information of the lost frame. Experimental results show that the proposed method provides similar coding efficiency to the conventional ME method and outperforms the existing error-resilient method.

**Keywords :** Motion estimation, absolute difference of motion vectors (ADMV), error concealment, error-resilient video coding

### I. 서론

대부분의 동영상 압축표준에 적용된 움직임 보상에 예측기법 때문에 전송 에러는 한 장의 영상 프레임을 왜

곡시킬 뿐 아니라, 뒤따라오는 프레임으로 에러가 전파 되는 문제를 야기한다. 전송 에러에 의한 영상의 화질 왜곡을 줄이기 위해서 다양한 에러 내성 (error resilience, ER)기법들<sup>[1]</sup>이 연구되어 왔다. 여러 ER기법들 중, 에러 은닉 (error concealment, EC)기법<sup>[2]</sup>은 복호기에서 영상의 시-공간적 상관성을 기반으로 손실된 데이터를 복원하는 방법이다. 잉여 MV<sup>[3]</sup>과 같은 부가적

\* 정회원, \*\* 학생회원, \*\*\* 평생회원,  
고려대학교 전자공학과

(Dept. Electronic Engineering, Korea University)  
접수일자: 2008년12월4일, 수정완료일: 2009년4월13일

인 정보를 전송하여 EC 성능을 향상시키는 기법도 있다. 다른 종류의 ER기법들 중에 하나의 동영상을 두 개 또는 그 이상의 비트열로 나누어 부호화하는 기법<sup>[4-5]</sup>이 있다. 최근에는 부호기에서 양자화 왜곡과 더불어 EC 왜곡을 예측하여 비트율-왜곡 최적화를 수행하는 기법<sup>[6]</sup>이 연구되고 있다. 하지만 기존의 ER기법들은 전송망의 상황을 간단하게 가정하는 등 많은 가설이 필요하고 복잡한 계산량 때문에 실제 응용에 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 여러 내성이 있는 영상 부호화를 위해서 효과적인 프레임 EC를 제공하는 새로운 움직임 예측 (motion estimation, ME)기법을 제안한다. 현재 매크로블록 (macroblock, MB)의 화소들과 움직임 보상된 블록에 있는 화소들의 차이의 절대값 합 (sum of absolute different, SAD)를 최소화 하는 기존의 ME기법은 객체의 움직임을 정확하게 반영하지 못하기 때문에 실제 움직임과 거리가 먼 MV를 찾는 경우가 종종 발생한다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 현재 MB의 MV와 움직임 보상된 블록의 MV의 차이의 절대값 (absolute different of MVs, ADMV)을 새로운 기준으로 이용한다. 제안하는 ME기법은 SAD와 ADMV의 가중 합을 최소화시킴으로써 실제 움직임과 거리가 먼 MV들을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한, 제안하는 ME기법은 전송 과정에서 손실된 MV를 복호기에서 정확하게 복원하여 EC성능을 크게 향상시킬 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장은 제안하는 기법이 자세히 서술한다. 실험결과는 III장에서 논의된다. 마지막으로 IV장은 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 본 론

기존 SAD기반의 ME기법을 살펴본 다음, 새로운 MV 예측 기준인 ADMV를 소개한다. 그리고 ADMV기반의 제안하는 ME기법과 EC기법을 서술한다.

### 1. 기존의 움직임 예측 기법

현재 프레임  $F_n$ 에 임의의 MB,  $B_n$ 의 MV를 찾을 때, 이차원 좌표  $g$ 에 위치한 화소값을  $F_n[g]$ 라고 하면 후보  $MV_n^i$ 의 SAD는 다음과 같이 계산된다.

$$SAD(MV_n^i) = \sum_{g \in B_n} |F_n[g] - F_{n-1}[g + MV_n^i]| \quad (1)$$

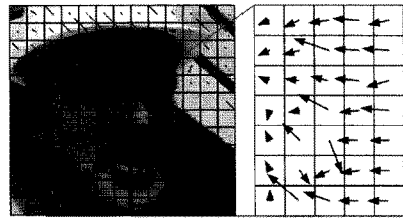


그림 1. SAD를 이용하는 기존의 ME기법의 결과 MV들  
Fig. 1. Resultant MVs of the conventional ME method using SAD.

여기서  $F_{n-1}$ 은 이전 프레임을 타낸다. 기존 ME기법은 탐색영역  $\mathcal{R}$  내에서 최소의 SAD를 갖는  $MV_n^i$ 를  $B_n$ 의 MV로 최종 선택한다.

$$MV_n^{opt} = \arg \min_{i \in \mathcal{R}} SAD(MV_n^i) \quad (2)$$

동영상 압축에서 SAD를 최소화 하는 목적은 움직임 보상에 의해 얻어진 잉여 영상을 부호화할 때 필요한 비트수를 줄이기 위한 것이다. 하지만 최소의 SAD를 갖는 MV가 항상 객체의 실제 움직임을 정확하게 반영하는 것은 아니다<sup>[7]</sup>. 실험을 통하여 기존의 ME기법이 실제 움직임과 거리가 먼 MV를 찾는 것을 확인할 수 있다. H.264/AVC의 참조코덱<sup>[8]</sup>을 이용하여 Foreman의 3번째 프레임에서 SAD를 최소화 하는 MV를 찾은 결과, 그림 1에서 보듯이 임펄스 잡음과 비슷한 MV들이 탐색되어 움직임 영역에서 심각한 단절이 발견되었다.

### 2. 제안하는 움직임 예측 기법

제안하는 ADMV를 설명하기에 앞서, 그림 2에 서로 다른 두 개의 후보 MV,  $MV^i$ 와  $MV^j$ 에 대해서 살펴 보자.  $F_n$ 의 임의의  $B_n$ 은  $MV^i$ 와  $MV^j$ 에 의해서 두

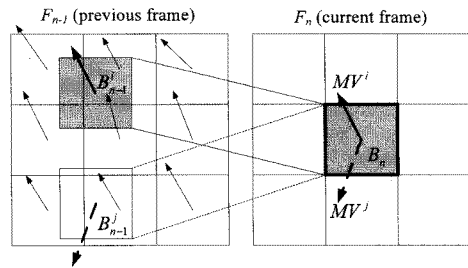


그림 2. 서로 다른 두 개의 후보 MV들에 의한 블록의 시간적 움직임의 예  
Fig. 2. Example of temporally moving blocks according to two different candidate MVs.

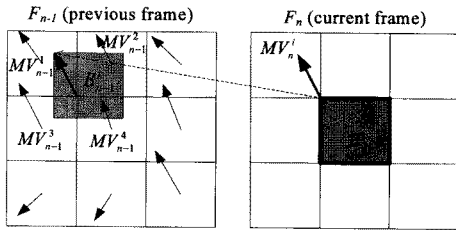


그림 3. 현재 MB의 MV와 움직임 보상된 블록의 MV 사이의 ADMV를 계산하는 예  
 Fig. 3. Calculation of ADMV between the current MB and its motion-compensated block.

개의 움직임 보상된 블록  $B_{n-1}^i$  와  $B_{n-1}^j$  을 갖게 된다.  $F_{n-1}$  에 각 MB의 MV가 그림 2처럼 실선의 화살표로 표시된 것과 같이 서로 유사한 방향성을 가지고 있을 경우,  $MV^i$  에 의해  $B_{n-1}^i$  에서  $B_n$  으로 움직이는 블록의 흐름은 주변 MB들의 흐름과 비슷하다. 하지만  $MV^j$  때문에  $B_{n-1}^j$  에서  $B_n$  으로 움직이는 경우, 블록 움직임의 급격한 변화를 야기하게 된다. 일반적으로 실제 동영상에서 객체는 천천히 부드럽게 움직이는 경향이 있다. 따라서  $MV^j$  보다  $MV^i$  가 객체의 실제 움직임을 더 정확하게 반영한다고 할 수 있다.

본 논문에서는 MV의 시간적 상관성을 고려한 새로운 기준인 ADMV를 제안한다. 그림 3에서 보는바와 같이  $F_n$  에 임의의  $B_n$  는 후보  $MV_n^i$  에 의해서  $F_{n-1}$  의  $B_{n-1}^i$  에 대응하게 된다. 하지만  $B_{n-1}^i$  는  $F_{n-1}$  의 특정 MB와 완전하게 겹치지 못하고 여러 MB들에 걸쳐 위치하게 되는 경우가 대부분이다. 따라서  $B_{n-1}^i$  의 MV를 다음과 같이 얻는다.

$$\widehat{MV}_{n-1}^i = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \cdot MV_{n-1}^k}{\sum_{k=1}^N w^k} \quad (3)$$

여기서  $w^k$  와  $N$  은 각각  $B_{n-1}^i$  와 겹치는 부분의 화소의 개수와 MB의 개수이다. 이렇게 얻어진  $\widehat{MV}_{n-1}^i$  를 이용하여 탐색영역  $\mathcal{R}$  내의 임의의 후보  $MV_n^i$  의 ADMV 값은 다음과 같이 정의된다.

$$ADMV(MV_n^i) = |MV_n^i - \widehat{MV}_{n-1}^i| \quad (4)$$

연속적인 프레임사이에서 객체는 급격하게 변하지

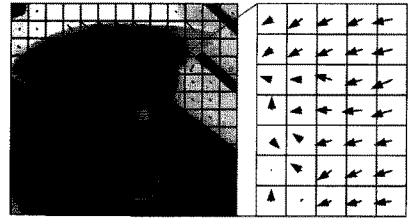


그림 4. ADMV를 이용하여 얻은 결과 MV들  
 Fig. 4. Resultant MVs obtained by using ADMV.

않는 특성을 갖기 때문에  $MV_n^i$  는  $\widehat{MV}_{n-1}^i$  와 유사한 값을 가져야 한다. 따라서 각 MB에 대해서 최소의 ADMV를 갖는 MV를 선택함으로써 움직임 영역에서 급격하게 변하는 MV들을 효과적으로 줄일 수 있다. 각 MB에 대해서 가장 작은 ADMV를 갖는 MV를 실험을 통하여 얻은 결과가 그림 4이다. 이 실험 결과에서 ADMV를 이용하는 ME기법이 MV들의 급격한 변화를 효과적으로 제거하는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 제안하는 움직임 예측 기법

기존의 SAD기반의 ME기법을 이용하면 주어진 비트율에서 최적의 화질을 얻을 수 있지만 실제 객체의 움직임과 거리가 먼 MV들이 야기된다. 반면, 제안한 ADMV기반의 ME는 실제 움직임과 비슷한 MV를 찾을 수 있으나 압축효율에 손실이 발생한다. 또한, 이전 프레임이 임펄스 잡음과 같은 왜곡된 MV를 가질 경우, 이어지는 다음 프레임의 MV들에 악영향이 계속 전달될 가능성이 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 본 논문에서는 SAD와 ADMV의 적응적 가중 합을 이용한 새로운 ME기법을 다음과 같이 제안한다.

$$MV_n^{opt} = \arg \min_{i \in \mathcal{R}} (\alpha SAD(MV_n^i) + \beta ADMV(MV_n^i)) \quad (5)$$

여기서  $\alpha$  와  $\beta$  는 각각 SAD와 ADMV의 영향력을 조절하는 가중 변수들이다. 제안하는 ME기법은 MV들이 시간적으로 급격히 변하는 것을 방지하고, 동시에 움직임 보상에 의해 얻어진 잉여 영상을 표현하기 위해 필요한 비트수를 줄일 수 있는 MV를 찾는다.

### 4. 프레임 에러 은닉 기법

인터넷과 같이 에러가 있는 전송망에서 패킷 손실에 의해 프레임 전체의 손실이 발생하였을 경우, 복호기에서는 손실된 프레임의 정보를 이용할 수 없기 때문에

기존의 SAD기반의 ME기법으로는 잃어버린 MV들을 복원할 수 없다. 하지만 제안한 ADMV기반의 ME기법은 손실된 프레임의 정보를 전혀 사용하지 않으므로 복호기에서 손실된 MV들을 효율적으로 예측할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 프레임 EC에서는 손실된 프레임의 각 MB에 대해서 최소의 ADMV를 갖는 MV를 이용하여 손실된 MB를 복구한다.

$$\widehat{MV}_n = \arg \min_{i \in \mathcal{R}} (ADMV(MV_n^i)). \quad (6)$$

빈틈이나 겹치는 부분 등의 문제가 있는 기존의 프레임 EC기법<sup>[2]</sup>과는 다르게 제안하는 ADMV기반의 EC기법은 손실된 프레임의 각 MB에 대한 MV를 독립적으로 복원하기 때문에 EC성능을 크게 향상시킬 수 있다.

### III. 실험 결과

본 논문에서 각기 다른 움직임 특징을 갖는 *Bus*와 *Football*, *Foreman*, 세 가지 동영상을 이용하였다. 각 동영상은 CIF (352x240)크기와 YUV 4:2:0 형식을 갖는 90개의 프레임으로 이루어져있다. 제안한 기법과 기존의 기법 모두 H.264/AVC 참고 코덱인 JM12.2<sup>[8]</sup>를 기반으로 구현하였다. 프레임 그룹 (group of picture, GOP)의 크기는 30으로 정하였다. 움직임 예측기법은 수평, 수직 방향 모두 ±16 화소의 탐색영역에서 1/4화소 해상도를 갖는 MV를 찾으며, 참조영상은 이전 한 프레임만을 이용하였다. 본 실험에서 비트율과 프레임율은 각각 400kbts/sec와 30Hz로 정하였다.

#### 1. 가중 변수 설정

본 논문에서 제안한 기법의 성능은 (5)에서 사용되는 두 개의 가중 변수,  $\alpha$  와  $\beta$  에 따라 가변적이다. 따라서 적절한 가중 변수를 설정하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 편의를 위해서,  $\alpha$  는 고정 상수 1로 설정하고  $\beta$  만 가변 변수라고 가정하였다. 그림 5는 400kbts/sec에서 가변 변수  $\beta$  의 값을 0부터 70까지 바꿔가면서 실험하여 얻은 PSNR결과를 보여주고 있다. 가변 변수  $\beta$  가 0이면 기존의 SAD기반 ME기법이 되고,  $\beta$  의 값이 커질수록 제안하는 ADMV의 비중이 증가함을 의미한다. 본 논문에서는 에러에 의한 프레임 손실이 있는 경우에 좋은 성능을 얻을 수 있는 가중 변수를 설정하는 것이 중요하다. 에러가 있는 환경을 만들기 위해서 매 GOP

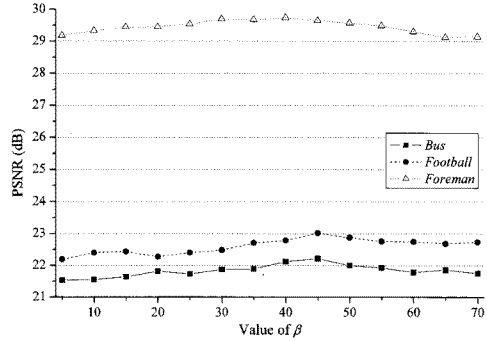


그림 5. 가변 변수에 따른 제안한 기법의 PSNR성능 비교

Fig. 5. Comparison of the PSNR performance of the proposed method according to various values of the weighting parameter.

표 1. 각 실험 동영상의 세 번째 프레임에서 모든 후보 MV들에 대한 SAD와 ADMV의 비율 (SAD/ADMV)

Table 1. Average ratios of SAD to ADMV for all candidate MVs of the 3rd frame on each sequence.

동영상	<i>Bus</i>	<i>Football</i>	<i>Foreman</i>	평균
비율	46.77	47.81	40.10	44.89

표 2. 각각의 기법으로 압축된 동영상의 PSNR성능 비교

Table 2. Comparison of the PSNR performance of video sequences compressed by different methods.

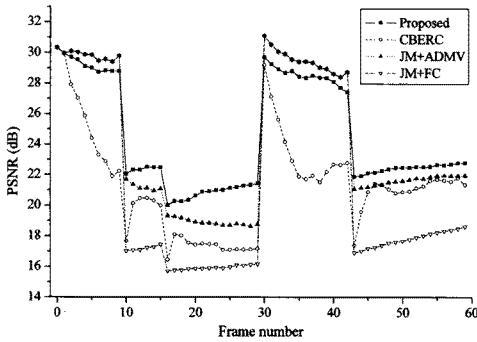
동영상	JM	CBERC	Proposed
<i>Bus</i>	29.29 dB	23.58 dB (-5.71)	27.90 dB (-1.39)
<i>Football</i>	29.54 dB	28.07 dB (-1.47)	28.38 dB (-1.16)
<i>Foreman</i>	36.47 dB	33.94 dB (-2.53)	35.70 dB (-0.77)

마다 한 프레임을 임의로 선택하여 손실된 프레임이라 가정하고, II장 4절에서 제안한 EC기법을 이용하여 복원하였다. H.264/AVC는 4x4블록마다 MV를 가질 수 있으므로 손실된 프레임의 각 4x4블록 단위로 손실된 MV를 복원하였다. 객관적인 실험을 위해서 손실된 프레임을 바꿔가며 20번의 실험을 반복 수행한 후 그 평균 결과를 그림 5에 나타내었다. PSNR성능은  $\beta$ 의 변화에 민감하지는 않지만  $\beta$ 의 값이 45일 때 가장 좋은 성능을 얻을 수 있었다.

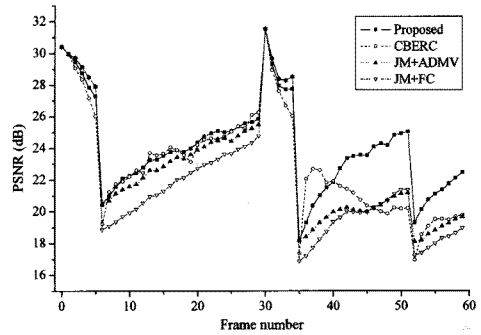
가중 변수  $\alpha$ 가 1일 때,  $\beta$ 가 45에서 최적의 PSNR성능이 얻어진 것은 매우 의미 있는 결과이다. 각 실험 동영상의 세 번째 프레임의 MV를 예측할 때 (1)과 (4)를

표 3. 다양한 PLR에서 손실 복원되고 에러가 전파된 프레임들의 평균 PSNR 비교  
 Table 3. Comparison of average PSNR of concealed and error-propagated frames for various PLRs.

동영상	PLR	JM+FC	JM+ADMV	CBERC	Proposed
Bus	3 %	17.85 dB	21.89 dB	20.46 dB	22.68 dB
	5 %	17.02 dB	20.41 dB	19.31 dB	21.60 dB
	10 %	16.21 dB	19.25 dB	18.72 dB	20.38 dB
Football	3 %	23.10 dB	23.74 dB	25.32 dB	25.11 dB
	5 %	21.22 dB	21.86 dB	23.25 dB	23.78 dB
	10 %	20.19 dB	20.42 dB	22.36 dB	22.72 dB
Foreman	3 %	27.07 dB	28.62 dB	28.44 dB	29.53 dB
	5 %	26.08 dB	27.57 dB	27.74 dB	28.57 dB
	10 %	24.97 dB	26.09 dB	26.68 dB	27.45 dB



(a)



(b)

그림 6. 5% PLR에서의 PSNR성능 비교 (a) Bus (b) Football  
 Fig. 6. Comparison of the PSNR performance with 5% PLR. (a) Bus. (b) Football.

이용하여 ADMV에 대한 SAD의 비율 ( $SAD/ADMV$ )을 계산해본 결과, 표 1에서와 같이 평균값이 대략 45임을 확인하였다. 이는  $\alpha$ 가 1이고  $\beta$ 가 45 일 때, (5)에서 SAD와 ADMV이 서로 비슷한 비중을 차지하게 된다는 것을 의미한다. 결국 각 MB에 대해서 최적의 MV를 찾을 때, SAD와 ADMV의 비중이 서로 유사할 때 제안하는 기법의 PSNR성능이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 앞으로의 실험에서는  $\alpha=1$ ,  $\beta=45$ 로 설정하였다.

2. 에러가 없는 경우 압축 효율 비교

본 논문에서 제안한 기법의 객관적인 성능비교를 위해서 기존의 JM과 CBERC<sup>[9]</sup>을 비교 대상으로 선정하였다. 제안하는 기법과 유사한 개념을 사용하는 CBERC은 압축하고자 하는 프레임의 MV를 찾을 때, 복호기에서 사용하는 EC에 의해 생성되는 잠재적인 왜곡을 고려하여 압축된 비트열에 INTRA 모드를 삽입함으로써 전송 에러에 강한 영상 부호화를 수행한다.

전송 에러가 없을 경우의 압축효율을 비교하기 위해

서 서로 다른 ME기법을 이용하여 400kbits/sec의 비트율을 갖는 압축된 비트열의 PSNR성능을 표 2에 정리하였다. 표 2의 음수로 표시된 값은 기본 JM과 비교하여 CBERC와 제안한 기법에 의해 발생하는 PSNR의 손실을 나타낸다. 제안한 기법은 JM과 비교하여 대략 1dB정도의 손실을 발생시켰다. 반면, CBERC의 경우, 최대 5dB이상의 성능저하를 보였다. 특히 Bus와 같이 복잡한 동영상의 경우, CBERC 부호기는 더 많은 MB들을 INTRA 모드로 부호화하게 되어 압축효율의 심각한 저하, 즉 PSNR성능의 큰 감소를 야기하게 된다.

3. 에러가 있는 경우 성능 비교

본 논문에서 제안한 기법과 CBERC는 모두 P-프레임의 손실만을 처리할 수 있으므로 본 실험에서는 I-프레임들의 손실은 발생하지 않는다고 가정하였다. 또한, 복호기에 도착하는 프레임의 번호를 이용하여 전송도중 손실된 프레임 손쉽게 파악하였다. 객관적이고 실질적인 성능평가를 위해서 실제 인터넷 망에서 발생하는 패킷 손실의 특징<sup>[10]</sup>을 고려하여 실험을 하였다. 실제

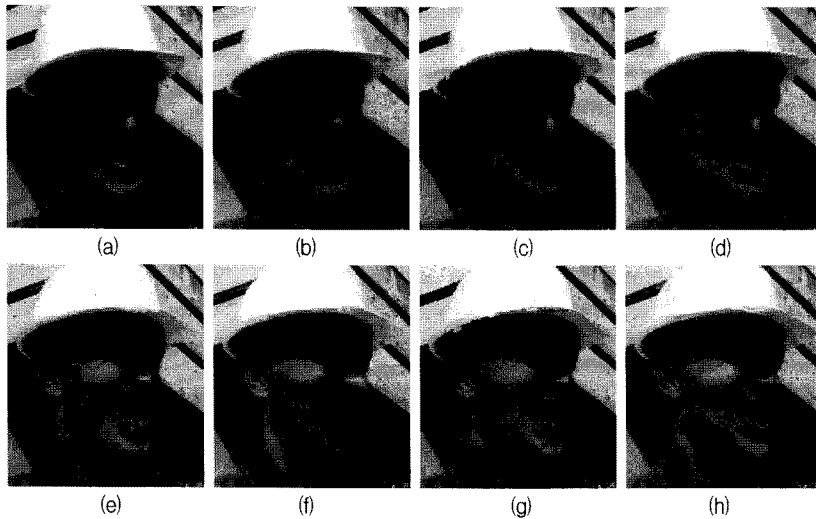


그림 7. 5% PLR에서 *Football*의 화질 비교; 각각 (a) JM+FC, (b) CBERC, (c) JM+ADMV, (d) 제안한 기법을 이용하여 복원된 4번째 프레임; (e) JM+FC, (f) CBERC, (g) JM+ADMV, (h) 제안한 기법에서 에러 전파에 의해 왜곡된 11번째 프레임

Fig. 7. Comparison of the visual quality of *Football* at 5% PLR. The 4th frame concealed by (a) JM+FC, (b) CBERC, (c) JM+ADMV, and (d) the proposed method. The 11th frame degraded by error propagation in (e) JM+FC, (f) CBERC, (g) JM+ADMV, and (h) the proposed method.

인터넷을 이용할 때 발생하는 대표적인 패킷 손실을 (packet loss rate, PLR)인 3%, 5%, 10%에 대해서 Wenger가 작성한 문서를 기반으로 하여 서로 다른 여러 패턴을 가지고 20번씩 실험을 반복 수행하였다.

기본 JM 복호기와 CBERC는 손실된 프레임을 전에 복호된 프레임으로 대처하는 프레임 복사기법 (frame copy, FC)을 사용하여 프레임 EC를 수행하였다. 제안한 기법은 ADMV기반의 ME기법을 이용하여 손실된 프레임을 복원하였다. 비록 같은 EC기법을 사용하더라도 부호방법이 다를 경우, EC성능이 달라질 수 있으므로 공정한 성능평가를 위해서 JM로 압축된 비트열에 대해서 ADMV기반의 ME기법을 적용하여 손실된 프레임 복원한 결과와 제안한 기법의 결과도 비교하였다.

#### 가. 객관적인 성능 평가

다양한 PLR에서 손실 복원된 프레임과 에러가 전파된 프레임의 평균 PSNR성능이 표 3에 정리되어 있다. 본 논문에서 제안한 기법은 JM+FC나 CBERC와 비교하여 최대 5dB까지의 성능 향상을 얻었다. 또한, JM+ADMV와 비교해서도 PSNR성능이 1dB이상 개선된 것을 확인할 수 있다. 더 자세한 비교를 위해서 5% PLR에서 전송된 두 동영상의 PSNR성능을 각 프레임

별로 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 PSNR의 급격한 감소는 각기 다른 기법의 EC성능을 나타는 반면, 같은 GOP내에서 복원된 프레임 뒤에 있는 프레임들의 PSNR은 에러 전파에 의한 화질의 왜곡을 의미한다. 그림 6에서 보면 제안한 기법이 기존의 기법들과 비교하여 대부분의 손실 복원된 프레임과 에러가 전파된 프레임에서 1~4dB 더 좋은 성능을 얻었다.

#### 나. 주관적인 성능 평가

제안한 기법은 PSNR성능의 향상뿐만 아니라 주관적인 화질에서도 더 좋은 결과를 얻었다. 그림 7은 *Foreman*에서 전송 에러에 의해 손실된 프레임을 각기 다른 기법으로 복원한 결과와 이어지는 프레임으로 에러가 전파된 결과를 보여주고 있다. 첫 번째 행은 각기 다른 기법으로 복원된 4번째 프레임이고, 두 번째 행은 에러 전파의 영향을 받은 11번째 프레임이다. JM+FC와 CBERC에 의해 복원된 프레임은 그림 7(a)와 (b)에 보듯 바와 같이 에러가 없는 것처럼 보이지만 현재 프레임이 아닌 이전 프레임이다. 따라서 11번 프레임을 포함하여 이어지는 프레임들의 화질은 에러 전파에 의해 그림 7(e)와 (f)에서처럼 심각하게 왜곡된다. JM에 의해서 생성된 이전 프레임의 MV는 실제 객체의 움직임을 정



그림 8. 3% 에러가 전파된 *Bus*의 9번째 프레임의 화질 비교 (a) 원영상 (b) CBERC (c) JM+ADMV (d) 제안한 기법  
 Fig. 8. Comparison of the visual quality of the error-propagated 9th frame on *Bus* at 3% PLR. (a) No error. (b) CBERC. (c) JM+ADMV. (d) Proposed method.

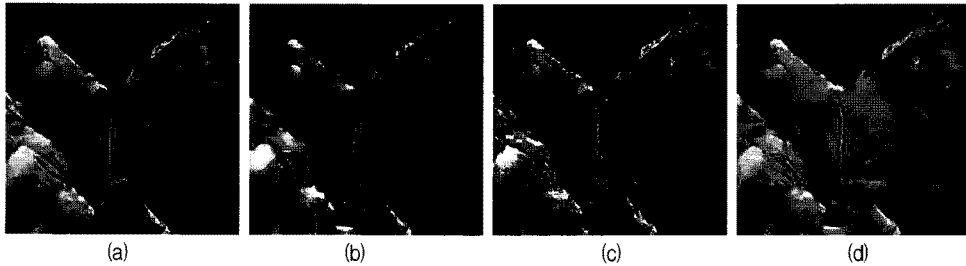


그림 9. 10% 에러가 전파된 *Football*의 21번째 프레임의 화질 비교 (a) 원영상 (b) CBERC (c) JM+ADMV (d) 제안한 기법  
 Fig. 9. Comparison of the visual quality of the error-propagated 21st frame on *Football* at 10% PLR. (a) No error. (b) CBERC. (c) JM+ADMV. (d) Proposed method.

확하게 반영하지 않기 때문에 JM+ADMV에 의해 복원된 영상에는 그림 7(c)과 같이 잘못된 MV예측에 의한 왜곡이 발생하게 된다. 이 왜곡은 그림 7(g)에서 보는바와 같이 이어지는 프레임에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 하지만 제안한 기법은 앞에서 언급한 다른 기법들과 비교하여 가장 자연스러운 복원 영상(그림 7(d))을 얻었다. 또한, 그림 7(h)에서 보듯이 에러 전파에 의한 왜곡 역시 효과적으로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

다른 동영상에 대해서도 본 논문에서 제안한 기법이 기존의 기법들 보다 더 좋은 결과를 얻는다는 것을 그림 8과 9에서 확인할 수 있다. 앞 절에서 언급하였듯이 CBERC는 *Bus*나 *Football*에서 심각한 압축효율의 손실의 야기하였다. 따라서 CBERC에 의해 압축된 동영상은 이미 심하게 왜곡되었기 때문에 그림 8(b)와 9(b)에서와 같이 심하게 저하된 화질을 보이게 된다. JM+ADMV의 경우 손실된 MV를 잘못 예측하여 *Bus*에서 버스의 앞 유리 와 조각상이 깨진 것처럼 보이고(그림 8(c)), 그림 9(c)에서와 같이 *Football*에서는 선수의 다리나 바지의 줄무늬가 끊어지게 되었다. 하지만 제안한 기법은 그림 8(d)와 9(d)에서 보듯이 *Bus*와 *Football* 모두에서 가장 좋은 결과를 획득하였다.

3. 계산량 비교

제안하는 기법의 효율성을 평가하기 위해서 한 프레임에 대한 ME를 수행하는데 걸리는 시간을 조사하여 표 4에 정리하였다. 1.5GHz CPU와 768MB RAM이 장착된 시스템에서 총 5회의 반복 실험 결과의 평균을 비교한 결과, CBERC와 제안하는 기법 모두 기존의 JM기법과 비슷한 계산량을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

표 4. 각 ME기법의 수행 시간 비교 (초/프레임)  
 Table 4. Comparison of the processing time for ME by different methods (secs/frame).

동영상	JM	CBERC	Proposed
<i>Bus</i>	1.419	1.431	1.428
<i>Football</i>	1.411	1.421	1.413
<i>Foreman</i>	1.298	1.313	1.308

IV. 결 론

본 논문에서는 에러에 강인한 영상 전송을 위하여 효과적인 프레임 손실 은닉을 제공하는 새로운 실제 움직임 예측기법을 제안하였다. 현재 MB의 MV과 이전 프레임에 있는 움직임 보상된 블록의 MV의 차이로 정의되는 새로운 기준인 ADMV를 제안하고, 기존의 ME기법들이 사용하는 기준인 SAD와 ADMV의 가중 합을

고려하여 새로운 ME기법을 제안하였다. 제안하는 ADMV기반의 ME는 손실된 프레임의 정보를 사용하지 않고 정확한 MV를 예측할 수 있으므로 복호기에서의 EC성능을 크게 향상시킬 수 있다. 실험을 통하여 제안하는 기법이 기존의 JM과 비슷한 압축효율을 얻을 뿐 아니라 전송 에러에 의한 화질 왜곡을 효과적으로 보상하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Y. Wang, S. Wenger, J. Wen, and A. K. Katsaggelos, "Error resilient video coding techniques," IEEE Signal Process. Mag., vol. 17, no. 4, pp. 61-82, July 2000.

[2] M.-C. Hwang, J.-H. Kim, H.-Y. Yang, S.-J. Ko, and A. W. Morales, "Frame error concealment technique using adaptive inter-mode estimation for H.264/AVC," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 54, no. 1, pp. 163-170, Feb. 2008.

[3] J.-S. Lee, J.-W. Kim, K.-H. Lee, and S.-J. Ko, "Residual motion coding method supporting error concealment in low bitrate video coding," Electron. Lett., vol. 41, no. 7, pp. 406-408, Mar. 2005.

[4] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, no. 9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.

[5] Y. Wang, A. R. Reibman, and S. Lin, "Multiple description coding for video delivery," Proc. IEEE, vol. 93, no. 1, pp. 57-70, Jan. 2005.

[6] H. Yang and K. Rose, "Advances in recursive per-pixel end-to-end distortion estimation for robust video coding in H.264/AVC," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, no. 7, pp. 845-856, July 2007.

[7] F. Dufaux and F. Moscheni, "Motion estimation techniques for digital TV: A review and a new contribution," Proc. IEEE, vol. 83, no. 6, pp. 858-876, June 1993.

[8] K. Sühring, Ed., JM 12.2 Reference Software. [Online] Available at: <http://iphome.hhi.de/~suehring/tml/download/>

[9] W. J. Chen and J.-N. Hwang, "The CBERC: A content-based error-resilient coding technique for packet video communications," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 11, no. 8, pp. 974-980, Aug. 2001.

[10] S. Wenger, "Error patterns for internet experiments," ITU-T VCEG Q15-I16r1.doc, Oct. 1999. [Online] Available at: [http://ftp3.itu.ch/avarch/video-site/9910\\_Red/](http://ftp3.itu.ch/avarch/video-site/9910_Red/)

저 자 소 개



**황 민 철**(정회원)  
2003년 고려대학교 전기전자전파 공학부 졸업  
2003년 3월~현재 고려대학교 전자공학과 석박사통합과정  
<주관심분야 : 영상처리, 압축 및 통신, 화질개선>



**김 준 형**(학생회원)  
2006년 고려대학교 전자공학과 졸업  
2006년~현재 고려대학교 전자공학과 석박사통합과정  
<주관심분야 : 영상처리, 압축 및 통신>



**고 성 제**(평생회원)  
1980년 고려대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1985년 State Univ. of NewYork at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과 석사 졸업  
1988년 State Univ. of NewYork at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과 박사 졸업

1988년~1992년 The Univ. of Michigan, Dearborn 전기 및 컴퓨터공학과 조교수  
1996년 IEEE APCCS Best Paper Award  
1997년 대한전자공학회 해동논문상  
1999년 한국통신학회 LG 학술상  
2000년 IET Fellow  
2004년 고려대학교 훌륭한 교수상 (학술부문)  
1992년~현재 고려대학교 전기전자전파공학과 부정교수  
2008년~현재 대한전자공학회 부회장  
<주관심분야 : 영상처리 및 압축, 멀티미디어 통신>