
시간적 에러은폐를 위한 공간적 스무딩

김동욱* · 김진태**

Spatial Smoothing for Temporal Error Concealment

Dong-wook Kim* · Jin-tae Kim**

요약

본 논문에서는 비디오 패킷 손실을 위한 새로운 시간적 에러 은폐기법을 제안한다. 각 손실 블록에 대한 에러 은폐는 시간적 움직임 보상을 바탕으로 보상된 블록과 주변 블록간의 경계에 대한 공간적 스무딩 동작에 의해 수행된다. 모의실험에서 제안된 기법은 기존의 기법들에 비해 약 2dB의 화질 향상을 가져왔다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new temporal error concealment method for video packet loss. Error concealment for each loss block is performed by temporal motion compensation and a spatial smoothing operation of boundary pixels between the compensated block and its surrounding blocks. In the simulation results, performance improvement for the proposed technique is on the average 2 dB in comparison with conventional techniques.

키워드

에러 은폐, 압축 비디오, 움직임 벡터, 공간적 스무딩

1. 서론

압축된 비디오 정보는 전송 또는 저장되는 동안 손상되거나 손실될 수 있다. 일반적으로 매우 높은 압축율이 적용되기 때문에 그러한 손상 또는 손실은 디코더에서 비디오를 복원할 때 현저한 시각적 왜곡을 초래할 수 있다. 따라서, 가능한 적절한 방법을 통하여 시각적 왜곡을 최소화할 수 있는 에러 은폐기법이 필요하다. 압축된 비디오 정보는 높은 압축율에도 불구하고 다양한 형태의 이유로 인하여 여전히 통계적 중복성을 띠고 있으며, 에러 은폐는 이러한 중복성을 바탕으로 효과적으로 달성될 수 있다.

수신단에서 에러 은폐를 하기 위해 여러 가지

기법들이 제안되었는데, 에러 은폐 기법은 크게 공간 영역에서의 에러 은폐기법과 시간영역에서의 에러 은폐기법으로 나눌 수 있다. 첫째, 공간영역에서의 에러 은폐기법은 공간적으로 인접한 4-근방 또는 8-근방 화소간의 밝기 또는 칼라 값은 매우 유사하다는 점에 근거한다. 이 특성은 정지영상이나 동영상 모두에 적용할 수 있는데, 4-근방 블록의 해당하는 계수들로부터 손상된 블록내의 각 손실된 계수를 보간하는 하였다 [1]. 블록이 손실되었을 때 가장 직접적으로 적용될 수 있는 방법은 주변의 블록으로부터 손실된 블록을 보간하는 것이다.

두 번째 유형인 시간 영역 보간 기법은 인접 프레임간 관계를 이용한다. 일반적으로 비디오 정보

*전주대학교 정보기술컴퓨터공학부

**한서대학교 컴퓨터학과

접수일자 : 2003. 9. 25

는 압축된 형태로 전송 또는 저장되는데, 이 때 대표적인 정보는 움직임 벡터와 예측오차이다. 만일 움직임 벡터가 손실되었다면, 공간적 혹은 시간적으로 인접한 블록들로부터 움직임 벡터를 추정하고 보상할 수 있다. Chu와 Leou[2] 등은 움직임 보상된 예측 및 보간 기법을 통해 손상된 블록의 에러 은폐를 시도하였으며, 또한 가장자리 정합 기준(side match criterion) 기법이 제시되었는데, 이 기법에서는 4-근방 인접 블록의 움직임 벡터를 이용하여 움직임 보상을 하고 가장자리 정합 기준에 의해 최소의 오차를 갖는 블록을 이용하여 움직임 보상한다 [3][4]. 이러한 기법에서는 4-근방의 인접 블록들이 손상되지 않았을 경우에는 어느 정도 에러 은폐의 효과를 가져온다. 그러나 인접 블록들이 모두 손상되었을 경우에는 왜곡이 커짐을 확인할 수 있다. 또한, 네트워크 상의 전송에러는 일반적으로 그 특성상 다발(burst) 에러로 발생되는데 위에서 제시된 방법들은 그러한 유형의 에러에는 매우 취약하다.

본 논문에서는 성공적인 시간적 에러 은폐기법의 적용을 위해 공간적 에러 은폐기법을 이용하며, 이를 위한 효과적인 에러은폐 기법을 제안하고자 한다.

II. 기존의 에러은폐기법

2.1. 시간적 에러은폐기법

비디오 정보는 공간적, 시간적으로 매우 높은 중복성을 가지고 있다. 이러한 중복성을 바탕으로 에러 은폐기법들을 적용할 수 있는데, 크게 공간적 영역에서의 직접적인 보간을 비롯하여, 변환계수 영역에서의 보간, 그리고 시간적 영역에서의 보간 등 다양한 형태로 적용하는 기법들이 제안되었다. 일반적으로 전송 도중에 발생하는 에러는 소규모 비트에서 많은 수의 비트 에러에 이르기까지 다양하게 발생할 수 있다.

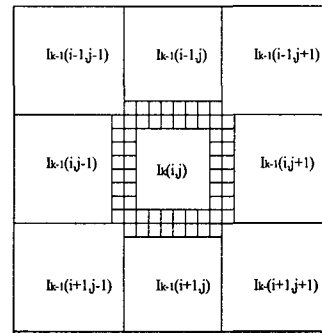


그림 1. SMC를 이용한 움직임 벡터의 결정
Fig. 1. SMC(side match criterion)

그림 1은 SMC(side match criterion)에 의해 움직임 벡터를 선택하는 것을 나타낸 것이다 [3][4]. 그림 1에서 살펴보면 블록 $I_k(i,j)$ 에서 전송된 움직임 벡터가 손실 또는 손상되었을 때, 4-근방 블록 즉, $I_{k-1}(i-1,j)$, $I_{k-1}(i,j-1)$, $I_{k-1}(i+1,j)$, $I_{k-1}(i,j+1)$ 의 움직임 벡터를 이용하여 블록 $I_k(i,j)$ 의 손실을 보상할 블록을 선택한다.

움직임 보상 기법을 이용한 에러 은폐의 또 다른 유형으로서 4, 또는 8 근방의 매크로 블록들이 갖는 움직임 벡터의 평균을 취하여 손실된 움직임 벡터를 구하는 방법이다. 그림 2는 손실된 매크로 블록과 인접한 8x8블록의 움직임 벡터를 추정하고, 손실 블록의 복원은 이 때 얻어진 4개의 벡터를 가중 평균하여 얻어진다 [5]. 즉, 이 매크로 블록의 가중평균 P는 식 (1)과 같다.

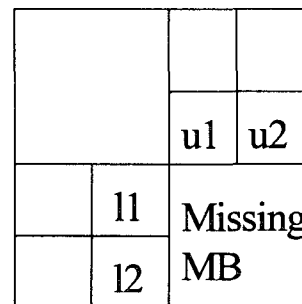


그림 2. 손실 매크로 블록과 주변의 8x8 블록
Fig. 2. A Missing macroblock and neighborhood 8x8 blocks

$$P = w_{u1}U1 + w_{u2}U2 + w_{l1}L1 + w_{l2}L2 \quad (1)$$

여기서 $U1, U2, L1, L2$ 는 손실된 매크로 블록과 인접한 8×8 블록의 움직임 벡터 4개를 이용하여 보상된 매크로 블록이며, 가중치 $w_{u1}, w_{u2}, w_{l1}, w_{l2}$ 는 매크로 블록의 위와 왼쪽의 경계를 따라 픽셀간 차의 제곱의 합이 최소가 되도록 선택된다.

2.2 기존 기법의 문제점

시간적 에러 은폐기법을 통해 손실 블록을 보간할 경우 배경과 같이 움직임이 없거나 움직임이 거의 없는 경우에는 주관적 및 객관적으로 양호한 화질을 얻을 수 있다. 그러나 움직임이 크거나 평행이동이 아닌 회전 등 복잡한 움직임을 포함한 블록이 손실되는 경우, 주변 블록과의 경계부가 유사한 화소 값을 가지지 못하는 경우가 대부분이며, 이 경우 손실 블록과 주변 블록간에는 매우 심각한 주관적 화질 열화가 초래될 수 있다.

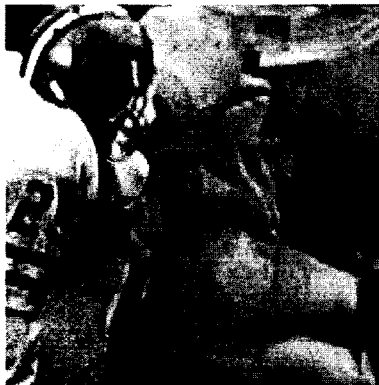


그림 3. 시간적 에러 은폐를 이용한 복구
Fig. 3. Recovery using temporal error concealment

그림 3은 기존의 에러 은폐기법을 적용하여 얻어진 영상이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 손실된 블록의 위치가 움직임클 경우, 주변 블록과 손실 블록의 경계부에서 큰 차이를 보인다. 따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 시간적 에러은폐기법을 바탕으로 공간적 스무딩 기법을 적용시키는 방법을 도입하고자 한다.

III. 공간적 스무딩을 이용한 시간적 에러 은폐

위에서 지적한 바와 같이 시간적 에러 은폐기법을 적용할 경우 움직임의 형태에 따라 에러 은폐된 블록과 그 블록과 인접한 주변 화소간에는 원 영상에서는 볼 수 없는 갑작스러운 변화를 나타내는 결과가 종종 발생된다. 본 논문에서는 시간적 에러 은폐된 블록과 그 인접한 경계간에 스무딩 기법을 적용함으로써 이러한 문제를 해결하고자 한다. 먼저 그림 4와 같이 손실 블록과 그 인접한 화소들의 위치관계 및 이들을 표현하는 기호들의 정의는 다음과 같다. $p(i, j)$ 는 손실된 블록 내의 (i, j) 위치의 화소를 나타내며, 손실된 블록과 바로 인접한 왼쪽, 오른쪽, 위, 아래의 경계화소를 각각 bL, bR, bT, bB 로 놓는다. 예를 들어 그림 4에서, $bL(12)$ 는 손실 블록의 $i=12$ 인 위치의 왼쪽 (Light) 경계화소를 가리킨다.

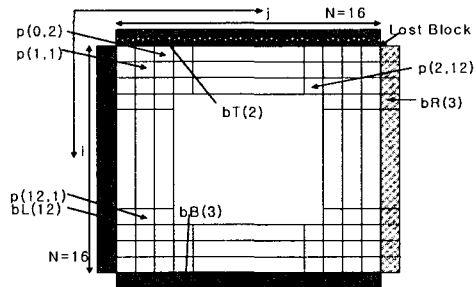


그림 4. 손실 블록의 공간적 스무딩
Fig. 4. Spatial smoothing of missing block

그림 4에서, 주어진 블록이 손실되었다고 가정하자. 그러면, 손실된 블록을 대체하기 위해 손실 블록과 인접한 주변 블록들의 움직임 벡터를 이용하여 움직임 벡터를 추정하고, 추정된 움직임 벡터를 이용하여 이전 프레임으로부터 해당 위치의 블록을 이용하여 손실된 블록에 대해 에러은폐를 시도한다. 이와 같은 과정을 통해 에러은폐 되었다고 가정하자. 이제 이 결과에 대해 공간적 스무딩 기법을 적용하고자 한다.

공간적 스무딩은 영상내의 화소들은 공간적으로 인접한 화소끼리는 화소 값이 매우 유사하다는 점에 기반을 둔다. 본 논문에서는 이러한 점에 착

안하여 손실블럭의 내의 화소들 중 경계부근에 가까운 화소일수록 경계에 인접한 주변화소인 $bL(i)$, $bR(i)$, $bT(j)$, $bB(j)$ 의 화소와 유사한 화소값을 가질 확률이 높다고 단정한다. 이러한 점을 고려하여 거리를 주 고려요소로 하는 가중치 함수를 도입하고, 이를 통해 스무딩을 수행하고자 한다.

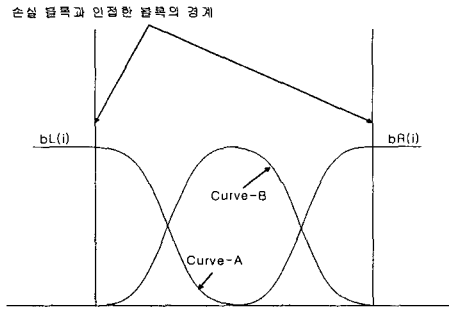


그림 5. 가중함수들
Fig. 5. Weight functions

그림 5에서 $bL(i)$ 과 $bR(i)$ 는 손실블럭과 경계부에 위치하는 화소를 나타낸다. 그림 5에서 curve-A를 나타내는 가중 함수를 $c_b(l)$ 이라고 하고, curve-B를 나타내는 가중치 함수를 $c_p(l)$ 라고 할 때, 손실 블록내의 임의의 화소값 $p(i,j)$ 에 대한 스무딩된 화소값 $\hat{p}(i,j)$ 은 다음과 같이 정의된다. 단, 여기서 l 은 경계로부터 $p(i,j)$ 까지의 거리를 의미하며, B_p 는 손실블럭과 인접한 각 화소에서 수직 또는 수평 위치에 바로 맞닿아 있는 경계부의 화소 값이다. 다만, 손실 블록의 화소로부터 경계면의 수직과 수평 화소까지의 거리가 동일할 경우 두 값의 평균이 적용된다.

$$\hat{p}(i,j) = \frac{c_b(l)B_p + c_p(l)p(i,j)}{c_b(l) + c_p(l)} \quad (2)$$

여기서 T 는 상수이며, $c_b(l) + c_p(l) = T$ 의 관계를 갖는다.

공간적 스무딩을 위한 가중치 함수는 그림 5에서와 같이 경계부의 화소와 관계되는 $c_b(l)$ 는 감

소함수의 성격을 가지며, 손실 블럭내의 화소값과 관계되는 $c_p(l)$ 는 증가함수의 성격을 띤다. 또한, 스무딩 처리가 되는 각화소의 위치에서 가중치 함수 값의 합인 $c_b(l) + c_p(l)$ 를 나누어 가중 평균값을 얻게 된다. 가중치 함수는 식(3)과 같이 가우시안 함수로 정의된다.

$$c(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2} \quad (3)$$

그림 5에서 보는 바와 같이 가중치 함수를 이용한 공간적 스무딩 기법에서는 화소 위치 (i,j) 에서의 화소값 $\hat{p}(i,j)$ 는 손실 블럭의 바깥쪽 화소일수록 경계화소에 곱해지는 가중치 $c_b(l)$ 가 크며, 중심에 가까울수록 경계화소에 곱해지는 $c_b(l)$ 가 작아지며, 반면에 $p(i,j)$ 에 곱해지는 $c_p(l)$ 가 커진다.

IV. 모의실험

본 장에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 몇 가지 컴퓨터 상에서 행한 모의 실험 데이터를 대상으로 성능을 비교 평가하고자 한다. 본 실험에 적용된 방법으로서는 아래 3가지 방법이 비교되었다.

- 방법-A: 이전 프레임의 동일한 위치 블록으로 에러 은폐하는 방법
- 방법-B: 가장자리 정합 방법 [3]
- 방법-C: 주변 블록의 가중평균방법 [5]

본 논문에서는 편의상 실험결과 비교를 위해 부호화를 행하지 않고, 전역 탐색 결과 얻어지는 움직임 벡터와 그 때 발생하는 예측 오차는 양자화 및 부호화를 적용하지 않고 그대로 전송된다는 가정 하에 실험을 행하였다.

대상 영상의 포맷은 720×480, 탐색 범위는 -15 ~ 15의 범위를 적용하였다. 또한, 블록의 크기는 MPEG-2 등에서 적용되는 매크로 블록크기인

16×16으로 하였다. 블록손실의 경우 7.5%의 손실율을 가정으로 실험을 행하였다. 이 경우 프레임당 1350개의 매크로 블록 중 약 100 개의 매크로 블록에서 손실이 발생하는 셈이며, 또한 각각의 블록 손실은 연속해서 5개의 블록이 손실되도록 설정하였다. 또한 식(2)에서 정의되는 $c_p(l)$ 의 합수로서 가우시안 함수를 사용하였는데, 식 (3)에서 σ 값은 3.5 로 설정하였다.

표 1은 'football' 영상열을 대상으로 컴퓨터 모의실험을 행한 결과이다. 모의 실험 결과 제안된 기법은 'football' 영상의 경우 이전 프레임의 동일한 위치의 블록을 이용하여 에러 은폐시키는 경우 (방법-A)는 29.03 dB, 기존의 SMC 기법 (방법-B)은 32.25, 인접 블록을 이용한 움직임 추정 및 이 결과의 평균을 취하는 방법 (방법C)의 경우 방법-B에 비해 약 0.09 dB, 그리고 제안된 기법은 방법-B, C에 비해 각각 2.07, 2.01 dB의 화질 향상을 가져왔다. 그림 6은 'football' 영상에 대한 모의 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

표 1. 모의실험 결과 비교(평균화질, dB)
Table 1. Comparison of simulation results(Average qualities, dB)

적용된 방법	영상화질
방법-A	29.03
방법-B	33.83
방법-C	33.89
제안방법	35.9

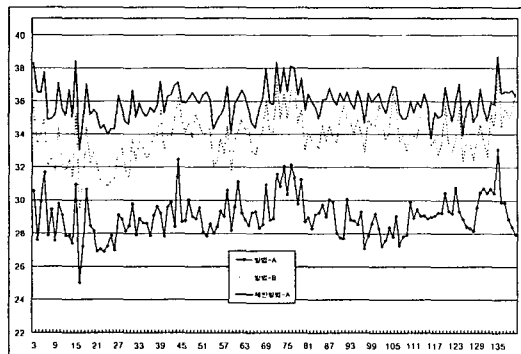


그림 6. 실험 결과('football images')
Fig. 6. Simulation results('football images')

V. 결론

본 논문에서는 동영상의 전송 도중 움직임 벡터의 손실로 인해 손실된 블록에 대한 새로운 에러 은폐기법을 제시하였다. 제안된 기법에서는 영상의 손실된 블록은 먼저 시간적 에러은폐 기법이 적용되고, 얻어진 결과에 대해 공간적 스무딩 기법이 적용되었다. 제안된 공간적 스무딩 기법은 시간적 에러은폐 기법이 적용된 블록과 손실되지 않은 인접 블록 사이의 차를 제거하거나 최소화함으로써 약 2dB 이상의 화질 향상을 이룰 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. S. Hemami and T. H. Meng, "Transform coded image reconstruction exploiting interblock correlation," IEEE trans. Image Processing, vol. 4, pp. 1023-1027, July 1995.
- [2] W-J. Chu, J-J. Leou, "Detection and concealment of transmission errors in H.261 images," IEEE Trans. Circuits and System for Video Technology, vol. 8, no. 1, pp. 248-258, Feb. 1998.
- [3] K. W. Kang, S. H. Lee, and T. Kim, "Recovery of coded video sequences from channel errors," SPIE, vol 2501, pp. 19-27, 1995.
- [4] M-J. Chen, L-G. Chen, and R-M. Weng, "Error concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation," IEEE Trans. Circuits and System for Video Technology, vol. 7, no. 3, pp. 560-563, June 1997.
- [5] S. Shirani, F. Kossentini, R. Ward, "Reconstruction over lossy networks," Proceedings of IEEE ICIP'98, 1998, pp. 487-491.

저자 소개

김동욱(Dong-wook Kim)

1987. 2 성균관대학교 전자공학과(공학사)
1992. 2 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1996. 8 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1997. 3-1998. 2 청운대학교 전임강사
1998. 3-현재 전주대학교 정보기술컴퓨터공부 조교수
재직
※ 관심분야 : 영상통신, 컴퓨터비전

김진태(Jin-tae Kim)

1987. 2 중앙대학교 전자공학과(공학사)
1989. 2 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1993. 8 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1995. 3-현재 한서대학교 컴퓨터정보학과 부교수 재직
※ 관심분야 : 영상통신, 생체인식, 정보보안 등임