

그래디언트 차를 이용한 확장된 블록매칭 기반의 에러은폐기법

정회원 김 동 욱*, 정회원 김 진 태**

Error Concealment based on Extended Block Matching using Gradient Difference

Dong-Wook Kim* Regular Members, Jin-Tae Kim** Regular Members

요 약

에러 은폐기법은 네트워크를 통한 영상회의 등 실시간 전송을 필요로 하는 응용분야에서 매우 유용한 기법이다. 본 논문에서는 불연속에 민감한 시각 특성을 고려하여 블록 경계의 차를 최소화하는 에러 은폐기법을 제안한다. 손실 블록에 대한 에러 은폐는 그래디언트 차에 기반을 둔 확장된 매칭 기법을 이용하여 달성된다. 제안된 기법은 실험 영상에 대한 컴퓨터 모의 실험을 통해 기존의 기법에 비해 평균 약 1.3dB 의 화질의 향상을 가져왔다.

ABSTRACT

The error concealment is very useful technique for real-time communication, such as video conference. In this paper, we propose the error concealment technique to minimize discontinuity of block boundary in consideration of the fact that human visual system is sensitive to discontinuity. The error concealment for each loss block is performed by extended block matching method based on gradient difference. In the simulation result, performance improvement for the proposed technique is on the average 1.32 dB in comparison with the conventional technique.

1. 서 론

유선 및 무선 네트워크 등을 통해 동영상을 전송할 때 여러 가지 형태의 전송에러가 발생할 수 있다. 동영상을 전송할 때 발생하는 전송에러를 효과적으로 다루기 위한 기법들이 적용되고 있는데, 이는 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있다. 첫째, 일반적인 데이터 전송에서 적용되는 에러 제어 및 복원 기법을 비디오 전송에 적용하는 경우이다. 이 유형의 기법들은 대부분 무손실 복원을 목적으로 하며, 대표적으로는 에러 순방향 오류 정정(FEC: forward error correction) 기법, 오류 제어 부호화(ECC: error control coding) 기법, 자동 재전송 요청(ARQ: automatic retransmission request) 등이 있다^[1]. 둘째, 송신측

과 별개로 수신측에서 신호를 재구성하거나 또는 에러 은폐(error concealment)를 행하는 경우이다.

동영상 신호는 방대한 데이터 양으로 인하여 압축된 형태로 전송되고 저장되는 것이 일반적이다^{[2][3]}. 네트워크 상에서 신뢰성있는 전송기법을 통해 동영상 신호를 전송하는 도중에 손실이 발생하는 경우, 손실 패킷을 재전송하는 기법이 가장 널리 사용되고 있다. 이 경우 단방향의 비디오 전송인 경우에는 버퍼링 기법 등을 적용하여 시간 지연 등의 문제를 해결할 수 있다. 그러나, 영상회의와 같이 양방향의 실시간을 요하는 경우 손실이 발생한 패킷을 재전송하는 방법은 네트워크의 상황에 따라 큰 지연을 초래하게 되어 원활한 양방향 통신이 불가능할 수 있다.

* 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 (dwkim@jeonju.ac.kr), ** 한서대학교 컴퓨터과학과 (jtkim@hanseo.ac.kr)
논문번호 : 020447-1014, 접수일자 : 2002년 10월 14일

따라서, 영상이나 음성 등 실시간을 요하는 양방향 멀티미디어 데이터 전송의 경우에는 패킷의 재전송을 통한 에러 복구 방법보다 수신단(receiver end)에서의 후처리(postprocessing)에 의한 에러 은폐기법이 바람직하다고 볼 수 있다.

이와 같이 수신단에서 에러 은폐를 하기 위해 여러 가지 기법들이 제안되었는데, 에러 은폐 기법은 크게 공간 영역에서의 에러 은폐기법과 시간영역에서의 에러 은폐기법으로 나눌 수 있다. 첫째, 공간 영역에서의 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 기법을 제안하였다⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. W. Kwok⁽⁷⁾ 등은 이를 위해 주변 블록의 에지를 이용하여 각 블록의 에지를 추정하는 방법을 적용하였다. Aign과 Fazel⁽⁸⁾ 등은 손실 블록의 추정 정확도를 높이기 위해 4-근방의 1-화소 너비의 경계로부터 손상된 매크로 블록 내의 화소 값을 보간하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 기법들은 블록내의 일부의 화소 값 또는 일부의 계수 값들이 손상되었을 때에는 다소의 정확도를 가질 수 있으나, 손상된 블록내의 대부분의 계수 또는 모든 계수들이 손실되었을 때는 4-근방 블록들에 있는 화소들로부터 해당 계수 값을 복원해야 하기 때문에 정확도가 매우 떨어지기 쉽다.

에러 은폐기법의 두 번째 유형은 시간 영역 보간 기법이다. 일반적으로 비디오 정보는 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⁽⁹⁾ 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⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. Salama⁽¹²⁾ 등은 MRF (Markov Random Field) 모델에 바탕을 둔 에러 은폐 기법을 제안하였다. 이러한 기법에서는 4-근방의 인

접 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 4-근방 인접 블록들을 포함하는 연속적인 손실 블록이 발생하였을 때 효과적인 새로운 에러 은폐 기법을 제안하고자 하며, 이를 위하여 손실 블록간 경계의 불연속을 최소화하는 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 에러 은폐기법에 관해 살펴보고, III장과 IV장에서는 새로운 에러 은폐기법 및 모의실험 결과를 제시하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 시간적 상관성 기반의 에러은폐기법

동영상 데이터의 전송 에러에 대한 에러 은폐기법은 일반적으로 손상된 블록과 공간적으로 인접한 블록 또는 시간적으로 인접한 이전 블록 사이의 상관성을 이용한다⁽¹⁾. 일반적으로 전송 도중에 발생하는 에러는 소규모 비트에서 많은 수의 비트 에러에 이르기까지 다양하게 발생할 수 있다. 그런데 MPEG-1, 2를 비롯하여 현재의 여러 가지 동영상 압축기법은 VLC(variable length coding) 기법을 사용하기 때문에 단일 비트 에러에 의해서도 뒤따르는 코드에 영향을 미치며, 다음 번 동기화 코드가 나타날 때까지 복호화할 수 없고 복호화 하더라도 이를 영상 재구성에 이용할 수 없다.

그림 1은 SMC(side match criterion)에 의해 움직임 벡터를 선택하는 것을 나타낸 것이다⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. 그림 1에서 살펴보면 블록 $I_k(i, j)$ 에서 전송된 움직임 벡터가 손실 또는 손상되었을 때, 4-근방 블록의 움직임 벡터를 이용하여 블록 $I_k(i, j)$ 의 손실을 보상할 블록을 선택한다. 이 기법은 4-근방의 움직임 벡터가 손실되지 않은 경우에는 잘 동작한다. 그러나, 일반적으로 움직임 벡터에 손실이 발생한 경우 4-근방 벡터가 모두 유효한 경우는 가능성이 적으며, 이 경우 대상 움직임 벡터 중 선택된 벡터는 큰 오류를 가질 가능성이 크다. 또한, 손실된 블록을 이전의 동일한 블록위치와 비교하는 것이 아니라 화소간의 유사성을 바탕으로 비교가 이루어지기 때문

에 만일 블록간의 경계에 이동 물체의 경계가 존재하는 경우 매우 잘못된 선택의 결과를 초래할 수 있다.

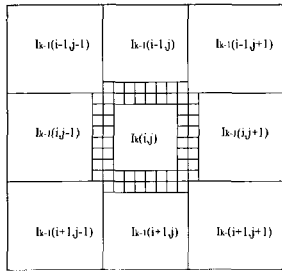


그림 4. SMC방법의 움직임 벡터의 선택

그림 2는 손실된 매크로 블록과 인접한 8×8블럭의 움직임 벡터를 추정하고, 손실 블록의 복원은 이 때 얻어진 4개의 벡터를 가중 평균하여 얻어진다^[13]. 즉, 이 매크로 블록의 가중평균 P는

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

여기서 U1, U2, L1, L2는 손실된 매크로 블

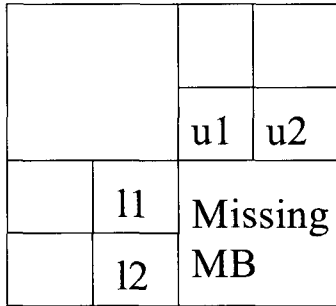


그림 5. 손실 매크로 블록과 주변의 8×8 블록

록과 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. 이 기법은 4개의 결과를 가중 평균함으로써 블록간 불연속을 스무딩시키는 효과를 가져올 수 있으나 효율적인 에러 은폐를 하기가 힘들다. 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^[14].

이상과 같이 기존의 여러 가지 에러 은폐기법을 살펴보았는데, 기존의 시공간적 상관성을 이용한 에러 은폐기법이 갖는 문제점으로서 다음의 2가지를 지적할 수 있다. 첫째, 손실된 블록을 중심으로 4-근방 블록의 움직임 벡터를 이용하는 경우 4-근방 블록이 손실되거나 손상되지 않았을 경우에는 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 일반적으로 MPEG -1, 2^{[2][3]} 등에서 볼 수 있는 것과 같이 엔트로피 부호화의 일환으로 VLC를 사용하기 때문에 단순한 단일 비트 에러인 경우에도 많은 비트에 영향을 미친다. 특히 패킷이 손실되는 경우에는 많은 블록들이 손실 또는 손상되며, 이 경우에 손상된 블록을 중심으로 한 4-근방 블록 중 에러 은폐에 이용될 수 있는 블록은 1, 2개의 블록으로 제한된다. 이 경우의 에러 은폐 성능은 매우 떨어진다. 둘째, 4-근방 또는 여러 가지 대상으로 하는 블록을 이용하여 에러 은폐를 하고자할 때, 손상된 블록의 인접한 화소 정보를 이용하여 추정을 하기 때문에 오류 발생의 가능성이 매우 높다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 본 논문에서는 새로운 평가함수를 구성하고, 새로운 평가 방법을 이용하여 손실된 블록의 움직임 벡터를 추정하는 방법을 제안한다.

III. 확장된 블록매칭을 이용한 움직임 벡터 복원기법

3.1. 확장된 블록매칭 기법

기존의 연구 중 SMC 기법은 4-근방 블록과의 비교를 위해 손실 블록 외부의 가장자리와 이전 프레임의 후보 블록 내부의 가장자리를 비교한다. 이 경우 4-근방의 블록 벡터가 손실되지 않았을 경우에는 좋은 결과를 가져올 수 있으나, 일반적으로 패킷의 에러는 연속적으로 발생하기 때문에 4-근방의 움직임 벡터가 온전한 확률은 매우 낮다. 또한, 전후 프레임끼리 공간적으로 동일한 블록위치끼리 매칭을 시도하는 것이 아니라 전후프레임의 인접 화소끼리 매칭을 시도하기 때문에 블록의 경계부가 서로 다른 이동물체의 경계와 일치하면 매우 큰 오류를 발생시킬 여지가 크다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 확장된 블록 매칭기법을 제안한다. 그림 3

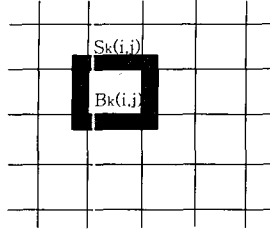


그림 7. 손실 블록의 확장

에서 $B_k(i,j)$ 는 프레임 I_k 의 손실된 블록이며, 이전 프레임 I_{k-1} 로부터 움직임 보상키 위해 $B_k(i,j)$ 를 중심으로 확장된 블록 $S_k(i,j)$ 를 기준 영역으로 하고 이전 프레임으로부터 움직임 추정을 행한다. 이 경우 손실된 블록 $B_k(i,j)$ 는 연산에서 제외된다.

3.2. 밝기 값의 공간분포를 고려한 평가방법

블록 매칭에서 기존의 가장 널리 사용되는 평가 함수로는 MAD (Mean absolute difference), MSE(Mean square error) 등이 이용된다. 일반적으로 블록 정합에서는 이러한 계산 방법을 통해서 최적의 매칭점을 추정하는 것은 비교적 수용할만한 정확성을 갖는다. 그러나 본 논문의 목적에서와 같이 블록 정보가 손실되면, 그 블록내의 정보를 이용하지 못하고 그 외의 정보를 이용하여 움직임 벡터를 복원해야 하기 때문에 또 다른 사항의 고려가 요구된다. 예를 들어, 그림 4와 5를 비교해 보자.

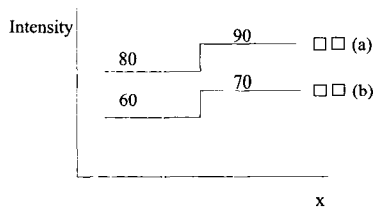


그림 9. 두 신호의 비교 (1)

그림 4, 5에서 신호 (a)와 신호 (b)의 유사도를 알아보자. 각각의 경우 x의 전 구간에 대해 두 신호에 대한 MAD 구해보면 모두 평균 20으로 추정할 수 있다. 즉, 신호의 형태가 서로 다름에도 불구하고 각각의 MAD를 구해보면 동일한 결과가 나오는 문제점을 발견할 수 있다. 이 때, 두 신호의 거리 x에 대한 신호의 유사도는 그림 4가 그림 5보다 유사성

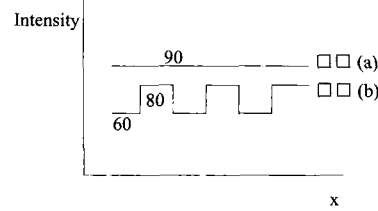


그림 10. 두 신호의 비교 (2)

이 높다고 할 수 있다. 즉, 그림 4의 경우는 조명의 변화 등에 의해서도 이와 같은 밝기 변화를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하고, 블록 경계에서 에지의 불연속을 최소화하기 위해 그래디언트 차를 바탕으로 블록 외부 매칭을 위한 새로운 평가 함수 EBMC (Extended Block Matching Criterion)을 식 (2)와 같이 제안한다.

$$EBMC(i,j) = [a_1MSE(i,j) + a_2DOG(i,j)] \quad (2)$$

여기서 MSE(i,j) 는

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [I_k(p,q) - I_{k-1}(p+i,q+j)]^2 \quad (3)$$

이고, DOG(i,j) 는

$$\frac{1}{R} \sum_{p,q \in R} [(\frac{\partial I_k(p,q)}{\partial x} - \frac{\partial I_{k-1}(p+i,q+j)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial I_k(p,q)}{\partial y} - \frac{\partial I_{k-1}(p+i,q+j)}{\partial y})^2] \quad (4)$$

이다. 이 때, I_k 는 현재 프레임, I_{k-1} 은 인접한 이전 프레임이 된다. 식 (3)는 블록간의 차의 제곱의 합을 나타내며, 식 (4)의 $DOG(i,j)$ 는 그래디언트 차의 제곱의 합을 나타낸다. 또한, $\frac{\partial I_k}{\partial x}$ 는 임의의 화소에서의 1차 미분을 의미하며, 이는 화소당 밝기 변화를 나타낸다. 또한, 식 (2)의 a_1 와 a_2 는 가중치 상수이며, 식 (4)의 R은 확장된 블록에서 손실 블록을 제외한 영역을 의미한다.

본 논문에서는 잡음의 영향을 최소화하기 위해 식 (4)의 $\frac{\partial I}{\partial x}$ 및 $\frac{\partial I}{\partial y}$ 를 식 (5)와 같이 정규화하여 적용한다.

$$\begin{aligned} &\text{if } \frac{\partial I}{\partial x} > 0, \frac{\partial I}{\partial x} = 1 \\ &\text{else if } \frac{\partial I}{\partial x} < 0, \frac{\partial I}{\partial x} = -1 \\ &\text{else } \frac{\partial I}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$\frac{\partial I}{\partial y}$ 도 식 (5)와 마찬가지로 적용된다.

IV. 모의 실험 및 검토

본 논문에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 아래의 방법들에 대한 모의 실험을 행하고 그 결과를 비교 평가하고자 한다. 즉, 손실된 블록을 복원하는 방법으로서,

- 방법1: 이전 프레임의 손실된 블록과 동일한 위치 블록. 즉 움직임 벡터를 영(zero)으로 하는 방법.
- 방법2: 가장자리 정합 기법 (side match criterion) 기법^[11]
- 방법3: 기존방법^[13]
- 방법4: 제안된 방법

등 4가지의 방법을 비교하였으며, 상대적 비교를 위해 손실이 없는 경우, 즉 움직임 보상을 한 영상의 데이터를 첨부하였다. 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 -20 ~ 20의 범위를 적용하였다. 또한, 블록의 크기는 MPEG -1, 2 등에서 적용되는 매크로 블록크기인 16×16으로 하였다. 블록손실의 경우 7.5%의 손실율을 가정으로 실험을 행하였다. 이 경우 프레임 당 1350개의 매크로 블록 중 약 100 개의 매크로 블록에서 손실이 발생하는 셈이며, 또한 각각의 블록 손실은 연속해서 5개의 블록이 손실되도록 설정하였다. 또한 식 (2)의 상수 a_1, a_2 는 각각 1과 2를 사용하였다.

표 1은 'football' 및 'mobile' 영상열을 대상으로 컴퓨터 모의실험을 행한 결과이다. 여기서 '무손실'은 움직임 추정 및 그 결과를 바탕으로 움직임 보상된 영상을 의미한다. 모의 실험 결과 제안된 기법은 'football' 영상의 경우 이전 프레임의 동일한 위치의 블록을 이용하여 에러 은폐시키는 경우는 27.68 dB, 기존의 SMC 기법은 32.25, 인접 블록을

이용한 움직임 추정 및 이 결과의 평균을 취하는 방법 (방법3)의 경우 SMC에 비해 약 0.34 dB, 그리고 제안된 기법은 SMC에 비해 약 1.32 dB의 화질 향상을 가져왔다.

표 1. 모의실험 결과 비교(평균화질, dB)

영상	football	mobile
무손실	36.38	37.55
방법1	27.68	28.98
방법2	32.25	34.97
방법3	32.25+0.34	34.97+0.81
제안방법	32.25+1.32	34.97+1.30

그림 6과 7은 각각 'football' 영상과 'mobile' 영상에 대한 모의 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8, 9, 10, 11은 여러 가지 기법을 이용하여 에러 은폐를 행한 결과영상이다. 'football' 영상에 대한 실험 결과와 'mobile'영상의 결과를 비교할 때, 'football' 영상의 경우 움직임이 매우 크며, 따라서, 기존의 방법2, 3에 비해 제안된 기법이 매우 효과적임을 알 수 있으며, 'mobile' 영상의 경우 움직임이 비교적 크지 않기 때문에 기존의 방법 3과 상대적으로 차이가 적다. 제안된 기법은 위의 결과로부터 고찰해 볼 때, 움직임이 큰 영상에 더욱 더 효과적인 기법임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 압축된 동영상의 통신 과정에서 블록 벡터가 손실되었을 때 손실된 블록 경계에서의 불연속을 최소화하고, 인접한 블록의 움직임 벡터가 연속으로 손실되었을 경우에도 에러 은폐를 효과적으로 달성하는 새로운 방법을 제안하였다. 이를 위해 그라디언트 차를 바탕으로 확장된 블록 매칭을 행하였다. 제안된 기법은 4-근방 블록의 움직임 벡터가 손실되었을 때도 강건한 결과를 보였으며, 모의 실험 결과 제안된 기법은 영상의 종류 및 움직임 정도에 따라 기존의 여러 가지 기법에 비해 0.34dB에서 1.3dB에 이르는 화질의 향상을 가져왔다. 특히, 움직임이 큰 영상의 경우 더 좋은 화질 향상을 가져왔다.

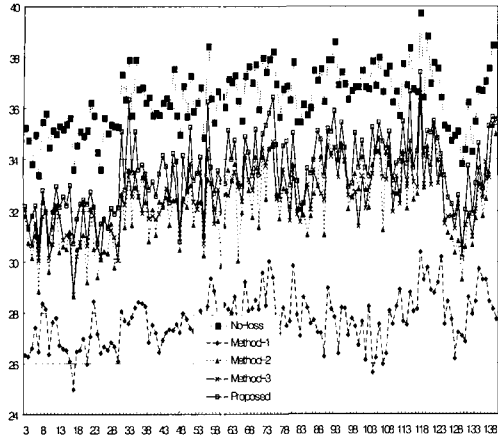


그림 6. 'football' 영상에 대한 결과

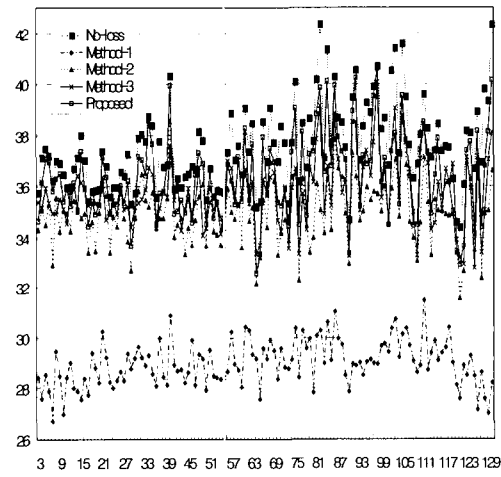


그림 7. 'mobile' 영상에 대한 결과

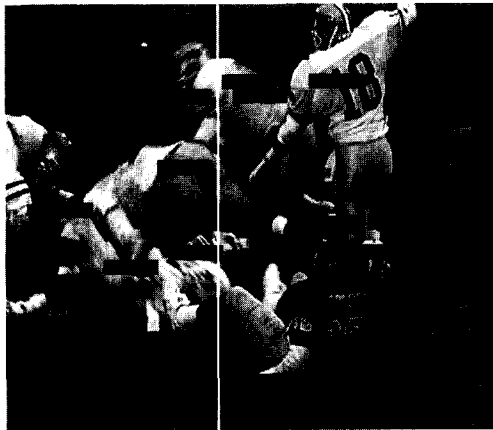


그림 8. 손실이 발생한 블록('football'영상)



그림 9. 이전 프레임의 동일위치 블록을 이용한 에러 은폐

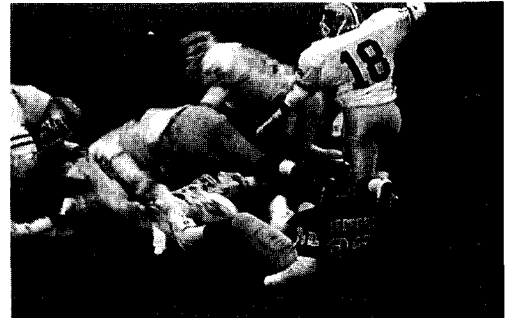


그림 10. SMC 방법에 의한 에러 은폐

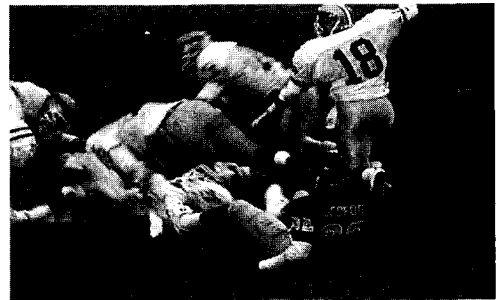


그림 11. 제안된 방법에 의한 에러 은폐

참고문헌

[1] Y. Wang and Q. F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review," Proceedings of

김 진 태(Jin-Tae Kir)

정회원



1987년 2월 : 중앙대학교

전자공학과 졸업

1989년 2월 : 중앙대학교 대학

원 전자공학과 공학석사

1993년 8월 : 중앙대학교 대학

원 전자공학과 공학박사

1995년 3월 ~ 현재 : 한서대

학교 컴퓨터과학과 부교수

<관심분야> 영상통신, 얼굴인식, 정보보호