

경계 영역 특성과 적응적 블록 정합을 이용한 시간적 오류 은닉

Temporal Error Concealment Using Boundary Region Feature and Adaptive Block Matching

배 태 옥*, 김 승 진**, 김 태 수**, 이 건 일***
(Tae-Wuk Bae, Seung-Jin Kim, Tae-Su Kim, Kun-Il Lee)

Abstract - In this paper, we proposed an temporal error concealment (EC) using the proposed boundary matching method and the adaptive block matching method. The proposed boundary matching method improves the spatial correlation of the macroblocks (MBs) by reusing the pixels of the concealed MB to estimate a motion vector of a error MB. The adaptive block matching method inspects the horizontal edge and the vertical edge feature of a error MB surroundings. and it conceals the error MBs in reference to more stronger edge feature. This improves video quality by raising edge connection feature of the error MBs and the neighborhood MBs. In particular, we restore a lost MB as the unit of 8×16 block or 16×8 block by using edge feature from the surrounding macroblocks. Experimental results show that the proposed algorithm gives better results than the conventional algorithms from a subjective and an objective viewpoint.

Key Words : Error concealment, boundary matching, macroblock, motion vector

1장 서론

디지털 영상 신호를 제한된 대역폭의 전송 채널로 효과적으로 전송하기 위하여 H.263 및 MPEG 등의 부호화 방법이 사용되고 있다. 이들 부호화 방법들에 의하여 부호화된 영상 신호는 케이블 및 전파 등의 전송 매체를 통하여 전송되는 과정에서 신호간의 간섭, 열잡음, 및 전송 시스템의 불안정성 등으로 비트 오류가 발생할 수 있다.

전송 비트열 중 하나의 비트 오류가 발생하더라도 비디오 수신기에서 복호된 대상 프레임 (frame)에서는 심각한 화질 저하가 발생하며 프레임 간 예측에 의하여 생성되는 인접 프레임에 대해서도 연속된 화질의 저하를 가져올 수 있다. 이는 대부분의 부호화 방법들이 영상 신호를 부호 길이가 일정하지 않는 가변 길이 부호화 (variable length coding, VLC)에 의해 부호화하므로, 비트 오류에 의하여 잃어버린 동기롤 다시 찾을 수 없기 때문이다.^[1] 특히, 슬라이스 (slice) 단위로 오류가 발생하였을 경우 영상의 주관적 화질 열화는 더욱 두드러진다. 이러한 비트 오류를 은닉하여 일정한 화질을 유지하기 위한 오류 은닉 방법들이 연구되어 왔다.^{[2]-[5]}

오류 은닉 방법 중 제로 움직임 벡터 (zero motion vector, ZMV)를 이용하는 방법은 손실된 매크로블록과 동일한 위치에 있는 이전 프레임의 매크로블록으로 오류를 은닉한다.^[5] 그러나 이 방법은 움직임이 있는 인접 프레임에서는 같은 위치의 매크로블록들은 상관성이 적기 때문에 오류 은닉 성능이 매우 낮다.

1993년 Lam 등^[3]은 손실된 매크로블록 주변의 경계화소를 이용하여 움직임 벡터를 추정하여 복원하는 경계 정합 알고리즘 (boundary matching algorithm, BMA)을 제안하였다. 이 방법에서는 손실된 매크로블록 주위의 왼쪽, 오른쪽, 위쪽,

및 아래쪽 매크로블록의 경계값들 사이의 차가 최소가 되는 매크로블록을 공간적 상관성을 이용하여 이전 프레임에서 선택하여 복원한다. 하지만 이 방법은 손실된 매크로블록 주위의 한 줄의 경계 화소들을 사용하기 때문에 움직임이 크고 에지를 포함하는 복잡한 영역일 경우에는 오류 은닉된 매크로블록의 신뢰도가 떨어진다.

2000년 Zhang 등^[4]은 기존의 경계 정합 알고리즘 방법을 수정하여 복호 움직임 벡터 추정 (decoder motion vector estimation, DMVE) 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 손실된 매크로블록 주위의 여러 줄의 경계 화소들을 사용하기 때문에 이 방법은 경계 정합 알고리즘보다 좋은 성능을 보인다. 하지만 경계 정합 알고리즘과 마찬가지로 오류 은닉된 프레임에서 블록화 현상 (blocking effect)이 발생하고 움직임이 많은 영역에서는 좋지 못한 성능을 보인다.

본 논문에서는 비디오 데이터의 전송 도중 발생한 블록 오류로 인한 화질 열화를 보상하기 위하여 경계 영역 특성과 적응적 블록 정합 방법을 이용한 시간적 오류 은닉 방법을 제안하였다. 제안한 경계 정합 방법에서는 이미 은닉된 매크로블록의 화소들을 손실된 매크로블록의 은닉을 위한 경계 화소로 재사용함으로써 매크로블록들 사이의 공간적 상관성을 높이고 손실된 매크로블록 주위의 수평 에지 특성과 수직 에지 특성을 이용한 적응적 블록 정합 방법을 수행하여 에지 특성이 강한 방향으로 오류를 은닉한다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 객관적 및 주관적 화질 측면에서 성능이 우수함을 확인하였다.

2장 제안한 오류 은닉 알고리즘

2.1절 제안한 경계 정합 방법

은닉된 매크로블록 간의 블록화 현상을 방지하기 위해서 그림 1과

저자 소개

* 학생회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 석사과정
ftendcorps@mail2.knu.ac.kr

** 비회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정

*** 비회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

같이 이미 은닉된 왼쪽 매크로블록의 경계화소들을 재사용한다.

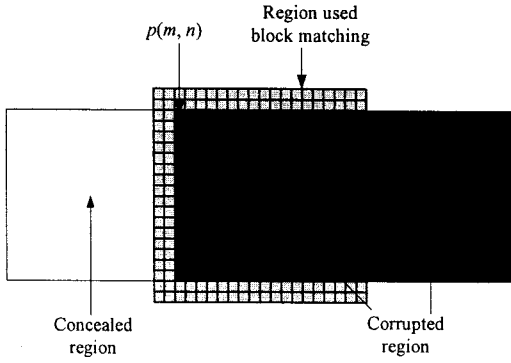


그림 1. 제안된 경계 정합 영역

손실된 매크로블록은 $N \times N$ 개의 화소로 이루어져 있고, 손실된 매크로블록의 왼쪽 상단의 화소 위치를 (m, n) 그리고 그 밝기값을 $p(m, n)$ 이라고 정의한다. 손실된 매크로블록 주변의 위쪽, 왼쪽, 및 아래쪽 경계에서의 차이값 D_T , D_L , 및 D_B 는 각각

$$D_T = \sum_{i=0}^{N+3} \sum_{j=0}^1 |\hat{p}(m-2+i, n+2+j) - p(m-2+i, n+2+j)|$$

$$D_L = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^{N-1} |\hat{p}(m-2+i, n+j) - p(m-2+i, n+j)|$$

$$D_B = \sum_{i=0}^{N+3} \sum_{j=0}^1 |\hat{p}(m-2+i, n-N+j) - p(m-2+i, n-N+j)|$$
(1)

와 같이 구해진다. 여기서 $\hat{p}(m, n)$ 은 이전 프레임에서 $p(m, n)$ 과 동일 위치의 화소 밝기값을 의미한다. 이러한 경계에서의 차이값의 합 D_{SUM} 은

$$D_{SUM} = D_T + D_B + \alpha \cdot D_L$$

where $\alpha = \begin{cases} 1 & \text{for } R \in R_{non-error} \\ 1/2 & \text{for } R \in R_{rec} \end{cases}$

(2)

이다. 이 값이 최소가 되는 위치를 움직임 벡터로 추정한다. 또한 D_L 이 계산되는 영역 R 은 오류가 발생하지 않은 영역 $R_{non-error}$ 및 오류가 발생하여 은닉되어진 영역 R_{rec} 로 나뉘어진다.

제안한 경계 정합 방법으로 구한 움직임 벡터 $V_e(x_e, y_e)$ 가 올바르게 추정되어졌는지 판별하기 위하여 $V_e(x_e, y_e)$ 와 손실된 매크로블록의 왼쪽 매크로블록의 움직임 벡터 $V_l(x_l, y_l)$ 사이의 거리 차이값 L 을 계산한다. 즉,

$$L = \sqrt{(x_e - x_l)^2 + (y_e - y_l)^2}$$
(3)

이 L 이 문턱치를 초과하면 제안된 경계 정합 방법이 움직임 벡터를 잘못 추정한 것이라고 판단하고 두 번째 단계인 적응적 경계 정합을 이용한다.

2.2절 에지 특성을 고려한 복잡도 검사

제안된 경계 정합 방법으로 움직임 벡터를 잘못 추정된 경우, 이를 개선하기 위하여 손실된 매크로블록의 왼쪽 경계 영역 8×16 블록 및 위쪽 경계 영역 16×8 블록에 대해 에지 특성을 고려한 영상의 복잡도를 조사하여 적응적으로 경계 정합 방법을 수행한다. 손실된 매크로블록의 왼쪽 경계 영역 8×16 블록에 대해 수평 에지 특성을 조사하고 위쪽 경계 영역 16×8 블록에 대해 수직 에지 특성을 조사한다. 에지가 존재하는 영역은 화소 간의 밝기값 차이가 크기 때문에 에지 검출을 위해 1차 미분을 이용한다.¹⁶⁾ 화소간의 밝기 차이가 에지 문턱치를 초과할 경우 에지가 존재하는 것으로 판별하고, 이 경우를 에지값에 합산한다. 손상된 매크로블록의 왼쪽 경계 영역과 위쪽 경계 영역에 대해 각각 에지 문턱치를 초과하는 밝기 차이 개수의 합인 에지값을 계산하여 에지값이 큰 경우에 대해 적응적으로 경계 정합을 수행한다. 즉 수평 에지값 G 와 수직 에지값 H 을 0으로 고정한다 다음,

$$G \leftarrow G + 1, \text{ if } |g_{i+1,j} - g_{i,j}| > 0$$
(4)

$$H \leftarrow H + 1, \text{ if } |h_{i,j+1} - h_{i,j}| > 0$$
(5)

을 수행한다. $g_{i,j}$ 는 손실된 매크로블록의 왼쪽 경계 영역 8×16 블록에서 이 블록내의 (i, j) 번째의 화소 밝기값을 나타내고 $h_{i,j}$ 는 손실된 매크로블록의 위쪽 경계 영역 16×8 블록에서 이 블록내의 (i, j) 번째의 화소 밝기값을 나타낸다. $G \geq H$ 인 경우는 수평 에지값이 큰 경우이고, $H > G$ 인 경우는 수직 에지값이 큰 경우이다.

2.3절 적응적 경계 정합 방법

적응적 경계 정합 방법에서는 주위 움직임 벡터를 기준 좌표로 설정한 후, 복원할 매크로블록을 탐색한다. 손실된 매크로블록의 왼쪽 매크로블록의 움직임 벡터를 $V_l(x_l, y_l)$, 위쪽 매크로블록의 움직임 벡터를 $V_u(x_u, y_u)$ 라고 정의하면 탐색 기준 좌표는 (x_l+m, y_l+n) , (x_u+m, y_u+n) , 및 $((x_l+x_u)/2+m, (y_l+y_u)/2+n)$ 이 된다. 즉 세 가지 탐색 영역에 대해 탐색을 수행한다. 또한 손실된 매크로블록 주위의 수평 에지값과 수직 에지값은 위 세 가지 탐색 영역에 대한 탐색 방법을 결정한다.

손실된 블록의 왼쪽 경계 영역 8×16 블록의 수평 에지값이 큰 경우에는 그림 3에서의 같이 손실된 매크로블록을 8×16 블록 단위로 복원한다.

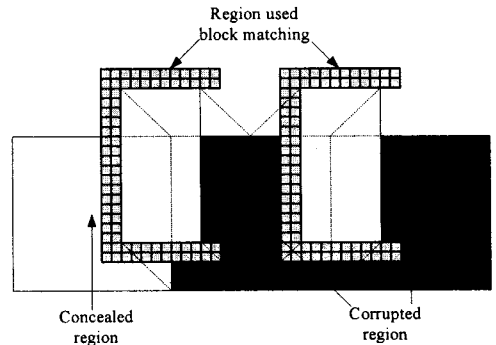


그림 3. 수평 에지가 강할 경우의 적응적 경계 정합

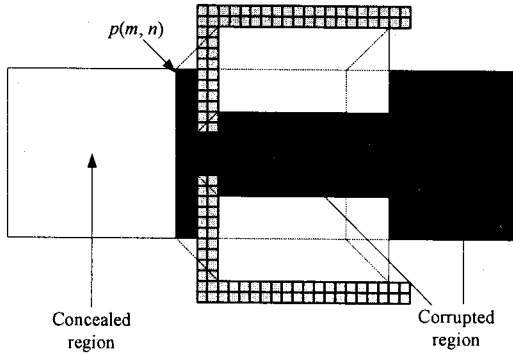


그림 4. 수직 에지가 감할 경우의 적층적 경계 정합

손실된 블록의 위쪽 경계 영역 16×8 블록의 수평 에지값이 큰 경우에는 그림 4에서와 같이 손실된 매크로블록을 16×8 블록 단위로 복원한다. 손실된 매크로블록의 위쪽 16×8 블록을 복원하기 위하여 왼쪽 및 위쪽 경계에서의 차이값의 합을 계산하고, 아래쪽 16×8 블록을 복원하기 위하여 왼쪽 및 아래쪽 경계에서의 차이값의 합을 계산한다.

이 두 가지 복원 방법 중 하나를 세 가지 탐색 영역에 대해 행한 후 블록 경계 사이의 에러 값이 가장 작은 매크로블록으로 손실된 매크로블록을 복원한다.

3장 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 실험에 사용된 영상은 352×240 크기를 가지는 FOOTBALL, TABLE TENNIS, 및 FLOWER GARDEN이다. 오류를 은닉하기 위한 탐색 범위는 $-16 \sim 15$ 이고, 객관적 화질 비교의 척도로는 PSNR을 사용하였다. 각 영상에 대한 실험 결과는 표 I 및 그림 5에서와 같다. 표 I에서 살펴보면 제안한 방법이 기존의 방법보다 PSNR이 $0.6 \sim 1.8$ dB 정도 향상됨을 알 수 있다. ZMV 방법으로 복원한 영상에서는 그림 5 (c)에서와 같이 움직임이 많은 영역에서는 은닉된 매크로블록과 주위의 매크로블록 사이의 정합이 제대로 이루어지지 않았음을 볼 수 있다. BMA 방법으로 복원한 영상에서는 그림 5 (d)에서와 같이 에지가 많은 영역에서 에지의 연결성이 낮아서 은닉된 매크로블록 사이의 부정합으로 화질이 열화됨을 볼 수 있다. 또한 DMVE 방법으로 복원한 영상에서는 그림 5 (e)에서와 같이 단순한 영역에 대하여 은닉 성능이 우수하나 에지가 많고 복잡한 영역에서는 은닉 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 제안한 방법이 주관적 화질 및 객관적 화질 측면에서 우수함을 알 수 있다.

4장 결론

제안한 방법에서는 비디오 데이터의 전송 도중 발생된 블록 오류로 인한 화질 열화를 보상하기 위하여 경계 영역 특성과 적응적 블록 정합을 이용한 블록 부호화 기반의 시간적 오류 은닉 방법을 제안하였다. 공간적 상관성을 높이기 위하여 은닉된 블록의 경계 영역을 재사용하였다. 또한 움직임이 많은 영역에서는 손실된 블록 주위의 에지를 고려한 복잡도를 조사하여 8×16 블록 및 16×8 블록 단위로 영상을 복원한다. 모의실험을 통하여 제안된 방법이 기존의 오류 은닉 방법에 비하여 에지 영역 및 복잡한 움직임이 있는 영역에서 성능이 우수함을 확인하였다.

표 I. MPEG-2 부호화된 각 영상에 대한 제안한 방법 및 기존의 방법으로 은닉한 영상의 PSNR

Test images	PSNR [dB]			
	ZMV	BMA	DMVE	Proposed method
FOOTBALL	25.52	25.61	26.04	27.75
TABLE TENNIS	23.99	23.45	24.59	25.70
FLOWER GARDEN	28.35	28.43	29.17	30.20

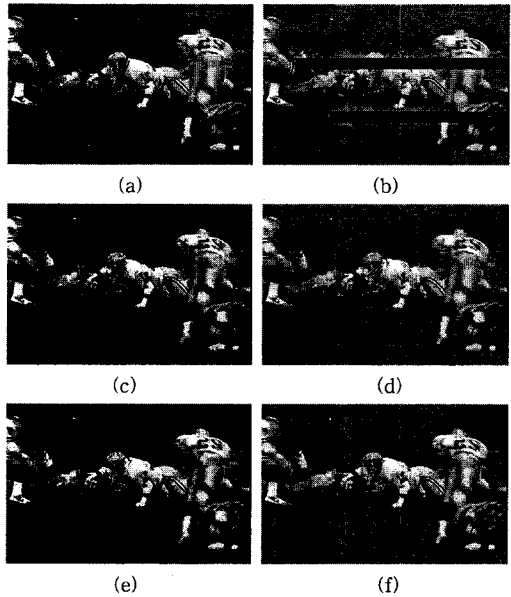


그림 5. FOOTBALL 영상에 대한 (a) 원 영상, 및 (b) 오류 영상과 (c) ZMV 방법, (d) BMA 방법, (e) DMVE 방법, 및 (f) 제안된 방법에 의하여 오류 은닉된 영상

참 고 문 헌

- [1] Y. Wang and Q. F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review," *Proc. IEEE*, vol. 8, no. 5, pp. 974-997, May 1998.
- [2] Y. Wang, Q. F. Zhu, and L. Shaw, "Maximally smooth image recovery in transform coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, pp. 1544-1551, Oct. 1993.
- [3] W. M. Lam, A. R. Reilbman, and B. Liu, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors," *Proc. ICASSP*, pp. V417-V420, Apr. 1993.
- [4] J. Zhang, J. F. Arnold, and M. R. Frater, "A cell-loss concealment technique for MPEG-2 coded video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 659-665, June 2000.
- [5] J. W. Suh and Y. S. Ho, "Error concealment for digital TV," *IEEE Trans.*, vol. 48, no. 4, pp. 299-306, Dec. 2002.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley, New York, 1992.