

# 선택적 방향성 보간을 이용한 효율적인 공간적 에러 은닉 기법

\*박선규 \*\*김원기 \*\*\*진순중 \*\*\*\*정제창

한양대학교

\*sunkyu79@ece.hanyang.ac.kr

## An Efficient Spatial Error Concealment Technique Using Selective Edge-Oriented Interpolation

\*Sunkyu Park \*\*Wonki Kim \*\*\*Soonjong Jin \*\*\*\*Jechang Jeong

Hanyang University

### 요약

본 논문에서는 블록 기반의 영상압축에 있어서 선택적 방향성 보간을 이용하는 공간적 에러 은닉 기법을 제안한다. 기존의 공간적 경계 정합 기법은 에지가 단순한 영역에서는 좋은 성능을 보이지만, 손실 블록 내에서 에지의 변화가 큰 영역에서는 좋지 못한 성능을 보인다. 제안된 기법은 이웃한 상하 블록들을 이용하여 에지의 연결성을 추정하고, 이에 따라 공간적 경계 정합 기법과 이동 스트라이프 정합 기법을 선택적으로 이용한다. 따라서 에지변화에 적응적으로 대응함으로써 우수한 복원 영상을 구할 수 있다. 제안된 기법은 슬라이스 단위의 에러에 대해 적합한 방식으로써, 복잡도가 낮을 뿐만 아니라 객관적·주관적으로 우수한 복원 화질을 얻게 해준다.

### 1. 서론

최근 영상의 디지털화가 빠르게 이루어지면서 기존의 아날로그 TV에서 발전하여 디지털 TV, DMB, 인터넷 TV의 이용이 급격히 증가하고 있다. 디지털 방송은 MPEG-2의 기술을 바탕으로 기존의 아날로그 방송에 비해 다채널 고품질 그리고 고품질 서비스를 제공하는데, 압축된 영상데이터 신호를 패킷화하여 네트워크를 통해 데이터를 전송한다. 이때 네트워크상에서 전송 시 에러가 발생하면 MPEG-2의 경우 슬라이스 단위로 에러가 발생하기 때문에 주관적 화질 열화가 두드러지게 나타난다. 따라서 에러가 존재하는 전송환경에서 영상이 일정한 화질을 유지하기 위해서는 에러 내성 기술과 에러 정정 기술 등 에러 제어 기법이 필요하다. 특히 수신단에서 독립적으로 구현할 수 있는 에러 은닉 기법은 양질의 영상을 얻기 위한 중요한 기술이다. 정지영상의 경우 에러가 발생했을 때 참조할 수 있는 영상이 없고, MPEG-2의 인트라 프레임의 경우 움직임 보상이 기준 프레임으로 사용되기 때문에 에러가 발생하게 되면 시간적 오류의 전파가 나타나게 되므로 공간 영역에서의 에러 은닉 기법이 필요하다.

공간 영역에서의 에러 은닉 기법 중 가장 간단한 방법은 양선형 보간 기법(Bilinear Interpolation)[1]이다. 이 기법은 낮은 복잡도로 어느 정도의 성능을 나타내기 때문에 널리 이용하고 있지만 blurring이나 블록킹 현상 등이 나타나고, 에지의 흐름과 관계없는 블록의 경계화소 값들을 이용하게 되므로, 선형 보간법보다도 성능 저하와 많은 계산량을 발생시키기 때문에, 단순화된 에지 모델을 이용하는 여러 방향성 보간 기법들이 제안되어 왔다[4-6]. 다른 접근 방법으로는 퍼지 이론을 이용해서 저주파 계수와 고주파 계수 모듈을 복구하는 방법[7], 영상 신호의 평활화 척도가 최대가 되도록 손상된 블록들을 복구하는 기법[8],

블록집합에 투영(POCS)하는 기법[3], 픽셀 기반의 통계 모델을 통해 순차적인 보간을 수행하는 방법[9] 등이 있다. 그러나 이러한 공간적 에러 은닉 기법들은 실시간 응용에 적용하기에는 복잡도가 매우 높다는 단점이 있다. 그리고 기존의 방법들은 손상된 블록 주위의 상, 하, 좌, 우 네 방향의 데이터를 이용하였지만 대부분의 심각한 에러는 슬라이스 단위로 발생하기 때문에 좌, 우의 데이터는 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 슬라이스 단위의 손상이 발생하였을 때 낮은 복잡도를 가지면서 우수한 성능을 나타내는 공간적 에러 은닉 기법에 대해서 제안하고자 한다. 이 기법은 에지의 연결성에 따라 1차원 공간적 경계 정합 기법과 이동 스트라이프 정합 기법(Sliding Stripe Matching Algorithm)을 선택적으로 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 슬라이스 단위의 에러가 발생했을 경우 제안한 기법을 이용하여 에러 은닉하는 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 평가하고 기존의 방법과 비교 분석을 통하여 효율성을 입증하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

### 2. 제안한 기법

본 논문에서는 기존의 경계 정합 기법[10]을 기반으로 이동 스트라이프 정합 기법을 선택적으로 사용 복원 블록을 구한다.

우선 손실된 블록의 에지의 연결성을 찾기 위해 이웃한 상하 블록들의 경계화소 사이에 1차원 경계 정합(Boundary Matching Algorithm: BMA)을 이용한다. 그 후 복원될 화소는 BMA에 의해 얻어진 에지방향에 따라 복원되는데, 이때 에지가 균일한 블록에서는 계산된 에지방향에 따라 복원을 하면 좋은 성능을 보이지만, 에지의 변화가 복잡한 블록에서는 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 따라서 이 경우에는 손실 블록의 최외각 4줄을 이동 스트라이프 정합 기법에 의해 부분

\* 본 논문은 정보통신부의 출연금으로 수행한 IT SoC 핵심설계인력양성사업의 수행결과입니다.

복원을 하고, 복원되지 않은 안쪽은 기존의 경계 정합기법을 사용하는 것이 좋다. 제안하는 알고리즘의 순서도는 다음과 같다.

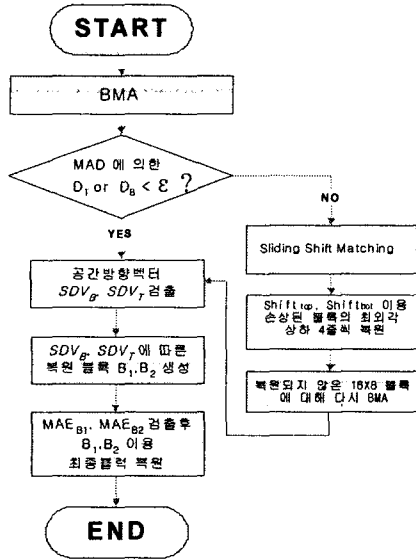


그림 1. 제안하는 알고리즘 순서도

### (가) 공간적 경계 정합에 의한 공간 방향 벡터 검출

손실된 블록 내의 정확한 에지의 방향성을 찾고 방향의 섬세함을 높이기 위해서 공간 방향 벡터(Spatial Direction Vector: SDV)를 사용한다. 먼저 손실된 블록에 대한 에지의 방향을 찾기 위해 이웃한 상하 블록들의 경계화소 사이에 1차원 경계 정합을 이용한다. 그림 2는 상단 블록  $B_T$ 와 하단 블록  $B_{BL}, B_B, B_{BR}$  사이의 최상의 정합을 찾기 위해 경계 탐색을 보여준다. 1차원 경계 정합은 평균 절대 오차(Sum Absolute Difference: SAD)에 의해 최소값을 가지게 되는  $D_T, D_B$  값을 구하게 되는데, 식은 아래와 같다.

$$D_T(x) = \sum_{i=0}^{N-1} |B_T(i, 0) - B_{B, BL, BR}(i+x, N-1)|$$

$$D_B(x) = \sum_{i=0}^{N-1} |B_B(i, N-1) - B_{T, TL, TR}(i+x, 0)|$$

$$-N < x < N, -N < y < N \quad (1)$$

$x$ 는 블록 크기가  $N \times M$ 일 때  $-N$ 에서  $N$ 까지의 탐색 벡터이다.

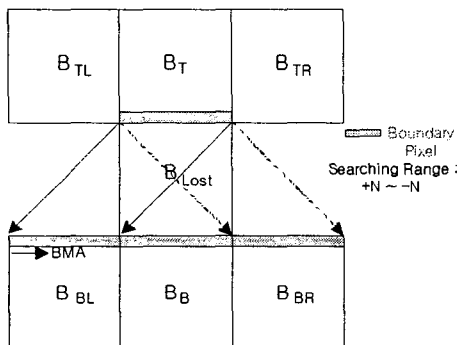


그림 2. 상단 경계를 이용한 공간적 경계 정합 기법

위와 같이 SAD에 의해 최소값을 가지는  $D_T, D_B$  값이 임계값( $\epsilon$ )보다 클 경우, 이웃한 블록들 사이에 작은 에지가 흐르거나 에지의 변화가 복잡한 것을 의미하기 때문에 이동 스트라이프 정합 기법을 이용하여 손실된 블록을 일부 복원한 후에, 복원되지 않은 부분은 BMA를 행한다. 그리고 임계값보다 작을 경우에는 이웃한 블록들 사이에 블

록 내에 균일한 에지가 흐르거나 평탄한 영역이라는 것을 의미하는데, 다음 식(2)와 같이 방향벡터를 구한다.

$$SDV_T = (-\arg \text{Min}(D_T(x)), N+1),$$

$$SDV_B = (\arg \text{Min}(D_B(x)), N+1),$$

$$-N < x < N, -N < y < N \quad (2)$$

여기서  $\text{argmin}(D_T(x))$ 은 상단 블록 경계  $B_T$ 와 하단 블록들  $B_B, B_{BL}, B_{BR}$ 간의 블록 경계 정합 에러  $D_T(x)$ 값을 최소화하는  $x$ 값을 나타낸다. 식 (2)와 같이  $2N$  개의 SAD 값을 비교한 후, 가장 잘 정합되는 반대편 블록 경계화소의 위치를 통해 공간 방향 벡터  $SDV_T$ 를 찾을 수 있다. 마찬가지로 하단 블록  $B_B$ 의 경계화소와 가장 잘 정합하는 상단 블록  $B_{TL}, B_T, B_{TR}$  경계화소의 위치를 통해  $SDV_B$ 를 구할 수 있다. 즉 이 벡터는 손상된 블록 내에 흐르는 에지의 방향을 나타낸다.

### (나) 공간 방향 벡터들에 따른 방향성 보간

손상된 블록의 보간될 화소들은 추정된 결과에 따라 계산된 공간 방향 벡터를 따라서 보간된다. 만일 SDV 벡터를 구했다면, 아래와 같이 식 (3)으로 계산된다.

$$B(i, j) = \frac{1}{d} \times (d_B \times B_T(x_T, N-1) + d_T \times B_B(x_B, 0))$$

if using  $SDV_B$ :  $x_T = SDV_{B,x} \times (j+1)/(N+1)$   
 $x_B = SDV_{B,x} \times (N-j+1)/(N+1)$

if using  $SDV_T$ :  $x_T = SDV_{T,x} \times (j+1)/(N+1)$   
 $x_B = SDV_{T,x} \times (N-j+1)/(N+1)$

$$d_B = \sqrt{(i-x_B)^2 + j^2}, \quad d_T = \sqrt{(i-x_T)^2 + (j-N)^2} \quad (3)$$

$$d = d_B + d_T \quad (i, j = 1, 2, \dots, N)$$

여기서  $x_T, x_B$ 는  $(i, j)$  좌표를 지나면서 각 SDV의 방향을 따라 상·하 경계와 만나는 좌표를 말한다. 또한  $d_T, d_B$ 은 각 보간될 화소와 각 SDV의 방향에 따른 정합 경계 및 상하 블록 경계 사이에 대한 거리이다. 만약 보간될 화소의 위치가 하단 블록과 가깝다면 하단 블록  $B_B$ 의 경계 화소의 가중치는  $d_T$ 의 증가로 커지게 될 것이다.

경계정합에서 공간 방향 벡터가 수직이라면, 식 (3)은 식 (4)와 같이 되어 최단거리에 있는 이웃한 상하 블록의 경계 화소들을 이용해 에러를 은닉하게 된다.

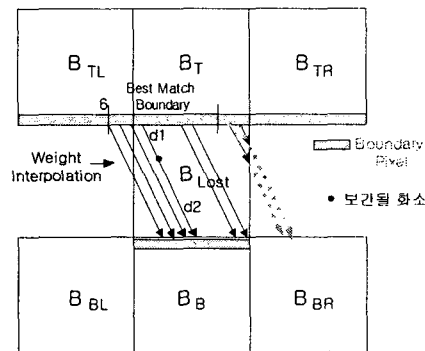


그림 3. 공간 방향 벡터에 따른 가중치를 둔 방향성 보간

$$B(i, j) = \frac{1}{d} \times (d_B \times B_T(i, N-1) + d_T \times B_B(i, 0))$$

$$d = N+1, i, j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

결과적으로 두 개의 SDV에 따라 보간을 하면 두 개의 복원 블록이 만들어진다. 이 두 개의 복원 블록들은 커버하는 에지의 각도가 다르고 각기 다른 경계화소들을 이용하여 에지의 방향을 찾는 것이기 때문에 영상의 에지 특성에 따라 화질 성능이 다를 수 있다. 따라서 두 개의 복원 블록들을 적절히 조합하여 최종적인 복원 블록을 만드는 과정이 필요하다.

### (다) 방향성 경계정합 에러 계산

이 과정은 복원 블록  $B_1, B_2$ 를 조합하여 최종 복원블록을 만들어 낼 때, 필요한 가중치 값을 좀더 정교하게 얻기 위해 필요하다. 먼저 그림 4와 같이 손실된 블록 주위의 에지의 방향성을 예측하기 위해 상·하 블록 최외곽 2줄의 경계화소들을 이용하여 블록 경계와의 수직 방향(mode0), 대각선 방향(mode1) 역대각선 방향(mode2)으로 각각 블록 경계 정합 에러를 구하고, 그 중 가장 작은 에러값을 갖는 방향을 해당 경계의 mode로 선택한다.

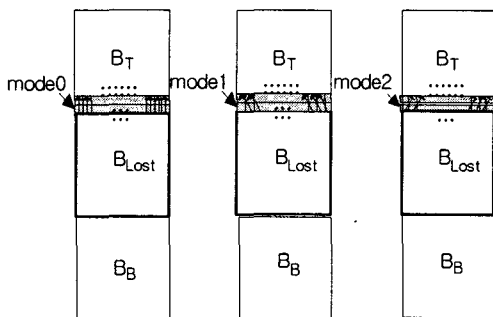


그림 4. 주변블록을 이용한 mode 결정

추정된 mode는 에지의 방향성을 세밀하게 나타내는 것은 아니지만, 블록의 두 경계면에서 각각 에지의 대략적인 방향을 미리 파악할 수 있게 해준다. 그림 5는 각각의 mode를 이용하여 블록 경계정합 에러를 구하는 예를 보여준다.

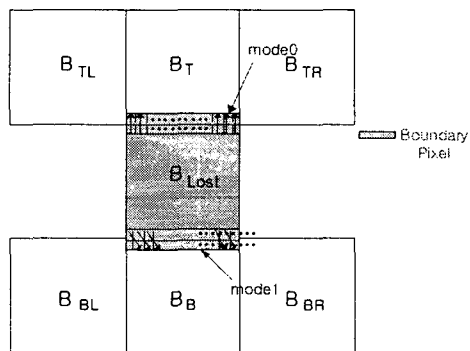


그림 5. 결정된 mode에 따른 블록경계정합 에러

앞서 구한 mode를 이용, 복원 블록  $B_1, B_2$ 에 대해 각각 블록 경계 정합 에러  $MAE_{B1}, MAE_{B2}$ 를 구한다. 여기서 각각의 MAE 값은 영상을 복원하는데 가중치로 사용하게 된다. 최종적인 에러 은닉은 앞서 구한 2개의 복원 블록을 아래와 같은 식으로 해당 MAE 값을 가중치로 둔 평균합을 취함으로써 수행한다

$$B_{concealed}(i, j) = (MAE_1 \times B_2(i, j) + MAE_2 \times B_1(i, j)) / (MAE_1 + MAE_2)$$

$$i, j = 1, \dots, N \quad (5)$$

### (라) 이동 스트라이프 정합 기법을 통한 부분 복원

이 과정은 '(가)공간적 경계정합에 의한 공간벡터 검출'에서 SAD 값이 임계값 보다 클 경우에는, 손실된 블록의 정확한 에지를 찾기 힘들기 때문에 우수한 복원영상을 기대하기 힘들다. 그래서 복원시 우수한 성능을 얻기 위해 이동 스트라이프 정합 기법(Sliding Stripe Matching Algorithm)을 이용하여 손실된 블록의 최외각 상하 4줄씩 일부분만을 복원을 하는 과정이다.

우선 스트라이프(Stripe),  $S(i, j)$ 는  $(i, j)$ 의 위치를 가진  $16 \times 2$  블록으로 정의하고 그림 6(a)에서 볼 수 있다. 상단 좌측의 좌표  $(i, j)$ 를 가지는 손상된 블록을  $B_{lost}(i, j)$ 라 하면, 블록의 위쪽을 정정하기 위해 사용하는 이동 스트라이프(sliding stripe)은  $S(i-2, j+shift)$ 이다. 그림 6(b)와 같이 위쪽의 고정 스트라이프(fixed stripe),  $S(i-4, j)$ 와 가장 잘 맞는 정합을 찾기 위해 이동 스트라이프를 왼쪽에서 오른쪽으로 이동시킨다. 마찬가지로 손상된 블록의 아래 부분에서도 같은 과정을 수행한다. 손상된 블록의 크기가  $16 \times 16$ 이면 아래 부분의 이동 스트라이프는  $S(i+16, j+shift)$  이고 고정 스트라이프는  $S(i+18, j)$ 이다. 이동하는 지역의 범위는  $-8$ 부터  $+8$ 이다. 절대차이의 합계(SAD)를 정합 기준으로 사용한다.

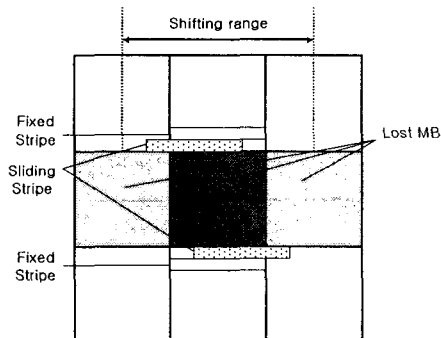
$$SAD_{top} = \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^{16} |S(i-2+k, j+shift+l) - S(i-4+k, j+l)|$$

$$SAD_{bot} = \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^{16} |S(i+16+k, j+shift+l) - S(i+18+k, j+l)| \quad (6)$$

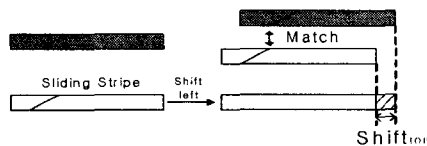
최상의 정합을 나타내는 이동값은 다음식에 의해 구해진다

$$SHIFT_{top} = \arg \left[ \text{Min}(SAD_{top}(shift)) \right], \quad -8 \leq shift \leq 8$$

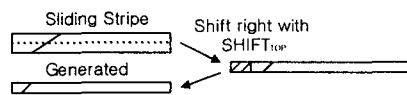
$$SHIFT_{bot} = \arg \left[ \text{Min}(SAD_{bot}(shift)) \right], \quad -8 \leq shift \leq 8 \quad (7)$$



(a) 고정 스트라이프와 이동 스트라이프



(b) 정합의 예



(c) 복원 스트라이프의 생성

그림 6. 이동 스트라이프 정합을 이용한 블록 복원

이 논문에서는 일부 복원 블록을 얻기 위해 패치 복사 방식을 사용한다. 비슷한 수단이 [9]에서 사용되고 있다. 추정된  $SHIFT_{top}$ 를 이용하여 손상된 블록이 패치의 형태를 유지한다는 전제하에 스트라이프  $S(i-2, j)$ 를 이용하여 손상된 블록의 윗부분을 복원한다.

다음 식(8)은 손상된 블록의 위4줄을 보간하는 식이다. 여기서  $S'$ 는 스트라이프  $S(i-2,j)$ 의 아래 줄의  $16 \times 1$ 의 크기를 가지는 블록이다.

$$S_1 : S'(i-1, j-1 * SHIFT_{top} / 2)$$

$$S_2 : S'(i-1, j-2 * SHIFT_{top} / 2)$$

$$S_3 : S'(i-1, j-3 * SHIFT_{top} / 2)$$

$$S_4 : S'(i-1, j-4 * SHIFT_{top} / 2) \quad (8)$$

아래 블록도 위와 마찬가지로 정정하게 되면 아래 그림과 같이 부분 복원된다.

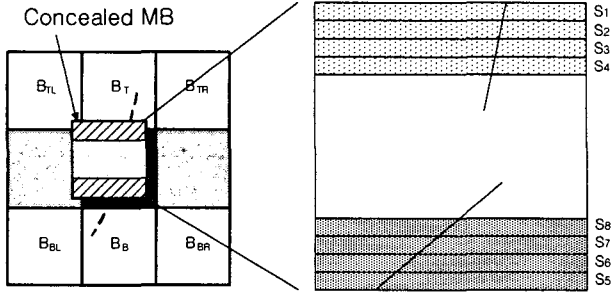


그림. 7 부분 복원된 블록

이 후, 가운데  $16 \times 8$ 의 손상된 블록에 대해 (가)~(다)의 과정을 수행하여 복원과정을 마친다.

### 3. 실험 결과

그림 8과 같이 슬라이스 단위의 에러를 생성한 후, 양선형 보간 기법, Yu가 제안한 기존 경계 정합 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 각각 적용하였다. 이 실험에서  $\epsilon$ 은 80으로 정했다. 그림 8(d)에서 보듯 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 에지 부분에서 뚜렷함을 보이며 양질의 영상을 보여준다.

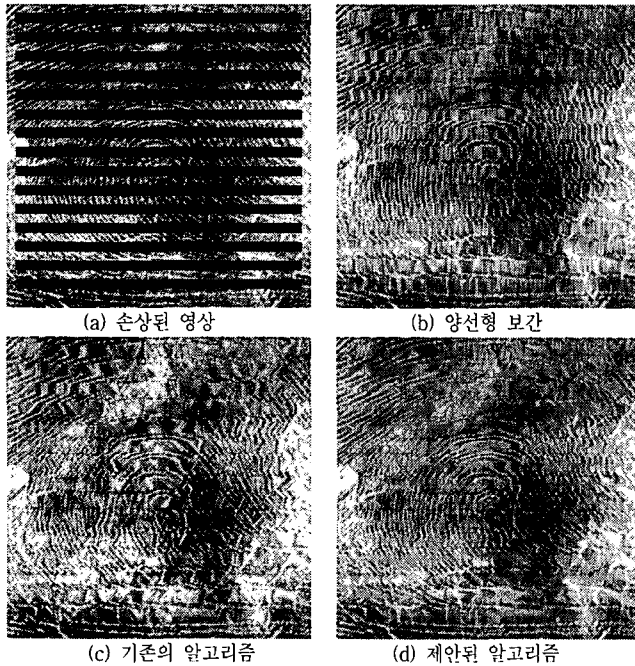


그림. 8 "Finger" 영상에서 슬라이스 에러에 대한 실험 결과

다음으로 표 1은 슬라이스 단위로 에러가 발생하였을 경우 복원된 각 영상에 대한 PSNR 과 소요시간을 보여준다. 기존의 방법보다 0.1~0.5 dB의 PSNR 향상을 보이는데, 소요시간에서 알 수 있듯, 낮은 복잡도를 갖고 있다. 따라서 제안된 기법은 PSNR 성능과 복잡도에 있어 매우 만족스러운 결과를 보인다.

Test Image	양선형 보간법	Yu's 기법	제안된 기법
Lena	25.12	28.00	28.19
Babara	21.87	24.13	24.60
Finger	20.45	20.57	20.97
Goldhill	24.81	25.82	26.10
Barboon	20.49	21.41	21.62
Boat	22.68	23.99	24.06
소요시간	0.015	0.137	0.158

표1. 각 영상의 PSNR 결과 (단위 : db)

### 4. 결론

본 논문에서는 손상된 블록에 대해 선택적 방향성 기반의 보간 기법을 이용한 공간적 에러 은닉 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 슬라이스 단위의 에러가 발생하였을 경우, 에지의 연결성에 따라 이동 스트라이프 정합 기법을 선택적으로 이용, 블록의 일부분을 복원한 후, 복원되지 않은 부분에 대해 기존의 경계정합 기법을 이용하여 효율적으로 손실된 블록을 적절히 복원하는 구조이다.

본 논문에서 제안된 기법은 SAD 계산, 방향성 보간, 경계정합 에러를 구하는 정도의 간단한 연산만을 수행하기 때문에 계산량이 적다는 장점이 있다. 따라서 본 논문은 기존의 에러 은닉 기법에 비교하여 에지 부분에서 객관적인 화질 향상을 보일 뿐만 아니라, 복잡도가 낮기 때문에 실시간 응용에 적용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Slama, N.B. Shroff, E. J. Coyle and E. J. Delp, "Error concealment technique for encoded video streams," in *Proc. Int. Conf. Image Processing*, vol. I, pp. 9-12, Oct. 1995.
- [2] Shih-Chang Hsia, "An edge-oriented spatial interpolation for consecutive block error concealment," *IEEE, Signal Processing Letters*, vol.11, No.6, pp. 577-580, June 2004.
- [3] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of block transform coded images using projection onto convex set," *IEEE Trans. Processing*, vol. 4, pp. 470477, Apr. 1995.
- [4] W. Zeng and B. Liu, "Geometric-structure-based directional filtering for error concealment in image/video transmission," in *Proc. SPIE Conf. Wireless Data Transmission, Photonics East*, vol. 2601, pp.145156, Oct. 1995.
- [5] J. W. Park and S. U. Lee, "Recovery of corrupted image data based on the NURBS interpolation," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, pp. 10031008, Oct. 1999.
- [6] J. W. Suh and Y. S. Ho, "Error concealment based on directional interpolation," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 43, pp. 295302, Aug. 1997.
- [7] X. Lee, Y. Zhang, and A. Leon-Garcia, "Information loss recovery for block-based image coding techniques A fuzzy logic approach," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 259273, Mar. 1995.
- [8] W. Zhu, Y. Wang, and Q. Zhu, "Second-order derivative-based smoothness measure for error concealment in DCT-based codecs," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, pp. 713718, Oct. 1998.
- [9] Ching-Ting Hsu and Mei-Juan Chen, "High Performance Spatial and Temporal Error-Concealment Algorithms for Block-Based Video Coding Techniques," *ETRI Journal*, Volume27, Number1, Feb. 2005
- [10] Hyunsun Yu and Wonki Kim, "A Spatial Error Concealment Technique Using Edge-Oriented Interpolation", *KICS. Journal*, vol 30, Mar, 2005