

블록 기반 영상압축에 있어서 방향성 보간을 이용한 에러 은닉 기법

正會員 김 승 종*, 정 제 창*, 최 병 욱*

An Error Concealment Technique Using Directional Interpolation in Block-based Image Compression

Seungjong Kim*, Jechang Jeong*, Byunguk Choi* *Regular Members*

※본 연구는 삼성전자의 연구지원(1996. 1~1996. 12.)하에 수행되었습니다.

요 약

본 논문에서는 블록 기반의 영상압축에 있어서 방향성 보간을 이용한 에러 은닉 기법을 제안한다. 제안된 기법은 공간영역에서 에러가 발생한 블록에 이웃하는 블록들의 경계화소값에 대하여 상관계수를 구하여 가장 큰 상관계수를 가지는 방향으로 에지가 존재한다고 가정하고 그 방향으로 선형 혹은 이중선형 보간을 수행하여 에러 블록을 복원한다. 제안된 기법은 블록 및 매크로블록 단위, 그리고 슬라이스 단위의 에러에 대해서도 적용적으로 은닉할 수 있으며 방향성 보간을 위한 파라미터들도 정형화된 형태로 표현된다. 제안된 방법을 압축 영상에 적용한 결과 기존의 에러 은닉 기법과 비교하여 우수한 주관적, 객관적 화질을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an error concealment technique using directional interpolation in block-based image compression. In the proposed method the edge direction is determined by finding the maximum correlation coefficients of boundary pixels of blocks neighboring the errored block in spatial domain. Then the errored block is interpolated linearly or bilinearly along the determined edge direction. The proposed method can conceal the block error, the macro block error, and the slice error adaptively. Also, the parameters for the directional interpolation are represented by closed forms. When applied to compressed images, the proposed method shows superior subjective and objective quality to conventional error concealment methods.

*한양대학교 전자통신공학과
論文番號: 97061-0218
接受日字: 1997年 2月 18日

I. 서 론

DCT는 정지영상과 동영상 압축에서 KLT에 비해 빠른 계산 속도를 가진 가장 좋은 변환으로 알려져 있으며, JPEG, H.261, MPEG1, MPEG2와 같은 정지영상 및 동영상 압축 표준에 많이 쓰이고 있다. 그러나, 블록 기반의 영상 신호 전송 시스템은 블록 단위로 처리되기 때문에 디지털 방송 혹은 ATM 망에서 셀(cell) 손실이나 전송시 임의의 비트에 오류가 발생하면 오류의 영향이 어느 한 화소에 국한되지 않고 블록 단위로 퍼져나간다. 따라서, 이러한 블록 오류에 대한 효율적인 에러 은닉 기법의 개발은 블록 기반의 영상 신호의 전송 시스템에서 필수적이다.

셀 손실의 영향을 은닉(concealment)하는 다양한 방법들이 제안되었다[1-6]. 먼저, 움직임이 거의 없는 정적인 영상의 경우에는 단순한 알고리즘으로 어느 정도 에러를 은닉할 수 있다. 즉, 이전 화면이나 이웃 블록으로 현재 블록을 대체한다. 그러나, 이러한 방법은 움직임이 빠르지 않거나, 장면전환이 많지 않은 상황에서만 적용할 수 있다.

주파수 영역에서의 DCT 계수를 이용한 에러 은닉은 이웃 블록들 간의 상관도를 대체적으로 크다는 사실에 기초하여 DCT 계수의 DC 및 저주파쪽 AC 계수들을 이용한 기법이다. 기본 알고리즘은 이웃 블록들을 선형 보간하는 것이며, 이러한 방식은 알고리즘의 복잡성과 정확성이 복원 영상의 화질을 결정한다. 예를 들어, 단지 DC계수만 이용한다면, 복원된 블록은 원영상의 가장 기본적인 정보, 즉, 배경의 밝기와 색만을 포함할 것이다. 더 많은 계수들로 보간할수록 복원 블록의 상세 정보가 많이 표현된다. 그러나, DCT계수들은 압축된 정보를 포함하기 때문에 공간영역에서 에러가 확대되므로 정확한 보간이 필요하다. 주파수 영역에서의 에러 은닉 알고리즘의 한계는 에러가 발생한 블록이 상관도를 보장할 정도로 충분히 작아야 하며, 원영상의 상세정보가 부족하므로 복원된 블록이 흐릿해지고 에지가 손상된다.

공간영역에서의 은닉 기법은 같은 화면내의 이웃 블록들을 사용하여 공간영역에서 직접 보간하는 것이다. 이러한 방법은 블록을 둘러싸고 있는 큰 국부 이웃 블록들로 보간을 함으로써 보다 철저하게 공간상관도를 이용한다. 그리고 보간이 공간영역에서 이

루어지기 때문에 영상의 상세한 부분들이 더 잘 복원되고 에지들의 일치성이 어느정도 유지될 수 있다.

시간영역에서의 은닉 기법은 손실된 매크로블록의 움직임벡터를 복원하고 기준블록을 같은 위치에 놓음으로써 에러를 은닉할 수 있다. 이 알고리즘의 단점은 움직임벡터의 추정이 매우 정확해야 하며, 정확하지 않으면 크게 다른 움직임벡터로부터 복원된 블록은 주변 블록과 큰 차이를 보이게 된다.

기타 최근에 제안된 알고리즘으로는 다음과 같은 것이 있다. Wang[7]은 영상 신호의 평활화를 이용하여 평활화 척도가 최대가 되도록 손상된 블록들을 복구하는 기법을 제안하였다. 평활화 척도는 주어진 영상의 일차 도함수에 기초하고 있으며, 일차 도함수의 크기가 최소가 되면 평활화 척도가 최대가 된다. 이 기법은 DC계수나 AC의 저주파 계수들이 손실되었을 때 매우 효과적이다. 그러나, 일차 도함수가 최소가 되면 에지 성분에 열화가 생긴다. Sun[8] 등은 블록 집합에 투영(projection onto convex sets:POCS)하는 오류 은닉 복구 알고리즘을 제안하였으나 POCS는 수렴속도가 늦다는 단점이 있다. Lee[9] 등은 퍼지 이론을 이용해서 저주파 계수와 고주파 계수 모두를 복구하는 방법을 제안하였다. 그러나, 계산량이 너무 많아 실시간 구현이 어렵다. Hemami[10]는 VQ를 이용하여 손실된 변환 계수들의 블록을 이웃한 블록들의 선형보간으로 복구한다. 그러나, 동영상 전송시 버퍼 오버플로우의 발생시, 패킷에 발생하는 인접 블록 손실에 대해서는 효과적이지 못하다.

위에서 언급한 에러 은닉 방식들은 다른 방식보다 어떤 특별한 종류의 영상에 잘 적용된다고 해서 임의의 비디오들이 그 하나의 방식으로 충분하지는 않다는 것을 보여준다. 어떤 알고리즘은 이러한 문제를 해결하기 위해 세 영역 모두에서 보간을 수행하고 보다 자세한 블록을 얻기 위해 그 결과들을 결합하는 방식을 취한다.

본 논문에서는 블록 기반 영상압축에서 정지화 및 동영상의 인트라픽처(I-picture)의 전송시 망의 정체 및 임의의 비트 오류로 인하여 에러가 발생했을 경우, 에러를 효율적으로 은닉하는 에러 은닉 기법을 제안한다. 제안된 방법은 공간영역에서 에지의 방향을 고려한 에러 은닉으로써, 에러 블록에 이웃하는 블록들의 경계화소에 대하여 상관도를 측정하여 가장 큰 상

관도를 가지는 방향으로 에지가 존재한다고 가정하고 그 방향으로 선형 혹은 이중선형 보간을 수행하여 에러 블록을 복원한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 복원 영상에서 블록 및 매크로블록 단위, 슬라이스 단위로 에러가 발생했을 경우 제안된 방향성 보간을 이용하여 에러를 은닉하는 방법에 대하여 다룬다. 3절에서는 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 평가하고 기존의 방법과 비교 분석을 통하여 효율성을 입증한다. 4절에서는 결론을 맺고 부록에서는 제안된 방법의 적용시 이용되는 각각의 파라미터 값들에 대한 테이블을 정형화된 형태(closed forms)로 수록하였다.

II. 공간영역에서 에지의 방향을 고려한 에러 은닉

1. 블록 및 매크로블록 단위의 에러 은닉

블록 및 매크로블록 단위의 에러 은닉은 공간영역에서 에러 블록에 이웃하는 상하좌우 4 블록들의 경계화소를 이용하여 상관계수를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 구하고 가장 큰 상관계수를 갖는 방향으로 보간을 수행하여 에러 블록을 복원한다. 에러 은닉 과정은 다음과 같다. 먼저, 그림 1과 같이 보간에 필요한 이웃 블록들의 경계화소들을 설정한다.

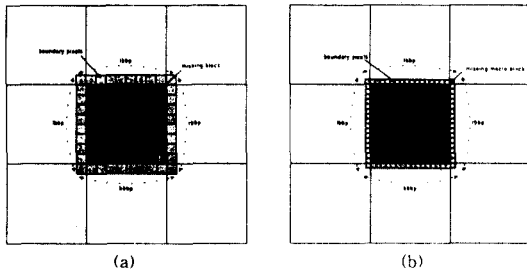


그림 1. 에러 은닉을 위한 경계화소의 설정. (a)블록 단위. (b)매크로블록 단위.
Fig. 1 The boundary pixel values for error concealment. (a) A unit of block. (b)A unit of macro block.

그림 1에서 $lbbp$, $rbbp$, $tbbp$, $bbbp$ 는 각각 왼쪽 블록, 오른쪽 블록, 위쪽 블록, 아래쪽 블록의 경계화소 값을 의미하며 식(1)과 같이 표현된다.

$$lbbp(i) = z_{m-1, n-1}(N-1, N-1)$$

$$\begin{aligned} rbbp(i) &= z_{m-1, n+1}(N-1, 0) \\ tbbp(i) &= z_{m-1, n-1}(N-1, N-1) \quad \text{if, } i=0 \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n-1}(0, N-1) \\ lbbp(i) &= z_{m, n-1}(i-1, N-1) \\ rbbp(i) &= z_{m, n+1}(i-1, 0) \\ tbbp(i) &= z_{m-1, n}(N-1, i-1) \quad \text{if, } 1 \leq i \leq N \quad (1) \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n}(0, i-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} lbbp(i) &= z_{m+1, n-1}(0, N-1) \\ rbbp(i) &= z_{m+1, n+1}(0, 0) \\ tbbp(i) &= z_{m-1, n+1}(N-1, 0) \quad \text{if, } i=N+1 \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n+1}(0, 0) \end{aligned}$$

다음에는 식(2)와 같은 각도로 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 식(3)을 이용하여 상관계수를 구하고 가장 큰 상관계수값을 가지는 k 를 결정한다. 식(3)에서 $\langle \underline{p}_k^0, \underline{p}_k^1 \rangle$ 은 두 벡터의 내적(inner product)을 의미하고 $\|\underline{p}_k^0\|$, $\|\underline{p}_k^1\|$ 는 각 벡터의 norm을 의미한다. 에지 방향의 개수를 식(2)와 같이 정의하면 블록 및 매크로 블록에 따라 가변된다. 즉, 블록의 크기 $N=8$ 일 경우에는 에지의 방향이 16개로 구별되며, 블록의 크기 $N=16$ (매크로블록)일 경우에는 에지의 방향이 32개로 구별된다. 에지의 방향을 식(2)와 같이 정의하면 모든 에지의 방향을 정확하게 검출할 수 있지만, 단지 8개($N=4$)로 구별하면 정의된 에지의 방향 사이에 존재하는 에지에 대해서는 정확하게 방향을 결정할 수가 없다. 따라서, 잘못된 방향으로 보간을 수행하게 되어 오히려 화질 저하를 초래한다.

식(2)에서 $180^\circ \sim 360^\circ$ 까지의 상관계수는 그림 2에서와 같이 $0^\circ \sim 180^\circ$ 의 경우와 같기 때문에 따로 구할 필요가 없으며, 에지의 방향이 k 에 따라 근사화되는 이유는 에러 블록을 둘러싸고 있는 경계화소들의 배열이 원의 모양이 아니라 정사각형 모양이기 때문이다. 한편, 에지의 방향을 결정하는 상관벡터의 설정과 결정된 에지의 방향대로 보간을 수행하여 에러 블록을 복원하는 방식은 그림 2와 같이 수행된다.

$$\text{deg } ree \equiv k \left(\frac{180}{2N} \right), \quad k=0, 1, \dots, 2N-1 \quad (2)$$

$$\text{correlation} = \max \left\{ \frac{\langle \underline{p}_k^0, \underline{p}_k^1 \rangle}{\|\underline{p}_k^0\|, \|\underline{p}_k^1\|} \right\} \quad (3)$$

상관계수를 구할 때 이용되는 두 벡터 $\underline{p}_k^0, \underline{p}_k^1$ 은 k 에 따라 취해지는 벡터의 크기가 다르다. 즉, k 가 0과 N 일 경우에는 N 개의 벡터만 있으면 에러 블록 전체의 영역을 포함하며 정확하게 수평 또는 수직의 에지 방향을 결정할 수 있다. 그러나, k 가 0과 N 일 경우를 제외하고는 N 개의 벡터로는 방향별로 에지의 방향을 정확하게 결정할 수 없기 때문에 상대적으로 벡터의 수를 증가시켜야 한다. 표 1은 N 이 8, 16일 경우 각각에 대하여 k 에 따라 취해지는 상관벡터의 수를 보이고 있다.

표 1. k 에 따른 상관벡터의 수

Table 1. Number of correlation vectors according to k values

| N=8일 경우 | | | | | | | |
|----------|-----|------|-----|-------|-----|-------|-----|
| k | 벡터수 | k | 벡터수 | k | 벡터수 | k | 벡터수 |
| 0,8 | 8 | 2,10 | 11 | 4,12 | 15 | 6,14 | 11 |
| 1,9 | 10 | 3,11 | 13 | 5,13 | 13 | 7,15 | 10 |
| N=16일 경우 | | | | | | | |
| k | 벡터수 | k | 벡터수 | k | 벡터수 | k | 벡터수 |
| 0,16 | 16 | 4,20 | 22 | 8,24 | 31 | 12,28 | 22 |
| 1,17 | 17 | 5,21 | 23 | 9,25 | 28 | 13,29 | 19 |
| 2,18 | 18 | 6,22 | 25 | 10,26 | 25 | 14,30 | 18 |
| 3,19 | 19 | 7,23 | 28 | 11,27 | 23 | 15,31 | 17 |

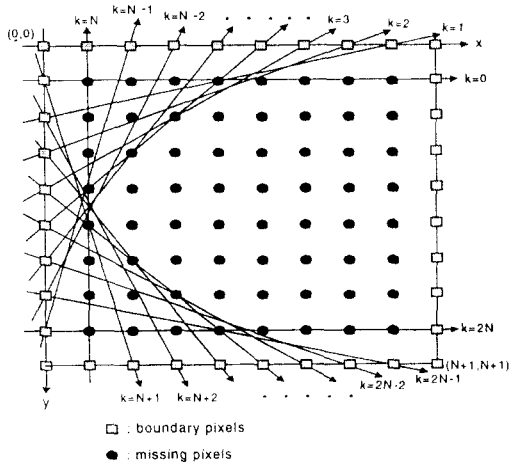


그림 2. 각도에 따른 k 값의 변화
Fig. 2 Change of k values along with angle

그림 3은 k 가 3일 경우에 취해지는 상관벡터들이 보이고 있으며 각각의 직선이 $x=0, y=N+1$ 축과 만나는 지점의 경계화소값들이 \underline{p}_3^0 가 된다. 또한 $y=0, x=N+1$ 축과 만나는 지점의 경계화소값들이 \underline{p}_3^1 가 된다. 그런데, 그림 3에서 각각의 직선이 x, y 축과 만나는 지점에 원래의 경계화소값이 존재하지 않는 경우에는 이웃하는 경계화소를 이용하여 선형보간으로 구한다. 이러한 방식으로 상관벡터들을 취하면 에러 블록을 사이에 두고 존재하는 에지의 방향을 정확하게 결정할 수 있다.

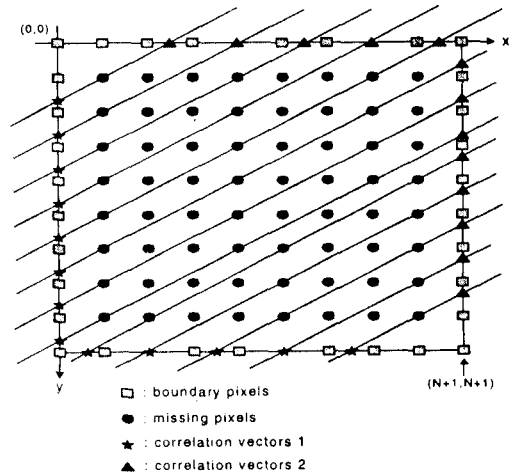


그림 3. $N=8, k=3$ 일 경우 상관벡터의 설정 및 보간 방향
Fig. 3 The correlation vectors and the interpolation directions when $N=8, k=3$.

다음에는 블록 단위 혹은 매크로 블록 단위로 가장 큰 상관계수값을 갖는 k , 즉 최적인 하나의 k 를 결정하고 k 의 방향에 따라 방향성 보간을 수행한다. 방향성 보간은 8단계로 수행되며 전체적인 알고리즘은 다음과 같다. 1단계는 k 의 방향에 해당하는 직선의 방정식을 구한다. 2단계는 x 의 계수 a_k 와 y 의 계수 b_k 를 구한다. 3단계는 직선의 절편 c_k 를 구한다. 4단계는 직선의 기울기 m_k 를 구한다. 5단계는 직선이 경계화소와 만나는 지점의 좌표 t_k 를 구한다. 6단계는 직선이 경계화소와 만나는 지점의 경계화소값 bpu_k 를 구한다. 7단계는 1단계에서 구한 직선상에 존재하는 임의의 보간하고자 하는 화소의 위치에서 직선과 경계화소가 만나는 지점과의 거리, 즉 선형보간에 필요한

길이 L_k 를 구한다. 8단계는 경계화소값 bpv_k 와 선형 보간에 필요한 길이 L_k 를 이용하여 선형보간으로 에러 블록을 복원한다. 각 단계별 구체적인 보간과정은 다음과 같다[그림 4. 참조].

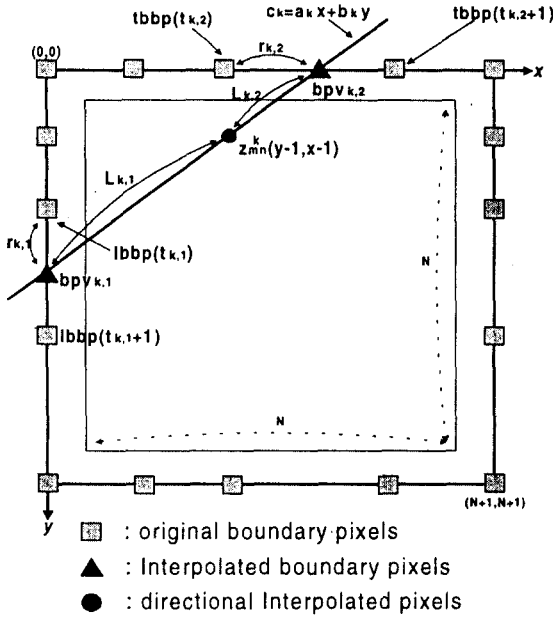


그림 4. 공간영역에서 에지의 방향을 고려한 선형보간 방법(단계 1~8)

Fig. 4 Linear interpolation using the edge directions in spatial domain(step 1~8).

• 1 단계: k 의 방향에 해당하는 직선의 방정식을 구한다.

• 2 단계: x 의 계수 a_k 와 y 의 계수 b_k 를 구한다.

• 3 단계: 그림 4에서 직선의 절편 c_k 를 구하는 단계로 k 에 따라서 결정되는 절편 c_k 는 식(4)와 같이 구해지며, 표 2에 k 에 따른 a_k, b_k 의 값을 나타내었다. 한편, 표 2에 나타낸 k 에 따른 상수 a_k, b_k 의 값을 살펴보면 식(2)에 의해 구해진 각도가 90° 이상에서부터 180° 이하까지의 값이 0° 부터 90° 까지의 값과 같은 것을 볼 수 있다. 왜냐하면, 90° 부터 180° 까지의 보간은 0° 부터 90° 까지의 보간 방법과 동일하게 수행되 각 블록의 경계화소값을 그림 1에서 시계방향으로 90° 회전시키고 식(5)와 같이 순서를 재배열하면 된다. 즉, 원래의 아래쪽 블록의 경계화소값이 왼쪽 블

록으로 재배열되었고 왼쪽 블록은 위쪽 블록으로 순서를 거꾸로하여 재배열되었음을 알 수 있다. 나머지 블록의 경계화소값도 마찬가지로이다. 보간을 수행하고 난 후, 복원된 화소값을 원래의 위치로 재배열하면 90° 부터 180° 까지의 보간은 따로 각각의 파라미터를 구할 필요없이 수행할 수 있다.

$$c_k = a_k x + b_k y, \quad x, y = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$rlbbp(i) = bbbp(i);$$

$$rtbbp(i) = lbbp(N + 1 - i); \quad i = 0, 1, \dots, N + 1 \quad (5)$$

$$rrbbp(i) = tbbp(i);$$

$$rbbb(i) = rbbp(N + 1 - i);$$

• 4 단계: 기울기 $m_{k,1}, m_{k,2}$ 를 구하는 단계로 식(6)에 의해 구해진다. 구해진 기울기는 단계 7에서 보간을 위해 필요한 길이를 구하는 데 이용된다.

$$m_{k,1} = \frac{a_k}{b_k}, \quad m_{k,2} = \frac{b_k}{a_k} \quad (6)$$

• 5 단계: 보간에 필요한 경계화소들의 좌표 $t_{k,1}, t_{k,2}$ 를 구하는 단계로 k 와 절편 c_k 의 범위에 따라 다른 값을 갖는다[부록 A.1 참조]. $t_{k,1}, t_{k,2}$ 는 그림 4에서와 같이 직선이 각각 x, y 축과 만나는 지점 즉, 에러 블록을 사이에 두고 서로 맞은편에 위치한 경계화소의 좌표를 의미한다. 이는 단계 8에서 어떤 경계화소값

표 2. k 에 따른 상수 a_k, b_k 의 값

Table 2. Constant values of a_k, b_k according to k

| N=8일 경우 | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k | a_k | b_k | k | a_k | b_k |
| 0 | 0 | 1 | 5.13 | 3 | 2 |
| 1.9 | 1 | 4 | 6.14 | 7 | 3 |
| 2.10 | 3 | 7 | 7.15 | 4 | 1 |
| 3.11 | 2 | 3 | 8 | 1 | 0 |
| 4.12 | 1 | 1 | | | |
| N=16일 경우 | | | | | |
| k | a_k | b_k | k | a_k | b_k |
| 0 | 0 | 1 | 9.25 | 5 | 4 |
| 1.17 | 1 | 8 | 10.26 | 11 | 7 |
| 2.18 | 1 | 5 | 11.27 | 2 | 1 |
| 3.19 | 2 | 7 | 12.28 | 13 | 5 |
| 4.20 | 5 | 13 | 13.29 | 7 | 2 |
| 5.21 | 1 | 2 | 14.30 | 5 | 1 |
| 6.22 | 7 | 11 | 15.31 | 8 | 1 |
| 7.23 | 4 | 5 | 16 | 1 | 0 |
| 8.24 | 1 | 1 | | | |

을 이용하여 보간을 수행해야 하는가를 결정하는 데 필요한 정보를 제공한다.

• 6 단계: 그림 4에서 직선이 x 축, y 축과 만나는 지점은 경계화소가 없다. 따라서, 임의의 직선이 x 축, y 축과 만나는 지점의 경계화소값이 필요하며, 이는 이웃하는 경계화소값을 이용하여 선형보간하면 얻을 수 있다. 선형보간에 의해 얻어진 값이 $bpv_{k,1}$, $bpv_{k,2}$ 이며, k 와 절편 c 의 범위에 따라 구해진다[부록 A.2 참조]. 한편, 그림 4에서 $r_{k,1}$, $r_{k,2}$ 는 $bpv_{k,1}$, $bpv_{k,2}$ 를 구하기 위해 선형보간에 필요한 거리를 제공한다[부록 A.1 참조].

• 7 단계: 보간하고자 하는 임의의 화소는 k 에 따라 반드시 그 화소를 지나는 직선이 존재한다. 따라서, 그림 4에서와 같이 보간하고자 하는 화소를 지나는 직선이 각각 x 축, y 축과 만나는 지점의 경계화소를 이용하여 보간을 수행한다. 한편, 보간하고자 하는 화소의 위치 (x, y) 에 따라 선형보간에 필요한 길이 $L_{k,1}$, $L_{k,2}$ 를 구해야 하며, 이는 어느 블록의 경계화소에 가까우냐에 따라 가까운 위치의 경계화소에 보다 많은 영향을 받게끔 한다. 보간에 필요한 길이 $L_{k,1}$, $L_{k,2}$ 는 k 와 직선의 절편 c 의 범위, 그리고 보간하고자 하는 화소의 위치 (x, y) 와 그 좌표를 지나는 직선의 기울기에 의하여 구해진다[부록 A.3 참조].

• 8 단계: 최종적으로 식(7)의 선형보간에 의하여 에러 블록의 화소값을 복원하는 단계로 단계 6 및 7에서 구한 $bpv_{k,1}$, $bpv_{k,2}$ 와 $L_{k,1}$, $L_{k,2}$ 를 이용하여 가장 큰 상관계수값을 가지는 k 의 방향에 따라 m, n 번째 블록의 $N \times N$ 화소값 $z_{m,n}^k$ 가 복원된다.

$$z_{m,n}^k(y-1, x-1) = \frac{L_{k,2}bpv_{k,1} + L_{k,1}bpv_{k,2}}{L_{k,1} + L_{k,2}}, \quad x, y = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

2. 매크로 블록 슬라이스 단위의 에러 은닉

대부분의 블록 기반 변환 부호화에서는 각각의 블록들은 전송시 raster-scan 순서로 부호화되어 전송되기 때문에 블록 단위의 에러 보다는 슬라이스 단위의 에러가 많이 발생된다. 따라서, 슬라이스 단위로 에러가 발생했을 경우에는 에러 블록에 이웃하는 위쪽 및 오른쪽 블록에 대한 경계화소값이 없기 때문에 위쪽 및 아래쪽 블록의 경계화소값을 이용하여 에러 블록

을 복원해야 한다. 그림 5는 매크로 블록 슬라이스 단위로 에러가 발생했을 경우 에러 은닉을 위한 경계화소의 설정을 보이고 있다. 즉, 현재 보간하고자 하는 매크로블록이 그림 5의 가운데 부분이면 가운데를 중심으로 좌우 한 개씩의 매크로블록의 경계화소를 추가로 이용하여 보간한다. 보간과정은 블록 및 매크로블록 단위와 마찬가지로 수행되나 상관계수는 $45^\circ \sim 135^\circ$ 까지만 구하고 가장 큰 상관계수를 갖는 방향으로 보간을 수행하여 에러 블록을 복원한다. 보간 방향을 $45^\circ \sim 135^\circ$ 까지 제한하는 이유는 이 범위를 벗어난 방향으로 보간을 수행하려면 그림 5와 같이 설정된 경계화소값들 보다 많은 매크로블록의 경계화소값이 필요하다. 따라서, 현재 보간하고자 하는 매크로블록의 화소값이 전혀 관련없는 경계화소값으로 보간되며 이웃하는 블록들의 특성을 제대로 반영하지 못하기 때문에 복원영상의 화질이 상당히 저하된다. 그림 5에서 $tbbp$, $bbbp$ 는 각각 위쪽 및 아래쪽 매크로블록들의 경계화소를 의미하며 현재 보간하고자 하는 매크로블록이 $z_{m,n}$ 일 경우 식(8)과 같이 표현된다. 에러 은닉 과정은 다음과 같다.

먼저, 식(9)와 같은 각도로 $45^\circ \sim 135^\circ$ 까지 상관계수를 구하고 가장 큰 상관계수값을 가지는 k 를 결정한다. 그림 6은 k 가 8일 경우 상관계수를 구할 시 이용되는 상관벡터들의 설정과 보간 방향을 보이고 있으며, 현재 보간하고자 하는 매크로블록 $z_{m,n}$ 을 지나는 직선과 각각 $y=0$ 축, $y=N+1$ 축과 만나는 지점의 경계화소들이 표 1과 마찬가지로 $N=16$ 일 경우에 31개의 벡터들이 각각 설정된다. 다음에는 결정된 k 의 방향에 따라 보간을 수행한다. 보간 과정은 블록 및 매크로블록 단위의 보간 과정과 마찬가지로 수행된다.

$$\begin{aligned} tbbp(i) &= z_{m-1, n-1}(N-1, i) & \text{if, } 0 \leq i \leq N-1 \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n-1}(0, i) \\ tbbp(i) &= z_{m-1, n}(N-1, i-N) & \text{if, } N \leq i \leq 2N-1 \quad (8) \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n}(0, i-N) \\ tbbp(i) &= z_{m-1, n+1}(N-1, i-2N) & \text{if, } 2N \leq i \leq 3N-1 \\ bbbp(i) &= z_{m+1, n+1}(0, i-2N) \end{aligned}$$

$$\deg \text{ree} \doteq k \left(\frac{180}{2N} \right), \quad k = 8, 9, \dots, 24 \quad (9)$$

1 단계는 k 의 방향에 해당하는 직선의 방정식을 구

하고 2 단계는 x 의 계수 a_k 와 y 의 계수 b_k 를 구한다. k 에 따른 a_k, b_k 값은 슬라이스 단위의 에러 은닉에서 보간방향을 $45^\circ \sim 135^\circ$ 까지만 제한했기 때문에 표 2의 $N=16$ 인 경우 k 가 $8 \leq k \leq 24$ 범위의 값과 같다. 3 단계는 그림 4에서 직선의 절편 c_k 를 구하는 단계로 k 에 따라서 결정되는 절편 c_k 는 식(4)와 같이 얻어진다. 4 단계는 기울기 $m_{k,1}, m_{k,2}$ 를 구하는 단계로 식(6)에 의해 구해진다. 5 단계는 보간에 필요한 경계화소들의 좌표 $t_{k,1}, t_{k,2}$ 를 구하는 단계로 k 와 절편 c_k 의 범위에 따라 다른 값을 갖는다[부록 B.1 참조]. 6 단계는 그림 4에서 직선이 x 축, y 축과 만나는 지점은 경계화

소가 없기 때문에 이웃하는 경계화소값을 이용하여 선형보간으로 $bpv_{k,1}, bpv_{k,2}$ 를 k 와 절편 c_k 의 범위에 따라 구한다[부록 B.2 참조]. 7 단계는 보간하고자 하는 화소의 위치 (x, y) 에 따라 선형보간에 필요한 길이 $L_{k,1}, L_{k,2}$ 를 k 및 직선의 절편 c_k 의 범위에 따라 구한다[부록 B.3 참조]. 8 단계는 최종적으로 에러 블록의 화소값을 복원하는 단계로 결정된 k 의 방향에 따라 m 번째 매크로블록의 16×16 화소값 $z_{m,n}^k$ 를 복원한다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안된 공간영역에서 에지의 방향을 고려한 에러 은닉 기법의 성능 평가를 위하여 SUN SPARC-20에서 제안된 알고리즘을 구현하였으며, 512×512 "Lena" 영상을 실험 영상으로 사용하였다. 실험에 사용된 에러 영상은 그림 7(a), 8(a)과 같이 매크로블록 단위와 슬라이스 단위의 에러를 생성하여 Aign 등[11]이 제안한 방법과 본 논문에서 제안된 방법을 각각 적용하였다. 또한 그림 9(a)와 같이 보다 실제적으로 손상된 영상에 대해서도 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그림 9(a)의 손상된 영상은 휘도신호 704×480 , 색도신호 352×240 의 크기를 갖는 "Su-sie" 영상 시퀀스를 MPEG-2 압축 알고리즘으로 encoding 하여 압축된 데이터에서 임의의 비트 오류를 발생시키고 이를 다시 decoding하여 복원된 영상중에서 첫 번째 인트라(Intra) 프레임에 해당하는 영상이다. 한편, [11]에서 제안된 방법은 공간영역에서 에러 블록 내의 복원될 위치의 화소값은 에러 블록에 이웃하는 블록들의 경계화소 값들을 이용하여 식(10)과 같이 이중선형보간(bilinear interpolation)으로 에러 블록을 복원한다. 식(10)에서 $z_{m,n}(x, y)$ 는 m, n 번째 에러 블록의 복원될 화소값을 의미한다.

$$z_{m,n}(x, y) =$$

$$\frac{z_{m,n-1}(x, N-1) + z_{m,n+1}(x, 0) + z_{m-1,n}(N-1, y) + z_{m+1,n}(0, y)}{x+1 + N-x + y+1 + N-y}$$

$$\frac{1}{x+1} + \frac{1}{N-x} + \frac{1}{y+1} + \frac{1}{N-y}$$

$$x, y = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

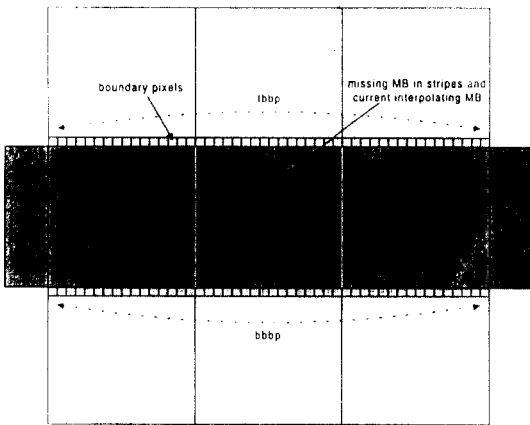


그림 5. 슬라이스 단위의 에러 은닉을 위한 경계화소의 설정
Fig. 5 The boundary pixel values for error concealment in slices.

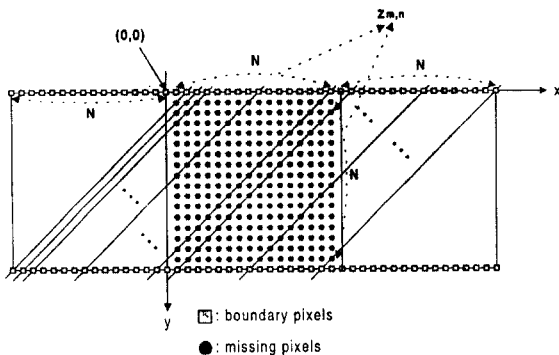


그림 6. $k=8$ 일 경우 상관벡터의 설정 및 보간 방향
Fig. 6 The correlation vectors and the interpolation directions when $k=8$.



(a)



(b)



(c)

그림 7. "Lena" 영상. (a)손상된 매크로블록들(12.20 dB).
(b)이중선형보간을 이용해 복원된 영상(29.57 dB).
(c)방향성 보간을 이용해 복원된 영상(34.14 dB).

Fig. 7 "Lena" Image. (a)Damaged with isolated lost macro blocks(12.20 dB). (b)Restored using bilinear interpolation(29.57 dB). (c)Restored using directional interpolation(34.14 dB).



(a)



(b)



(c)

그림 8. "Lena" 영상. (a)슬라이스 단위로 손상된 매크로블록들(15.42 dB). (b)이중선형보간을 이용해 복원된 영상(33.80 dB). (c)방향성 보간을 이용해 복원된 영상(37.07 dB).

Fig. 8 "Lena" Image. (a)Damaged with consecutive lost macro blocks(15.42 dB). (b)Restored using linear interpolation(33.80 dB). (c)Restored using directional interpolation(37.07 dB).



(a)



(b)

그림 9. "Su-sie" 영상. (a)슬라이스 단위로 손상된 매크로 블록들(18.05 dB). (b)방향성 보간을 이용해 복원된 영상(40.17 dB).

Fig. 9 "Su-sie" Image. (a)Damaged with consecutive lost macro blocks(18.05 dB). (b)Restored using directional interpolation(40.17 dB).

그림 7(a)는 16×16 매크로블록 단위로 약 22%의 에러가 발생된 영상을 보이고 있으며, (b)는 식(10)를 이용하여 복원된 결과를 보이고 있다. 결과에서도 알 수 있듯이 에러 블록에 이웃하는 블록들에 에지가 존재할 경우 혹은 블록들의 특성이 서로 다른 경우에는 블록화 현상을 보이며, 눈에 거슬리는 것을 볼 수 있다. (c)는 제안된 방향성 보간을 이용하여 복원된 영상을 보이고 있으며, 이중선형보간을 이용한 방법보다 훨씬 좋은 주관적, 객관적 화질을 얻었다. 특히, 이웃하는 블록들에 에지가 존재할 경우에는 에지의 방향대로 보간을 수행했기 때문에 에지성분이 제대로 복원됨을 알 수 있다.

PSNR 측면에서 복원 화질을 평가하면 그림 7(b)는 29.57 dB, (c)는 34.14 dB를 각각 얻었고 이웃 블록들의 특성에 따라 복원 화질에 영향을 미치는 측면에서 평가하면 다음과 같다. 즉, 이웃블록들에 머리카락과 같은 고주파 성분을 많이 포함하고 있으면 상대적으로 상관계수가 작기 때문에 제안된 방법보다 오히려 주파수 영역에서 DCT 계수를 이용한 보간 방법 [12, 13]이 보다 좋은 복원 화질을 유지하며, 만약 이웃 블록들의 특성이 서로 다르거나 에지의 방향이 서로 다른 방향으로 존재할 경우에는 한쪽 방향으로만 보간을 수행했기 때문에 복원화질이 눈에 거슬림을 알 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는, 가장 큰 상관계수 및 다음으로 큰 상관계수를 갖는 방향으로 각각 보간을 수행하고 각각의 결과에 대하여 적절한 가중치를 두어 가중치의 합(weighted sum)을 취하면 되며, 이는 향후 연구해야 할 과제이다.

그림 8(a)는 매크로블록 슬라이스 단위로 에러가 발생한 영상을 보이고 있고 (b)는 선형보간을 이용해 복원된 영상을 나타내며 PSNR은 33.80 dB를 얻었다. 위쪽 및 아래쪽 블록의 경계화소값만을 이용해 보간을 수행했기 때문에 수직 방향의 artifacts 및 blurring 등이 눈에 거슬림을 알 수 있다. (c)는 제안된 방법에 의해 복원된 결과 영상을 보이고 있으며, (b)보다는 훨씬 좋은 복원 화질(37.01 dB)을 얻었다. 그러나, 에지의 방향을 45°~135°까지만 고려했기 때문에 이 범위 내에 존재하는 에지 성분은 제대로 복원되나 이외의 범위에 존재하는 에지 성분은 여전히 artifacts 및 blurring 등을 보이고 있다.

그림 9(a)는 실제적으로 손상된 영상을 보이고 있으며, (b)는 제안한 알고리즘을 적용하여 복원한 영상이다. 그림 9의 (a)와 (b)에 대하여 PSNR을 이용하여 객관적인 화질을 평가하면 (a)는 18.05 dB, (b)는 40.17 dB를 각각 얻었다. 결과에서도 알 수 있듯이 제안된 방법을 이용하여 에러를 은닉했을 때, 거의 원화에 가까운 주관적, 객관적 화질을 얻을 수 있었다. 그러나, 여전히 머리카락 같은 부분에서는 위, 아래의 블록들에 고주파 성분을 많이 포함하고 있기 때문에 약간의 artifacts 및 blurring 등을 보이고 있다. 한편, 수화기 부분에서는 수화기 자체가 가지고 있는 계조값이 다른 부분에 비해 월등히 크므로 인간의 시각에 특히 민감한 특성을 갖는다. 따라서, 수화기 끝 부분

의 에러에 대해서는 이웃하는 블록들의 계조값이 전혀 다르기 때문에 복원 화질이 눈에 약간 거슬리는 것을 볼 수 있다.

이상에서와 같이 제안된 방법에 의해 에러 블록을 복원하여 화질을 평가한 결과, 에러 은닉은 어느 한 가지 방식을 이용하여 수행하는 것 보다는 이웃하는 블록들의 특성(머리카락과 같은 고주파 성분이 많이 포함된 경우, 에지가 존재할 경우 등)에 따라 은닉 방법을 달리하여 적용하는 것이 보다 좋은 복원 화질을 유지할 수 있을 것이며, 향후 연구해야 할 과제이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 블록 기반 영상압축에서 정지화 및 동영상의 인트라픽처의 전송시 망의 정체 및 셀 손실로 인하여 에러가 발생했을 경우 에러를 효율적으로 은닉하는 에러 은닉 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 공간영역에서 에러 블록에 이웃하는 블록들의 경계화소에 대하여 상관계수를 측정하여 가장 큰 상관계수를 가지는 방향으로 보간을 수행하여 에러 블록을 복원하였고 실험을 통하여 주관적, 객관적 화질을 평가하였다.

평가 결과, 기존의 공간영역에서 에러 블록에 이웃하는 블록들의 경계화소를 이용하여 직접 선형 또는 이중선형보간 방법보다 훨씬 뛰어난 주관적, 객관적 복원 화질을 얻었다. 그러나, 이웃하는 블록들에 머리카락과 같은 고주파 성분을 많이 포함하고 있으면 상대적으로 상관계수값이 작기 때문에 제안된 방법의 효율이 저하됨을 알 수 있었으며, 만약 이웃 블록들의 특성이 서로 다르거나 에지의 방향이 서로 다른 방향으로 존재할 경우에는 한쪽 방향으로만 보간을 수행하기 때문에 복원화질이 눈에 거슬림을 알 수 있었다. 또한 매크로블록 슬라이스 단위의 에러 은닉은 위쪽 및 아래쪽 블록의 경계화소값들을 이용해 에지의 방향을 $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 까지만 고려하여 에러 블록을 복원했기 때문에 이 범위내에 존재하는 에지 성분은 제대로 복원되거나 이외의 범위에 존재하는 에지 성분은 열화가 생김을 알 수 있었다. 따라서, 에러 은닉은 어느 한 가지 방식을 이용하여 수행하는 것 보다는 이웃하는 블록들의 특성에 따라 은닉 방법을 달리하여 적용하는 것이 보다 좋은 복원 화질을 유지함을 알 수 있었다.

향후 연구과제로는, 에러 블록에 이웃하는 블록들의 특성에 따라 에러 은닉 기법을 달리하는 하이브리드 에러 은닉 알고리즘과 동영상 시퀀스에 적용 가능한 에러 은닉 기법들에 대한 비교 분석을 통하여 보다 효율적인 에러 은닉 알고리즘을 연구한다.

참 고 문 헌

1. W. Luo and M. E. Zarki, "Analysis of Error Concealment Schemes for MPEG-2 Video Transmission Over ATM based Networks," SPIE, vol. 2501, pp. 1358-1368, 1995.
2. S. Lee et al, "Transmission Error Detection, Resynchronization, and Error Concealment for MPEG Video Decoder," SPIE, vol. 2094, pp. 195-204, 1993.
3. A. Narula and J. S. Lim, "Error Concealment Techniques for an All Digital High Definition Television System," SPIE, vol. 2094, pp. 304-315, 1993.
4. Y. Q. Zhang and X. Lee, "Performance of MPEG Codecs in the Presence of Errors," SPIE, vol. 2094, pp. 1739-1749, 1993.
5. Y. Wang and Q. Zhu, "Signal Loss Recovery in DCT-based Image and Video Codecs," SPIE, vol. 1605, pp. 667-678, 1991.
6. Q. Zhu, Y. Wang, and L. Shaw, "Coding and Cell-Loss Recovery in DCT-Based Packet Video," IEEE Trans. on Circuits and Systems on Video Tech., vol. 3, no. 3, pp. 248-258, June, 1993.
7. Y. Wang, Q. Zhu, and L. Shaw, "Maximally Smooth Image Recovery in Transform Coding," IEEE Trans. on Comm., vol. 41, pp. 1544-1511, 1993.
8. H. Sun and J. Zdepski, "Adaptive Error Concealment Algorithm for MPEG Compressed Video," SPIE, vol. 1818, pp. 814-824, 1992.
9. X. Lee, A. Leon-Garcia, and Y. Q. Zhang, "Information Loss Recovery for Block-Based Image Coding Techniques: A Fuzzy Logic Approach," SPIE, vol. 2094, pp. 529-541, 1993.
10. S. S. Hemami and R. M. Gray, "Image recon-

struction Using Vector Quantized Linear Interpolation,” Proc. of ICASSP94, pp. V629-632, Australia, May, 1994.

11. S. Aign and K. Fazel, “Temporal and spatial error concealment techniques for hierarchical MPEG-2 video codec,” IEEE International Conference on Communication, vol. 3, pp. 1778-1783, 1995.

12. 김승중, 정제창, 최병욱, “변환 기반 영상압축에 있어서의 에러 은닉 기법,” 제9회 신호처리 합동 학술대회논문집, 제9권 1호, pp. 169-172, 1996.

13. 김승중, 정제창, “영상압축에서 방향성 보간을 이용한 에러 은닉,” Proceeding of the 2nd VOD Workshop, pp. 229-236, 1996.

부록(Appendix)

A.1 보간에 필요한 경계화소들의 좌표($t_{k,1}, t_{k,2}$) 및 거리($r_{k,1}, r_{k,2}$)

| k | range | $t_{k,1}$ | $t_{k,2}$ | $r_{k,1}$ | $r_{k,2}$ |
|---|---|--|--|--|--|
| $k=0$ | $a_k N \leq c_k \leq b_k N$ | $\lceil c_k \rceil$ | $\lceil c_k \rceil$ | 0 | 0 |
| $1 \leq k \leq N/2 - 1$ $N+1 \leq k \leq N-1 + N/2$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\lceil \frac{c_k/b_k}{(c_k - b_k(N+1))/a_k} \rceil$ | $\lceil \frac{c_k/a_k}{(c_k - a_k(N+1))/b_k} \rceil$ | $\frac{c_k \% b_k}{c_k \% a_k}$ | $\frac{c_k \% a_k}{(c_k - a_k(N+1)) \% b_k}$ |
| $k = N/2, N + N/2$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\lceil \frac{c_k/b_k}{(c_k - b_k(N+1))/a_k} \rceil$ | $\lceil \frac{c_k/a_k}{(c_k - a_k(N+1))/b_k} \rceil$ | $\frac{c_k \% b_k}{(c_k - b_k(N+1)) \% a_k}$ | $\frac{c_k \% a_k}{(c_k - a_k(N+1)) \% b_k}$ |
| $N/2 + 1 \leq k \leq N-1$ $N+1 + N/2 \leq k \leq 2N-1$ | $c_k \leq b_k(N+1)$ $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > a_k(N+1)$ | $\lceil \frac{c_k/b_k}{(c_k - b_k(N+1))/a_k} \rceil$ | $\lceil \frac{c_k/a_k}{(c_k - a_k(N+1))/b_k} \rceil$ | $\frac{c_k \% b_k}{(c_k - b_k(N+1)) \% a_k}$ | $\frac{c_k \% a_k}{(c_k - a_k(N+1)) \% b_k}$ |
| $k=8$ | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | $\lceil c_k \rceil$ | $\lceil c_k \rceil$ | 0 | 0 |

* $\lceil x \rceil$: x 를 넘지 않는 최대의 정수, % : 모드(mod) 연산

A.2 보간에 필요한 경계화소 값($bbp_{k,1}, bpv_{k,2}$)

| k | range | $bbp_{k,1}$ | $bpv_{k,2}$ |
|------------------------------|--|--|--|
| $k=0$ | $a_k N \leq c_k \leq b_k N$ | $lbbp(t_{k,1})$ | $rbbp(t_{k,2})$ |
| $1 \leq k \leq N/2 - 1$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $\frac{(b_k - r_{k,1})lbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}lbbp(t_{k,1} + 1)}{b_k}$ | $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{a_k}$ |
| $N+1 \leq k \leq N-1 + N/2$ | $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\frac{(b_k - r_{k,1})lbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}lbbp(t_{k,1} + 1)}{b_k}$ $\frac{(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)}{a_k}$ | $\frac{(b_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{b_k}$ $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{a_k}$ |
| $k = N/2, N + N/2$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\frac{(b_k - r_{k,1})lbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}lbbp(t_{k,1} + 1)}{b_k}$ $\frac{(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)}{a_k}$ | $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{b_k}$ $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{a_k}$ |
| $N/2 + 1 \leq k \leq N-1$ | $c_k \leq b_k(N+1)$ | $\frac{(b_k - r_{k,1})lbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}lbbp(t_{k,1} + 1)}{b_k}$ | $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{a_k}$ |
| $N+1 + N/2 \leq k \leq 2N-1$ | $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > a_k(N+1)$ | $\frac{(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)}{a_k}$ $\frac{(b_k - r_{k,1})lbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}lbbp(t_{k,1} + 1)}{b_k}$ | $\frac{(a_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{a_k}$ $\frac{(b_k - r_{k,2})rbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}rbbp(t_{k,2} + 1)}{b_k}$ |
| $k=N$ | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | $lbbp(t_{k,1})$ | $bbbp(t_{k,2})$ |

† $N+1 : k < 2N-1$ 의 범위에서는 $lbbp, rbbp, lbbp, bbbp$ 들이 본문의 식(5)와 같이 변경됨.

A.3 보간에 필요한 길이($L_{k,1}, L_{k,2}$)

| k | range | $L_{k,1}$ | $L_{k,2}$ |
|---|---|--|--|
| $k=0$ | $a_k N \leq c_k \leq b_k N$ | x | $N+1-x$ |
| $1 \leq k \leq N/2 - 1$ $N+1 \leq k \leq N-1 + N/2$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\sqrt{\frac{x^2 + (x m_{k,1})^2}{x^2 + (x m_{k,2})^2}}$ $\sqrt{\frac{x^2 + (x m_{k,1})^2}{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}}$ | $\sqrt{\frac{(y m_{k,2})^2 + y^2}{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}}$ $\sqrt{\frac{(y m_{k,2})^2 + y^2}{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}}$ |
| $k = N/2, N + N/2$ | $c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > b_k(N+1)$ | $\sqrt{\frac{x^2 + x^2}{(N+1-y)^2 + (N+1-y)^2}}$ | $\sqrt{\frac{y^2 + y^2}{(N+1-x)^2 + (N+1-x)^2}}$ |
| $N/2 + 1 \leq k \leq N-1$ $N+1 + N/2 \leq k \leq 2N-1$ | $c_k \leq b_k(N+1)$ $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ $c_k > a_k(N+1)$ | $\sqrt{\frac{x^2 + (x m_{k,1})^2}{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}}$ $\sqrt{\frac{x^2 + (x m_{k,1})^2}{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}}$ | $\sqrt{\frac{(y m_{k,2})^2 + y^2}{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}}$ $\sqrt{\frac{(y m_{k,2})^2 + y^2}{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}}$ |
| $k=N$ | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | y | $N+1-y$ |

B.1 보간에 필요한 경계화소들의 좌표($t_{k,1}, t_{k,2}$)

| k | range | $t_{k,1}$ | $t_{k,2}$ |
|-------------|--------------------------------|---|---|
| k=8 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/b_k}{a_k} \right\}$ |
| 9 ≤ k ≤ 15 | $c_k > b_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/b_k}{a_k} \right\}$ |
| | $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/a_k}{a_k} \right\}$ |
| k=16 | $c_k > a_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/a_k}{a_k} \right\}$ |
| | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | $N-1 + c_1$ | $N-1 + c_1$ |
| 17 ≤ k ≤ 23 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/b_k}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\}$ |
| | $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/b_k}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\}$ |
| k=24 | $c_k > b_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/b_k}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\}$ |
| | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/a_k}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\}$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k/a_k}{a_k} \right\}$ | $N-1 + \left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\}$ |

* [x] : x를 넘지 않는 최대의 정수

B.2 보간에 필요한 경계화소들의 거리($r_{k,1}, r_{k,2}$)

| k | range | $r_{k,1}$ | $r_{k,2}$ |
|-------------|--------------------------------|--|--|
| k=8 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $\left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\} \% a_k$ | $c_k \% b_k$ |
| 9 ≤ k ≤ 15 | $c_k > b_k(N+1)$ | $\left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\} \% a_k$ | $c_k \% b_k$ |
| | $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ | $\left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\} \% a_k$ | $c_k \% a_k$ |
| k=16 | $c_k > a_k(N+1)$ | $\left\{ \frac{c_k - b_k(N+1)}{a_k} \right\} \% a_k$ | $c_k \% a_k$ |
| | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | 0 | 0 |
| 17 ≤ k ≤ 23 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $c_k \% b_k$ | $\left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\} \% b_k$ |
| | $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ | $c_k \% b_k$ | $\left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\} \% b_k$ |
| k=24 | $c_k > b_k(N+1)$ | $c_k \% b_k$ | $\left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\} \% b_k$ |
| | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $c_k \% a_k$ | $\left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\} \% b_k$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $c_k \% a_k$ | $\left\{ \frac{c_k - a_k(N+1)}{b_k} \right\} \% b_k$ |

B.3 보간에 필요한 경계화소 값($bpv_{k,1}, bpv_{k,2}$)

| k | range | $bpv_{k,1}$ | $bpv_{k,2}$ |
|-------------|--------------------------------|---|---|
| k=8 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| 9 ≤ k ≤ 15 | $c_k \leq b_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(a_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(a_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| k=16 | $c_k > a_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(a_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | $tbbp(t_{k,1})$ | $bbbp(t_{k,2})$ |
| 17 ≤ k ≤ 23 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $(b_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ | $(b_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| k=24 | $c_k > b_k(N+1)$ | $(b_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $(a_k - r_{k,1})bbbp(t_{k,1}) + r_{k,1}bbbp(t_{k,1} + 1)$ | $(b_k - r_{k,2})tbbp(t_{k,2}) + r_{k,2}tbbp(t_{k,2} + 1)$ |

B.4 보간에 필요한 길이($L_{k,1}, L_{k,2}$)

| k | range | $L_{k,1}$ | $L_{k,2}$ |
|-------------|--------------------------------|---|---|
| k=8 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $\sqrt{(N+1-y)^2 + (N+1-y)^2}$ | $\sqrt{y^2 + y^2}$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $\sqrt{(N+1-y)^2 + (N+1-y)^2}$ | $\sqrt{y^2 + y^2}$ |
| 9 ≤ k ≤ 15 | $c_k \leq b_k(N+1)$ | $\sqrt{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}$ | $\sqrt{(ym_{k,2})^2 + y^2}$ |
| | $b_k(N+1) < c_k \leq a_k(N+1)$ | $\sqrt{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}$ | $\sqrt{(ym_{k,2})^2 + y^2}$ |
| k=16 | $c_k > a_k(N+1)$ | $\sqrt{((N+1-y)m_{k,2})^2 + (N+1-y)^2}$ | $\sqrt{(ym_{k,2})^2 + y^2}$ |
| | $b_k N \leq c_k \leq a_k N$ | y | $\frac{N+1-y}{N+1-y}$ |
| 17 ≤ k ≤ 23 | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $\sqrt{x^2 + (xm_{k,1})^2}$ | $\sqrt{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}$ |
| | $a_k(N+1) < c_k \leq b_k(N+1)$ | $\sqrt{x^2 + (xm_{k,1})^2}$ | $\sqrt{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}$ |
| k=24 | $c_k > b_k(N+1)$ | $\sqrt{x^2 + (xm_{k,1})^2}$ | $\sqrt{(N+1-x)^2 + ((N+1-x)m_{k,1})^2}$ |
| | $c_k \leq a_k(N+1)$ | $\sqrt{x^2 + x^2}$ | $\sqrt{(N+1-x)^2 + (N+1-x)^2}$ |
| | $c_k > b_k(N+1)$ | $\sqrt{x^2 + x^2}$ | $\sqrt{(N+1-x)^2 + (N+1-x)^2}$ |



김 승 종(Seungjong Kim) 정회원

1992년 2월: 한양대학교 자연과학
대학 수학과 졸업(이
학사)

1994년 2월: 한양대학교 대학원 전
자통신공학과 졸업
(공학석사)

1994년 3월~현재: 한양대학교 대
학원 전자통신공학과 박사과정

※주관심분야: 디지털 신호처리, 영상 통신 및 압축,
영상 암호 등



정 제 창(Jechang Jeong) 정회원

1980년 2월: 서울대학교 전자공학
과 공학사

1982년 2월: 한국 과학기술원 전
기전자공학과 공학
박사

1990년 8월: 미시간대학교(앤아버)
전기공학과 공학박사

1982년 2월~1986년 7월: 한국방송공사 기술연구소 연
구원(뉴미디어 연구개발)

1990년 9월~1991년 1월: 미시간대학교(앤아버) Post-
doctorial Research Fellow.

1991년 2월~1995년 2월: 삼성전자 멀티미디어 연구센터
신호처리연구소 수석연구원
(HDTV 및 멀티미디어 연구
개발)

1995년 3월~현재: 한양대학교 전자통신공학과 조교수
※주관심분야: 영상 및 음성압축, 영상처리, 디지털
신호처리, 디지털통신, VLSI 설계등.

최 병 옥(Byunguk Choi)

정회원

한국통신학회 논문지 제21권 제11호 참조