

인트라 프레임 예측모드를 이용한 효율적인 공간적 에러 은닉

이기형, 김명훈, 설상훈
고려대학교 전자컴퓨터공학과
e-mail : {ghlee, mhkim, sull}@mpep.korea.ac.kr

Efficient Spatial Error Concealment using Intra-frame Prediction Mode

Gihyung Lee, Myounghoon Kim, Sanghoon Sull
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Korea University

요 약

본 논문은 에러블록에 대해 인트라 프레임 예측모드를 이용하여 효율적인 공간적 에러 은닉 방법을 제안한다. 먼저, 에러블록내 픽셀값 복원을 위한 에러블록의 에지방향 예측은 주변 블록의 변환영역 예측모드를 이용한다. 예측된 에러블록의 정확한 에지방향은 인접한 두 에지방향과 비교하여 결정한다. 에러블록의 에지방향 예측을 주변블록의 예측모드를 이용함으로써, 기존의 에지 방향 계산을 단축시킴으로써 효율적인 에러 은닉을 가능하게 한다

1. 서론

지상파 디지털미디어방송(Terrestrial Digital Media Broadcasting, 이하 T-DMB)[1]에서 사용하고 있는 H.264/AVC(Advanced Video Coding)[2]는 영상부호화 표준으로서 고속비트율을 사용하는 디지털 방송이나 T-DMB 에서 널리 이용되고 있다. 따라서, 영상수신간 발생할 수 있는 에러를 효과적으로 복원 및 은닉 할 수 있는 방법들이 필요하다.

영상 수신시 발생하는 에러를 복구 하기 위해서 많은 방법들이 제안되었다. Rongfu *et al.* [3]는 에러블록의 주변블록들의 질감(Texture)을 기준으로 에러블록들을 분류해 적절하게 에러를 은닉할 수 있는 방법을 제안하였다. Kim *et al.* [4]는 인접 블록의 픽셀 정보에서 공간방향 벡터를 추출하고 이 공간 벡터의 세분화를 통해 정확한 에지 방향을 추출하고 보간 하는 방법을 제시 하였다. Zeng *et al.* [5]는 에러 블록에 인접한 주변 픽셀들을 이용하여 에러블록의 기하학적 구조를 예측하고, 주변 픽셀들을 이진영상으로 변환 후 검출된 에지들을 연결하고 방향 보간 방법을 이용해 에러 블록을 은닉(GSB)한다. 이러한 방법들은 영상의 에러 블록의 에지를 정확하게 복구 할 수 있는 장점이 있으

나 에지 방향 결정이 효율적이지 않아 에러 은닉을 위해 많은 계산이 필요하다.

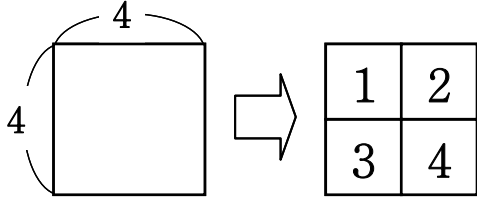
본 논문에서는 인트라프레임에서 발생하는 에러블록의 에지의 방향을 효율적으로 예측하여 에러 은닉 방법을 제안한다. 효율적인 에지방향 예측을 위해 H.264 의 코딩 모드 정보를 이용한다. 먼저, 변환영역에서 각 4x4 블록에 대해 에지를 검출한다. 에러블록 주변 에지중 에지강도가 임계값 이상인 에지를 포함하는 블록들을 구별한다.

그리고 구별된 블록들의 코딩 모드 방향을 이용하여 에러 블록의 에지 방향을 예측한다. 정확한 에지 방향을 결정 하기 위해서 예측된 방향과 예측된 방향의 주변 두 개의 방향들의 픽셀 왜곡 정도를 이용하여 정확한 하나의 방향을 결정하고, 에러블록의 픽셀들을 보간한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 4x4 블록의 에지 검출방법을 설명하고, 3 장에서는 주변 블록들의 예측 모드를 이용하여 에러블록의 에지 방향을 예측하는 방법을 설명한다. 그리고, 4 장에서는 정확한 에지 방향 결정과 에러블록 픽셀들을 보간하는 방법을 설명한다. 5 장에서는 제안한 방법의 실험결과를 보이고, 6 장에서는 결론을 제시한다.

2. 변환영역에서의 에지 검출

4x4 블록의 에지 방향을 계산하기 위해서 블록을 중첩되지 않게 (그림 1)과 같이 4 개의 하위블록으로 나눈다.



(그림 1) 하위블록과 표시

먼저, 각 하위블록들에 대한 평균 밝기값 A^k 를 계산한다. 평균 밝기값 A^k ($k=1,2,3,4$) 와 수평 에지 \mathbf{E}^{Hor} 와 수직 에지 \mathbf{E}^{Ver} 를 식(1) 을 이용하여 검출한다.

$$\mathbf{E}^{Hor} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 - (\mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4) \quad (1)$$

$$\mathbf{E}^{Ver} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_3 - (\mathbf{A}_2 + \mathbf{A}_4)$$

\mathbf{E}^{Hor} 과 \mathbf{E}^{Ver} 를 H.264 의 변환영역에서 구하기 위한 이차원 정수 변환은 식 (2)와 같다.

$$\mathbf{X} = \mathbf{T}\mathbf{X}\mathbf{T}^t \quad (2)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(2)번식으로부터 식 (4)를 유도할 수 있다.

$$\mathbf{H} = \mathbf{X}\mathbf{T}^t = \mathbf{T}^{-1}\mathbf{X} \quad (4)$$

\mathbf{H}_i 를 \mathbf{H} 의 i^{th} 행과 첫번째 열의 값이라고 정의하면, \mathbf{H}_i ($i=1,2,3,4$) 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_1 &= 0.25\mathbf{X}_{1,1} + 0.2\mathbf{X}_{2,1} + 0.25\mathbf{X}_{3,1} + 0.1\mathbf{X}_{4,1} \\ \mathbf{H}_2 &= 0.25\mathbf{X}_{1,1} + 0.1\mathbf{X}_{2,1} - 0.25\mathbf{X}_{3,1} - 0.2\mathbf{X}_{4,1} \\ \mathbf{H}_3 &= 0.25\mathbf{X}_{1,1} - 0.1\mathbf{X}_{2,1} - 0.25\mathbf{X}_{3,1} + 0.2\mathbf{X}_{4,1} \\ \mathbf{H}_4 &= 0.25\mathbf{X}_{1,1} - 0.2\mathbf{X}_{2,1} + 0.25\mathbf{X}_{3,1} - 0.1\mathbf{X}_{4,1} \end{aligned} \quad (5)$$

$\mathbf{X}_{i,j}$ 는 \mathbf{x} 의 i^{th} 와 j^{th} 에 있는 계수값이다. 식(5)를 이용하여, 식(1)에 있는 수평 에지 \mathbf{E}^{Hor} 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{E}^{Hor} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 - \mathbf{H}_3 - \mathbf{H}_4 = 0.6\mathbf{X}_{2,1} - 0.2\mathbf{X}_{4,1} \quad (6)$$

수직 에지 \mathbf{E}^{Ver} 는 \mathbf{E}^{Hor} 과 비슷하게 계산되며 그 결과는 다음과 같다.

$$\mathbf{E}^{Ver} = \mathbf{V}_1 + \mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_3 - \mathbf{V}_4 = 0.6\mathbf{X}_{1,2} - 0.2\mathbf{X}_{1,4} \quad (7)$$

로컬 수평 에지 \mathbf{E}^{Hor} 와 수직 에지 \mathbf{E}^{Ver} 는 식(6)과 (7)을 이용하여 변환영역에서 직접 계산할 수 있다. 그러나, 소수화 연산을 피하기 위해서, \mathbf{E}^{Hor} 과 \mathbf{E}^{Ver} 에 각각 5 를 곱한 값으로 사용하면 식(6)과 (7)은 식 (8)과 같이 덧셈과 Shift 연산으로만 표현됨으로써 변환 영역에서의 계산량을 줄일 수 있게 된다.

$$\mathbf{E}^{Hor} = 4\mathbf{X}_{2,1} - \mathbf{X}_{2,1} - \mathbf{X}_{4,1} \quad (8)$$

$$\mathbf{E}^{Ver} = 4\mathbf{X}_{1,2} - \mathbf{X}_{1,2} - \mathbf{X}_{1,4}$$

3. 에러블록의 에지방향 예측

에러블록의 에지방향은 주위 블록의 에지들에 의해서 예측 할 수 있다. 그림 3 은 에러블록 주위의 주변 4x4 블록의 에지 블록 검출과정을 보여준다. 에러블록은 정확하게 복호화된 4x4 블록들에 싸여 있다고 가정한다. (그림 2)의 (가)는 에러블록 \mathbf{M} 과 \mathbf{M} 의 주변 블록들과 예측모드를 나타낸다. 다음 식(9)는 에지에 대한 강도 각도를 나타낸다.

$$A(x, y) = \sqrt{(\mathbf{E}^{Hor}(x, y))^2 + (\mathbf{E}^{Ver}(x, y))^2} \quad (9)$$

(x, y)위치에서 에지의 특성 $\alpha(x, y)$ 는 식(10)으로 정의한다.

$$\alpha(x, y) = (A(x, y), M(x, y)) \quad (10)$$

여기서, $M(x, y)$ 는 에지블록의 예측모드를 나타내는 특징벡터이다.

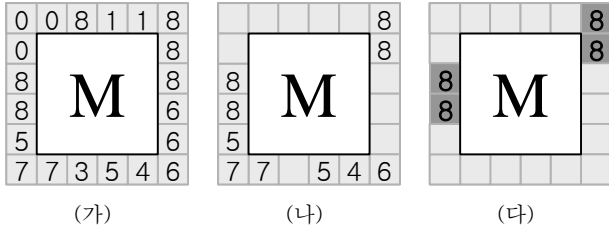
에러블록의 에지방향을 예측하기 위해 주변 블록의 에지특성을 사용한다. 즉, 임계값 이상의 에지를 포함하는 주변블록들의 에지특성으로 에러블록의 에지특성을 예측한다. (그림 3)의 (나)는 임계값이상인 에지를 포함한 주변블록들과 그 예측모드를 나타낸다. 에러블록의 에지방향을 예측하기 위해서 주변블록의 에지를 검출한다. 에지의 강도가 주변블록 중에서 도미넌트한 에지를 결정하고, 다음의 식(11)으로 표현된다

$$\mathbf{C} = \{\alpha(x_n, y_n) | A(x_n, y_n) \geq T, n \in \mathbf{B}\} \quad (11)$$

T 는 임계값을 나타내며, \mathbf{B} 는 에러블록의 주변 블록들의 집합이다.

집합 \mathbf{C} 에 있는 $\alpha(x, y)$ 의 예측모드 $M(x, y)$ 의 갯수를 수평과 수직방향에 대해서 구하고, 이 두 방향중 많은 수의 예측모드를 가지는 수직 또는 수평방향에 대한 예측모드의 갯수를 구한다. 그 중에서 가장 많은 갯수를 가지는 예측모드를 에러블록에 대한 에지방향으로 예측하고 이를 글로벌 에지라 한다. (그림 2)의 (다)는 이를 나타낸다. 예를 들면 (그림 2)의 (가)에서

수평 방향 모드는 6,1,8 이고 수직 방향 모드는 7,0,5 이다. 식(8)을 통해 수평 방향의 에지강도가 수직방향보다 강하다고 하면 수평 방향에서 가장 많은 수의 예측모드는 8 이다. 따라서, 가장 많은 수의 예측모드 8 은 에러블록의 글로벌 에지로 예측된다. (그림 2)의 (다)는 에러블록을 보간할 검출된 글로벌 에지를 보여 준다.



(그림 2) 에지블록 검출

4. 에러블록 픽셀복구

예측된 에러블록에 에지방향 즉, 글로벌 에지는 실제 에러블록의 에지 방향과 다를 수 있다. 따라서 에러블록의 에지방향을 정확하게 보정해야 에러블록의 픽셀을 복구할수있다. 따라서 에지방향을 보정하기 위해, 예측된 에지방향을 포함하여 인접한 두방향을 비교한다. 각 에지방향은 식(12)와 같이 선형식으로 표현할 수 있다.

$$y - y_i - m_i(x - x_i) = 0$$

$$m_i = \left\{ \theta, \theta - \frac{\pi}{32}, \theta + \frac{\pi}{32} \right\}, (i = 1, 2, 3)$$

i 는 인덱스이고, i 가 1일 때 예측된 에지 θ 를 나타낸다. (x_i, y_i) 는 에러블록내의 보간하려는 픽셀의 좌표이다.

에지방향의 보정은 에러블록의 경계밖에서 선형식과 만나는 참조픽셀에 의해 결정된다. 즉, 선형식과 만나는 두 참조픽셀값의 차이가 가장 작은 방향이 보정된 에지방향이다. (그림 3)은 에러블록의 픽셀값을 보간하기 위한 에지방향 보정과정을 보여준다.

에러블록의 픽셀값 V 은 식(13)을 이용 보정된 에지 방향의 두 참조픽셀의 선형보간으로 복구한다.

$$V = \left(\left(\frac{V_L}{D_L^2} + \frac{V_R}{D_R^2} \right) / \left(\frac{1}{D_L^2 + D_R^2} \right) \right)$$

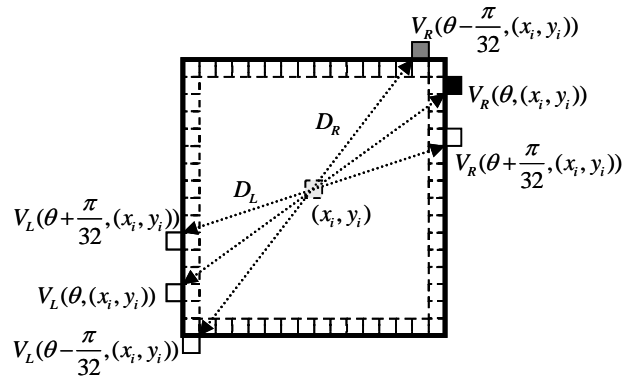
5. 실험결과

실험결과를 평가하기 위해 H.264/AVC 참조 소프트웨어인 JM9.8 의 복호기를 사용하였다. 사용한 영상스트림은 다음과 같이 변환하여 사용하였다. T-DMB 방송을 녹화하고, 영상스트림을 추출하기 위해 MPEG-2 system[6], MPEG-4system[7], H.264/AVC 를 사용하여 영상스트림을 패킷화하였다. 이렇게 추출한 영상프레임

당 슬라이스로 구성된 날유닛(NAL Unit)을 호트러진(disperse)상태의 슬라이스로 구성한 후 다시 부호화한 후 실험을 하였다.

<표 1>은 각각의 영상에 16x16 에러블록이 18%일때의 PSNR 을 비교한 표이다. <표 2>에서는 각각의 영상에 16x16 에러블록이 18%일 때의 복호시간을 비교한 표이다.

기하학적 구조 분석 방법(GSB)[5]보다 1.4 dB(3.7%)의 에러 은닉 증가를 보이며, FDI[4]보다는 0.66 dB(2.1%)의 에러 은닉 감소를 보인다. <표 2>에서는 에러 은닉 소요시간을 비교하였다. GSB 보다 약 23% 빠르고, FDI 보다 약 18% 빠르다.



(그림 3) 선형 보간 과정

<표 1> 16x16 에러블록에 대한 PSNR 결과 비교

PSNR(dB)	GSB	FDI	제안방법
영상 A	25.44	26.97	26.38
영상 B	26.61	27.97	27.30
영상 C	31.61	32.85	32.25
영상 D	29.80	32.92	31.81
평균값	28.37	30.10	29.44

<표 2> 16x16 에러블록에 대한 은닉 시간비교

시간 (ms)	GSB	FDI	제안방법
영상 A	346.3	321.4	282.9
영상 B	338.7	317.2	276.6
영상 C	332.8	319.3	276.7
영상 D	321.5	307.8	260.9
평균값	334.83	316.43	274.28

6. 결론

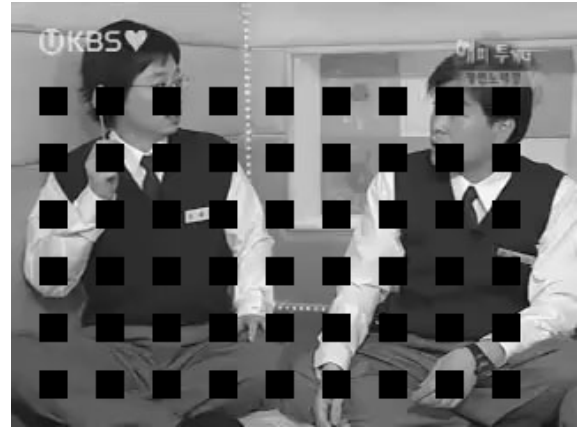
본 논문에서는 영상 수신시 발생할 수 있는 에러블록에 대해서 빠른 에러 은닉에 관한 방법을 제안하였다. 제안한 에러 은닉 방법은 에러 블록에 대한 에지 방향 계산을 H.264 에서 사용하는 예측모드를 에지 방

향 계산에서 사용할 수 있도록 함으로 계산량을 줄이게 되었다. 또한 예측모드로만 에러 은닉을 함으로써 발생할 수 있는 이미지 화질의 저하를 보정함으로써 에러 블록의 에지 방향의 정확성을 높혀 이미지 화질의 증가를 보였다.

주변 블록이 4x4 가 아닌 8x8 및 다른 블록에서도 가능하도록 하는 것과 슬라이스 단위의 에러가 발생했을 때에 대해서도 빠른 은닉이 가능하도록 하는 방법에 대한 향후 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] TTA.KO-07.0033 위성 디지털미디어방송 데이터송수신정합표준
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG), "Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding," International Standard 14496-10, ISO/IEC, 2004
- [3] Z. Rongfu, Z. Yuanhua, and H. Xiaodong, "Content-adaptive spatial error concealment for video communication," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol.50, no.1, pp.335-342, Feb. 2004
- [4] W. Kim, J. Koo, and J. Jeong, "Fine directional interpolation for spatial error concealment," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol.52, no.3, pp. 1050-1056, Aug. 2006
- [5] W. Zeng and B. Liu, "Geometric-structure-based error concealment with novel applications in block-based low-bit-rate coding," IEEE Transactions on Circuits System and Video Technology, vol. 9, no. 4, pp. 648-665, Jun. 1999
- [6] ISO/IEC 13818-1, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems" 2000
- [7] ISO/IEC 14496-1, "Information technology - Coding audio-visual object- Part 1: Systems", 2005
- [8] Y. Xu and Y. Zhou, "H.264 video communication based refined error concealment schemes," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 4, pp. 1134-1141, Nov. 2004
- [9] J.W. Suh and Y.S. Ho, "Error concealment based on directional interpolation," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol.43, no.3, pp.295-302, Aug. 1997



(가) 에러 프레임 (13.54 dB)



(나) GSB (26.69 dB)



(다) FDI (27.80 dB)



(라) 제안한 방법 (27.84 dB)

(그림 4) 프레임 에러 은닉 결과(영상 B)