

H.264 인트라 프레임을 위한 저복잡도(低複雜度) 공간적 에러은닉 기법

정희원 김 동 형*, 준희원 조 상 협*, 종신회원 정 제 창**

A Spatial Error Concealment Technique with Low Complexity for Intra-frame in the H.264 Standard

Donghyung Kim* *Regular Member*, Sanghyup Cho* *Associate Member*,
Jechang Jeong** *Lifelong Member*

요 약

H.264 표준은 공간영역에서의 인트라 예측, 루프필터 등과 같은 새로운 부호화 도구를 사용한다. 이러한 부호화 도구들의 사용으로 인해 H.264 비트스트림은 이전의 부호화 표준들과 비교하여 보다 많은 정보를 가지게 된다. 본 논문은 H.264의 인트라 프레임에서의 공간적 에러은닉 기법에 관한 것으로 H.264 비트스트림 내에 포함되어 있는 인트라블록의 예측모드 정보를 이용하여 손실된 블록을 공간적으로 복원한다. 인트라 블록의 예측모드 정보는 해당 블록내의 에지방향과 상당한 관련이 있기 때문에 인트라 프레임에서의 손실된 매크로블록을 복원하는데 효과적으로 사용될 수 있다. 제안하는 알고리즘은 먼저 주변의 예측모드정보를 사용하여 손실된 매크로블록의 에지방향을 예측하고, 손실된 블록을 에지영역과 평탄영역으로 구분한다. 이후 에지영역은 에지기반의 방향성 복원기법을 사용하여 복원하며, 평탄영역은 가중평균을 이용한 보간 기법을 사용하여 복원한다. 실험 결과 제안하는 알고리즘은 이전의 방법과 비교하여 적게는 0.35 dB 부터 많게는 5.48 dB까지의 화질 향상을 가져온다.

Key Words : spatial error concealment, intra-mode, prediction mode, estimation of edge direction

ABSTRACT

H.264 adopts new coding tools such as intra-prediction, loop filter, etc. The adoption of these tools enables an H.264-coded bitstream to have more information compared with previous standards. In this paper we proposed an effective spatial error concealment method for H.264. Among the information included in an H.264-coded bitstream, we use intra-mode for recovering a damaged block. This is because prediction direction in intra-mode is highly correlated to the edge direction of a lost macroblock. We first estimate the edge direction using intra-modes of blocks adjacent to a lost macroblock, and classify the area in a damaged macroblock into the edge and the flat area. And then our method recovers pixel values in the edge area using edge-directed interpolation, and recovers pixel values in the flat area using weighted interpolation. Simulation results show the proposed method yields better video quality than conventional approaches by 0.35 to 5.48 dB.

※ 본 연구는 정보통신부의 출연금으로 수행한 IT SoC 핵심설계인력양성사업의 수행결과입니다.

* 한양대학교 전자통신전파공학과 영상처리 및 신호처리 연구실 (kimdh@ece.hanyang.ac.kr)

** 한양대학교 전자전기컴퓨터 공학부 (jjeong@ece.hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-02-091, 접수일자 : 2006년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 18일

I. 서론

H.264/AVC 표준은 ITU-T의 VCEG(Video Coding Experts Group)과 ISO/IEC의 MPEG(Moving Picture Expert Group)의 공동 작업으로 제정되었다^[1]. H.264/AVC 비디오 부호화 방식은 이전의 비디오 부호화 표준들(MPEG2, MPEG4 Part2, H.263)에는 없던 새로운 부호화 도구들이 추가되었다. 새롭게 추가된 부호화 도구들에는 4x4 정수 변환, CAVLC(Context-based Adaptive Variable Length Coding) 및 CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)을 이용한 엔트로피 부호화, 부호화 및 복호화 과정 내에 포함되어 있는 블록화 현상(blocking artifact)을 제거하기 위한 루프 필터(loop-filter), 다중 참조 영상의 사용 및 1/4 화소 단위의 움직임 추정 및 보상, 그리고 공간영역에서의 인트라 예측 등이 포함된다^[2]. 이렇게 새롭게 추가된 부호화 도구들은 H.264 부호화 표준이 이전의 여러 동영상 부호화 표준들에 비해 보다 높은 압축 효율을 가질 수 있게 한다. 다섯 장의 참조 프레임의 사용과 32 화소의 움직임 추정 영역을 사용하여 메인 프로파일로 부호화 한 경우, H.264 표준은 MPEG-2와 비교하여 약 48~78%까지의 비트율 감소효과가 있다고 알려져 있다^[3].

MPEG2 부호화 표준이 제정된 이후로 많은 공간영역에서의 에러은닉을 위한 방법들이 제안되었다. Wang 등은 인접한 화소들간의 평탄제약조건(smoothness constraint)을 이용하여 최적의 DCT 계수를 추정하는 최적화 알고리즘^[4]을 제안하였고, Lee 등은 공간영역에서의 보간 필터와 퍼지로지논리(fuzzylogic reasoning)를 사용한 블록 복원 알고리즘을 제안하였다^[5]. 또한 POCS (projection onto convex sets)에 기반한 블록 복원 알고리즘^[6]이 Sun과 Kwok에 의해 제안되었으며, Alkachouh와 Bellanger에 의해 고속 DCT에 기반한 보간 기법^[7]이 제안되었다. 최근에는 RIBMAP(recovery of image blocks using the method of alternating projection)라 불리는 복원 기법^[8]이 Park 등에 의해 소개되었다. 하지만 앞서 언급한 여러 공간적 에러은닉 기법들은 정지영상 또는 동영상 등에 모두 적용 가능한 방법으로서 이는 적용 대상의 부호화 특성을 고려하지 않고 있다.

본 논문은 H.264 부호화 표준의 특성을 고려하여 적은 연산량을 가지는 공간적 에러은닉 기법을 제안한다. H.264 부호화 표준에서 추가된 새로운

부호화 도구들 중 공간영역에서 인트라 블록의 예측모드들은 인트라프레임 내의 손실된 매크로블록 복원에 효율적으로 사용될 수 있는데, 이는 각각의 예측모드가 해당 블록의 에지의 방향을 대변(代辯)하기 때문이다. 제안하는 알고리즘은 먼저 손실된 매크로블록 주변에 위치하는 예측모드 정보를 사용하여 손실된 매크로블록의 에지 방향을 추정하고, 이와 함께 역시 주변의 예측모드를 이용하여 손실된 매크로블록내의 영역을 에지영역과 평탄영역으로 분류한다. 여기에서 에지영역이란 에지가 존재한다고 판단되는 영역을 말하며, 평탄영역이란 에지가 존재하지 않는 영역을 말한다. 이후 각 영역에 따라서 다른 보간(interpolation) 기법을 사용하여 손실된 화소값을 복원하는데 에지영역내의 화소값은 이미 예측된 에지의 방향성을 고려한 보간 기법 (edge directional interpolation)을 사용하여 보간하며, 이외의 영역 즉, 평탄영역의 화소값은 현재 H.264 참조소프트웨어에서 사용 중인 상하좌우에 위치한 네 개의 외각 화소값들에 대한 가중평균을 이용한 보간기법 (weighted interpolation)을 이용하여 보간한다. 이때 평탄영역의 화소값은 손실된 매크로블록의 외각 화소값들 뿐만 아니라 이미 복원된 에지영역의 화소값도 함께 사용한다.

논문의 구성은 2장에서 현재 H.264 참조 소프트웨어에서의 공간적 에러은닉 기법을 기술하고 3장에서 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 전처리과정(pre-processing)과 적응적 보간과정(adaptive interpolation)으로 나누어 설명하고, 제안하는 알고리즘의 연산량을 분석한다. 4장에서는 제안하는 알고리즘의 적용을 통해서 알고리즘의 타당성을 보이고 마지막 절에서 결론을 맺는다.

II. H.264 인트라프레임에서의 에러은닉

2.1 인트라 모드

H.264 부호화 표준은 공간영역에서의 예측을 통한 인트라 프레임의 부호화를 위해 모두 세 가지의 인트라 모드를 지원한다. 각 인트라 모드는 예측에 사용되는 블록이 크기에 따라 인트라16x16, 인트라4x4, 그리고 H.264 version 3^[1]에서 추가된 인트라8x8로 나뉘며 그림 1은 하나의 매크로블록이 이들 세 개의 인트라모드들로 부호화되었을 때 블록의 나뉘는 모양을 나타낸다.

각 인트라모드들은 서로 다른 가지 수의 예측모드(pmode: prediction mode)를 가지는데 그림 2와

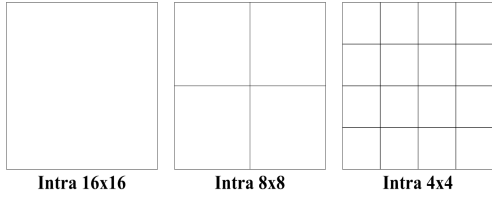


그림 1. 인트라 예측을 위한 세 가지 인트라 모드들의 블록 나뉠 모양
Fig. 1. Block partitions of three intra-modes for intra prediction

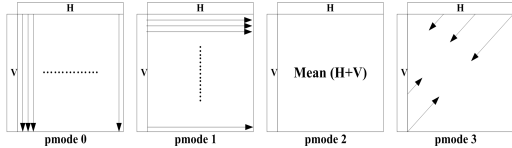


그림 2. 인트라16x16의 4가지 예측모드
Fig. 2. Four prediction modes of intra16x16

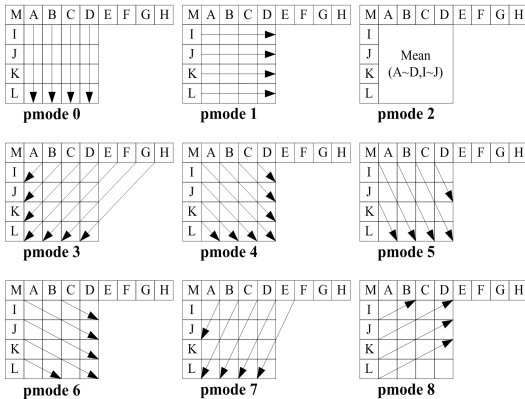


그림 3. 인트라 4x4의 9가지 예측모드
Fig. 3. Nine prediction modes of intra 4x4

그림 3은 각각 인트라16x16과 인트라4x4에서의 예측모드를 나타내고 있으며, 인트라8x8의 경우에는 인트라4x4와 동일한 예측모드를 갖는다.

2.2 인트라프레임에서의 에러은닉

ITU-T에서 권고하고 현재 참조소프트웨어(JM10.1)에 구현되어 있는 인트라프레임에서의 에러은닉방법은 손실된 매크로블록의 가로 및 세로방향에 위치한 네 개 외각 화소값들의 가중평균을 사용한다. 즉, 그림 4에 나타나있는 것처럼 손실된 블록내의 화소 P_c 의 복원을 위해서는 상하좌우에 네 개의 주변화소인 $P_0, P_1, P_2,$ 그리고 P_3 가 사용되며, 이들에 네 개 화소값의 가중평균으로서 손실된 매크로블록내의 P_c 를 복원한다. 이때 각 화소값에 대한 가중치는 복원하고자하는 픽셀과의 거리에 반비례하게 부과되며 식(1)은 이를 표현한다.

$$P_c = (D_1P_0 + D_0P_1 + D_3P_2 + D_2P_3) / (\sum_{i=0}^3 D_i) \quad (1)$$

이렇게 현재 H.264에서 사용되고 있는 인트라 프레임에 대한 에러은닉방법은 영상내의 에지의 특성과는 관계없이 항상 수직 및 수평방향의 주변 화소값에 대한 가중평균을 취함으로써 평탄영역 및 가로 또는 세로방향의 에지가 존재하는 영역에서는 비교적 좋은 성능을 보이지만, 대각선등과 같은 이의 방향의 에지를 포함하고 있는 경우에는 현저한 화질저하를 초래한다.

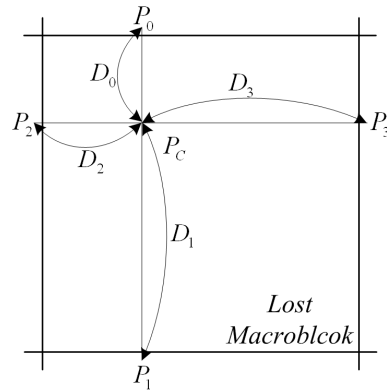


그림 4. H.264 참조소프트웨어(JM10.1)에 구현된 인트라매크로블록의 에러은닉 방법
Fig. 4. Error concealment method for intra macroblock in H.264 reference software

III. 제안하는 알고리즘

전술(前述)한 바와 같이 H.264 비디오 부호화 표준에서는 이전의 여러 부호화 표준들과는 다르게 공간영역(Spatial Domain)에서의 예측을 사용하여 인트라 프레임을 부호화 하며, 인트라 부호화에 사용되는 세 가지 인트라모드들은 서로 다른 가지 수의 예측모드를 가진다. 이러한 H.264 부호화 특성은 에러은닉에 효율적으로 사용될 수 있는데 이는 각 블록의 예측 모드가 해당 블록내의 에지의 방향을 대변(代辯)하기 때문이다.

제안하는 알고리즘은 그림 5에서 보논바와 같이 크게 두 가지 과정으로 구성되어져 있다. 첫 번째 과정은 전처리과정(Pre-processing)으로서 이는 손실된 매크로블록 주변의 예측모드(prediction mode)들 중 우세예측모드(DPM: dominant prediction mode)를 선정함으로써 매크로블록내의 에지 방향을 추정하는 과정과 선정된 우세예측모드를 이용하여 매크

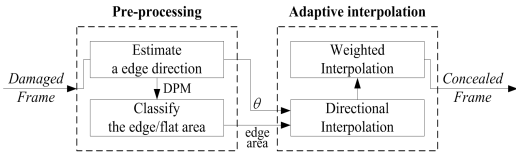


그림 5. 제안하는 알고리즘의 구성도
Fig. 5. Architecture of our proposed algorithm

로블록내의 영역을 에지가 존재하는 에지영역과 에지가 존재하지 않는 평탄영역으로 분류하는 과정으로 구성되어 있다. 두 번째 과정은 실제 보간(補間) 기법을 이용하여 손실된 매크로블록을 복원하는 과정으로서 손실된 매크로블록의 에지영역과 평탄영역을 각기 다른 보간 기법을 사용하여 복원한다.

3.1 전처리 과정

3.1.1 매크로블록내의 에지의 방향 추정

제안하는 알고리즘은 상하좌우에 위치한 16개의 4x4 블록에 대한 예측모드를 사용하여 손실된 매크로블록의 에지의 방향을 추정한다. 이때 주변 매크로블록들 중 하나 이상이 인트라16x16 또는 인트라8x8로 부호화 되었다면, 이는 동일한 인트라4x4 예측모드가 반복되어 나타나 있는 것으로 고려한다. 예를 들어, 하나의 매크로블록이 인트라16x16 모드로 부호화 되어있고 예측모드1이 사용되었다면, 매크로블록내에 존재하는 16개의 4x4블록들이 모두 예측모드1을 가진다고 고려한다. 이는 인트라16x16에서 예측모드0~예측모드3의 예측방향이 인트라4x4에서의 예측모드0~예측모드3과 동일한 예측방향을 가지기 때문이다.

손실된 매크로블록 주변에 위치하는 16개의 예측모드들은 손실된 매크로블록의 에지의 방향을 추정하는데 효율적으로 사용될 수 있는데 이는 2절에 기술한바와 같이 각각의 예측모드가 해당블록에서의 에지의 방향을 대변하기 때문이다. 하지만 이러한 예측모드는 에지의 방향을 대변할 뿐 에지의 크기에 대한 정보는 제공하지 않는다. 따라서 손실된 매크로블록의 에지의 방향을 정확히 예측하기 위해서는 주변 블록들의 예측모드뿐만 아니라 각 블록에서의 에지의 크기도 함께 고려되어야 한다.

주변의 16개 4x4 블록에서의 에지의 크기는 해당 블록이 부호화 과정에서 사용된 예측모드의 예측방향과 수직에 위치하는 4개의 화소값을 선정하고, 선택된 네 개의 화소값들 중 최대값과 최소값의 차이로 구하며, 그림 6 및 식 (2)는 이를 표현한다. 식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이 예측모드2의 경

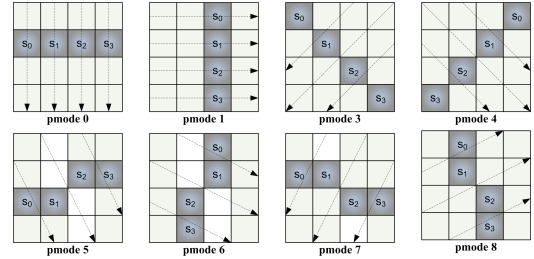


그림 6. 에지크기 값의 계산을 위해 사용되는 각 인트라 모드에서의 예측 방향에 수직에 위치하는 네 개의 화소값

Fig. 6. Four pixel values located at the perpendicular direction of the prediction direction in each pmode for calculating the edge magnitudes

우에는 에지가 없는 것으로 판단하여 에지의 크기를 0으로 한다.

$$\text{Magnitude of edge} = \quad (2)$$

$$\begin{cases} \max(s_i) - \min(s_i), & \text{pmode} \neq \text{pmode}_2 \\ 0, & \text{pmode} = \text{pmode}_2 \end{cases}$$

$$i = 0, 1, 2, 3$$

손실된 매크로블록주변에 위치한 16개의 4x4블록에 대한 에지의 크기가 구해지면, 이들 블록에서의 예측모드들 중 각 예측모드에서의 에지 크기의 합이 최대가 되는 예측모드를 우세예측모드로 선정하고 우세예측모드의 예측방향을 손실된 매크로블록내의 에지의 방향으로 선택한다.

따라서 제안하는 알고리즘은 예측모드2를 제외한 예측모드들의 예측방향과 동일한 에지의 방향을 고려할 수 있으며, 각 예측모드가 우세예측모드로 선택된 경우에 손실된 매크로블록의 에지방향은 표 1과 같다.

표 1. 예측모드와 에지 방향 (θ)

Table 1. Prediction modes vs. edge direction(θ)

| pmodes | pmode0 | pmode1 | pmode3 | pmode4 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| θ | 90° | 0° | 45° | 135° |
| pmodes | pmode5 | pmode6 | pmode7 | pmode8 |
| θ | 112.5° | 157.5° | 67.5° | 22.5° |

3.1.2 에지영역 및 평탄영역의 선정

제안하는 알고리즘에서 매크로블록의 영역은 크게 에지영역과 평탄영역으로 나누어지는데, 에지영역이란 매크로블록 내에 에지성분이 존재하는 영역을 말하며, 평탄영역이란 에지가 존재하지 않는 영역을 말한다. 에지영역은 손실된 매크로블록 주변에

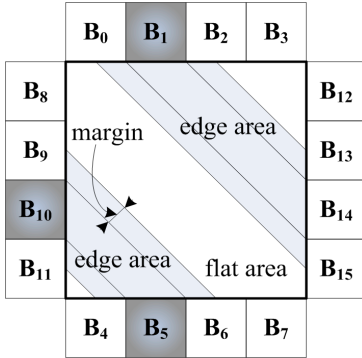


그림 7. 우세예측모드로서 예측모드4가 선택되고 B1, B5, B10이 예측모드4를 가지는 경우 에지영역 및 평탄영역의 선택의 예(例)
 Fig. 7. An example for classification of the edge/flat area when the DPM is pmode4 and B1, B5 and B10 blocks have a pmode4 identical with the DPM

위치한 16개의 4x4 블록들 중 우세예측모드로 선정된 예측모드를 가지는 블록을 선택하고, 선택된 블록에서 우세예측모드의 예측방향에 존재하는 영역으로 선택한다. 이때 여유치(margin)를 두어 에지영역의 폭을 넓히는데 이는 자연영상의 에지는 이상적인 에지와는 다르게 여러 화소에 걸쳐 값이 변화하기 때문이다. 에지영역을 선택한 이후 에지영역으로 선택되지 않은 영역은 평탄영역인 것으로 고려한다. 그림 7은 우세예측모드로서 예측모드4가 선택된 경우 에지영역 선택의 예를 보이고 있다. 만일 B1, B5, 그리고 B10의 블록이 우세예측모드와 같은 예측모드4를 가진다면, 여유치를 고려하여 이들 블록의 위치에서부터 예측모드4의 예측방향(135°)에 존재하는 영역을 에지영역으로 선택한다.

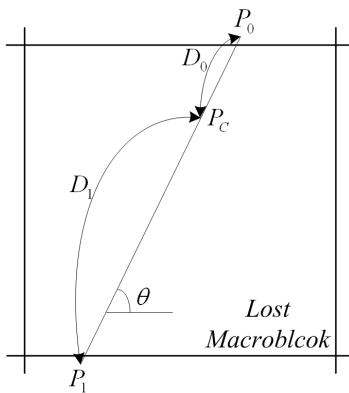


그림 8. 에지영역내의 화소값 복원을 위한 에지방향으로의 보간
 Fig. 8. Edge directional interpolation for interpolating pixel values in the edge area

3.2 적응적 보간

선처리과정을 통해서 손실된 매크로블록의 에지 방향의 예측과 에지영역 및 평탄영역의 구분이 끝나면 각 영역에서 서로 다른 보간 기법을 사용하여 손실된 매크로블록을 복원한다. 먼저 에지영역의 경우에는 예측된 에지의 방향을 이용한 방향성 보간 기법을 통해 화소값들을 복원하며, 그림 8은 이를 나타낸다.

그림 8에서 P_c 는 에지영역내의 화소값을 말하며 P_i 는 손실된 매크로블록의 외각화소값을 나타낸다. 이때 에지영역내의 화소값 P_c 는 이 점을 지나고 예측된 에지의 방향(θ)의 직선상에 존재하는 두 개의 외각화소값들의 일차선형보간(first-order linear interpolation)으로 계산되며 이는 식(3)과 같다.

$$P_c = \sum_{i=0}^1 (D_{1-i} \times P_i) / \sum_{i=0}^1 D_i \quad (3)$$

이때 식(3)을 계산함에 있어 우세예측모드가 예측모드5~예측모드8로 선택된 경우에는 P_i 중 하나는 반화소위치의 값을 가리키게 되는데, 이 경우 P_i 의 값은 P_i 에 인접한 두 개의 정수위치의 화소값들의 평균값으로 대체하여 사용한다.

그림 9는 Foreman 영상에 대해서 에지영역으로 판단된 영역만을 예측된 에지의 방향을 통해서 복원한 중간결과영상을 나타낸다. 그림 9의 중간결과에서 볼 수 있듯이 에지가 존재하는 대부분의 영역은 에지영역으로 판단되어 방향성을 이용한 보간기법으로 복원된 것을 볼 수 있으며, 복원되지 않은 영역은 평탄영역으로 판단된 영역을 나타낸다.



그림 9. Foreman 시퀀스에서 에지영역만을 방향성을 이용한 보간기법을 통해서 복원한 중간결과 영상
 Fig. 9. The intermediate result image of the Foreman sequence when only the pixel values in the edge area are restored using the edge-directed interpolation method

에지영역의 복원이 끝난 후 평탄영역은 현재 H.264에서 사용하는 가로 및 세로 방향에 위치하는 네 개의 이미 알고 있는 화소값들의 가중평균을 이용하여 복원하는데, 이 과정에서 손실된 매크로블록의 주변 화소값들 뿐만 아니라 이미 복원된 에지영역의 화소값도 복원에 사용된다.

3.3 제안하는 알고리즘의 복잡도

제안하는 알고리즘의 연산량은 전처리과정의 연산량과 적응적 보간과정의 연산량으로 나누어 생각할 수 있다.

전처리과정은 다시 손실된 매크로블록의 에지 방향 예측과 에지영역 및 평탄영역을 구분으로 나누어지는데, 에지 방향의 예측을 위한 연산량은 주변 예측모드에 따라 다르게 나타난다. 이는 예측모드2의 경우에는 에지크기를 구하기 위한 어떠한 연산도 수행되지 않기 때문이다. 에지 방향의 예측 과정에서 가장 연산량이 많은 경우 즉, 주변에 어떠한 블록도 예측모드2를 가지지 않은 경우의 연산량은 16개의 4x4 블록에서의 에지크기를 구하기 위해 하나의 블록 마다 최대 및 최소 화소값을 구하기 위한 6번의 비교와 1번의 뺄셈이 필요하다. 에지크기의 산정 후 우세예측모드를 결정과정에서 에지크기의 합을 구하기 위해 16번의 덧셈과정이 필요하다. 이후 에지의 합이 최대가 되는 예측모드 즉 우세예측모드를 결정하기 위해 8번의 비교가 필요하다. 우세예측모드의 결정은 곧 매크로블록의 에지방향이 결정되었음을 의미한다. 에지영역과 평탄영역의 구분을 위해서는 주변의 16개 블록들 중 우세예측모드와 같은 예측모드를 선택하여야 하며 이 과정에서 16번의 비교가 필요하다. 따라서 하나의 손실된 매크로블록에 대한 전처리과정에서의 연산량은 최대 16회의 덧셈, 16회의 뺄셈 그리고 120회의 비교가 필요하다.

적응적 보간과정의 연산량은 각 영역의 크기에 따라 다르게 나타나는데 이는 각 영역에서 서로 다른 보간기법이 사용되기 때문이다. 먼저 가로 및 세로방향에 위치하는 네 개 화소의 가중평균을 이용하여 보간을 수행하는 평탄영역은 하나의 화소를 복원하기 위해 식(1)에서 보는 바와 같이 6번의 덧셈과 4번의 곱셈 그리고 한 번의 나눗셈이 필요하다. 따라서 256개의 화소를 포함하는 하나의 매크로블록을 복원하기 위해서는 1536(6x256)번의 덧셈과 1024(4x256)번의 곱셈 그리고 256(1x256)번의 나눗셈 연산이 필요하다. 에지영역에서의 연산량을

살펴보면 식 (2)에서 보는 바와 같이 손실된 매크로블록내의 하나의 화소에 대해서 2번의 덧셈과 2번의 곱셈 그리고 1번의 나눗셈 연산이 필요하다. 따라서 256개의 화소를 포함하는 하나의 매크로블록을 복원하기 위해서는 512(2x256)번의 덧셈과 512(2x256)번의 곱셈 그리고 256(1x256)번의 나눗셈 연산이 필요하다. 이때 우세예측모드가 예측모드5~예측모드8로 선택된 경우 즉, 22.5°, 67.5°, 112.5°, 157.5°의 에지 방향을 갖는 경우에는 보간에 사용되는 외각 화소 중 하나는 반화소 위치의 값을 나타내기 때문에 하나의 화소당 인접한 두 개의 정수 화소위치에서의 화소값들의 평균을 구하기 위한 1번의 덧셈과 1번의 쉬프트(Shift)연산이 추가적으로 필요하다.

앞서 기술한바와 같이 제안하는 알고리즘의 연산량은 주변 블록들의 예측모드, 선택된 우세예측모드 그리고 각 영역의 크기에 따라 서로 다른 연산량을 가진다. 표 2는 주변의 어떠한 블록도 예측모드2를 가지지 않으며, 에지영역과 평탄영역이 각각 50%를 차지하는 경우 제안하는 알고리즘의 연산량을 현재 H.264 참조소프트웨어에서의 방법과 고속 DCT에 기반한 Alkachouh의 방법에서의 연산량을 비교하여 나타내었다. 표 2의 제안하는 알고리즘 연산량에서 큰 값은 우세예측모드로서 예측모드5~예측모드8 중의 값이 선택된 경우이며, 작은 값의 경우에는 예측모드5~예측모드8이외의 예측모드가 우세예측모드로 선택된 경우를 나타낸다. 표 2에 나타난 Alkachouh 방법의 연산량은 인터플레이션 마스크([7]에서의 식 (20))를 미리 계산하여 저장해 놓은 경우의 연산량을 나타낸다.

참조소프트웨어의 가중평균을 이용한 보간기법은 제안하는 알고리즘의 평탄영역에서 사용되는 방법과 동일하지만 보다 적은 연산량을 가지는데 이는 참조소프트웨어의 경우에는 제안하는 알고리즘의 관점에서 보면 모든 영역을 평탄영역으로 고려하기 때문에 식(1)의 분모항은 항상 36의 값으로 고정되어 있어 분모항의 세 번의 덧셈연산은 필요하지 않기 때문이다.

표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 손실된 매크로블록의 에지 방향을 예측하기 위해 이미 알고 있는 주변의 예측모드를 사용함으로써 적은 연산량만으로 매크로블록의 에지의 방향 예측과 에지영역 및 평탄영역을 분류하며, 에지 영역이 50%를 갖는 경우 Alkachouh의 방법은 물론 참조소프트웨어보다도 적은 곱셈 연산량을 가지는

표 2. 예측모드2를 갖는 주변 블록이 존재하지 않고 에지영역이 전체의 50%를 차지하는 경우 하나의 손실된 매크로블록에 대한 연산량의 비교

Table 2. The number of operations for restoring 256 pixel values a lost macroblock in case that no neighboring block is encoded using pmode2 and the half of a lost macroblock is the edge area

| Operations | Reference Software | Alkach-ouh's method | Proposed method | |
|----------------|--------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| | | | Pre-processing | Interpolation |
| Addition | 768 | 17,408 | 16 | 1.024 or 1,152 |
| Subtraction | - | - | - | - |
| Multiplication | 1,024 | 17,408 | 16 | 768 |
| Division | 256 | - | 120 | 256 |
| Comparison | - | 512 | - | - |
| Shift | - | - | - | 0 or 128 |

표 3. 서로 상이한 비트율에서 참조소프트웨어에서의 방법, Alkachouh의 방법 그리고 제안하는 알고리즘의 객관적 화질의 비교

Table 3. Comparison of objective qualities at the different bitrates when using the reference software, Alkachouh's method and the proposed method

| Test Sequences | QP | JM10.1 (①) | Alkachouh (②) | Proposed (③) | ③-① | ③-② |
|----------------|----|------------|---------------|---------------|-------|-------|
| Akiyo | 20 | 35.262 | 34.511 | 36.297 | 1.035 | 1.786 |
| | 25 | 34.912 | 34.217 | 36.025 | 1.113 | 1.808 |
| | 30 | 34.186 | 33.630 | 35.298 | 1.112 | 1.668 |
| Coastguard | 20 | 31.481 | 31.813 | 33.286 | 1.805 | 1.473 |
| | 25 | 30.984 | 31.294 | 32.597 | 1.613 | 1.303 |
| | 30 | 29.935 | 30.309 | 31.182 | 1.247 | 0.873 |
| Container | 20 | 32.884 | 33.394 | 34.059 | 1.175 | 0.665 |
| | 25 | 32.398 | 32.898 | 33.347 | 0.949 | 0.449 |
| | 30 | 31.440 | 31.826 | 32.175 | 0.735 | 0.349 |
| Foreman | 20 | 31.702 | 30.922 | 36.398 | 4.696 | 5.476 |
| | 25 | 31.375 | 30.658 | 35.430 | 4.055 | 4.772 |
| | 30 | 30.759 | 30.203 | 33.998 | 3.239 | 3.795 |
| Highway | 20 | 35.416 | 33.749 | 35.935 | 0.519 | 2.186 |
| | 25 | 34.983 | 33.467 | 35.446 | 0.463 | 1.979 |
| | 30 | 34.311 | 33.047 | 34.700 | 0.389 | 1.653 |
| Silent | 20 | 32.292 | 31.594 | 33.737 | 1.445 | 2.143 |
| | 25 | 31.806 | 31.212 | 33.278 | 1.472 | 2.066 |
| | 30 | 30.894 | 30.507 | 31.920 | 1.026 | 1.413 |

데, 영상내의 다양한 에지의 방향을 고려해 볼 때 제안하는 알고리즘은 보다 적은 연산량을 가질 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

제안하는 알고리즘의 평가를 위해서 다양한 방향의 에지성분을 포함한 CIF(352x288) 크기의 Akiyo, Coastguard, Container, Foreman, Highway, Silent 시퀀스를 테스트 시퀀스로 사용하였으며, 각 시퀀스는 H.264 참조소프트웨어(JM10.1^[9])를 사용하여 최

초 30프레임을 모두 I 프레임으로 부호화하였고, 부호화과정에는 H.264 Baseline 프로파일을 사용하였다.

표 3은 10%의 매크로블록 손실률(損失率)이 발생한 경우 각 시퀀스에서의 객관적 화질을 나타내며, 비교를 위하여 현재 H.264 참조소프트웨어에서 사용되고 있는 방법과 고속 DCT에 기반한 Alkachouh 방법^[7]의 결과를 제안하는 알고리즘의 결과와 함께 나타하였다. 이때 제안하는 알고리즘에 사용된 에지 영역의 여유치(margin)는 2의 값을 사용하였다.

표 3에서 볼 수 있는바와 같이 제안하는 방법은 다른 두 가지 방법과 비교하여 높은 객관적 화질을

나타낸다. 특히 Foreman 영상과 같이 대각선 에지 성분이 많은 경우에는 제안하는 방법은 다른 두 방법과 비교하여 약 3.2~5.5dB까지 객관적 화질을 향상시킨다.

그림 10은 Foreman 시퀀스의 첫 번째 프레임에 대해서 20%의 매크로블록 손실을 발생한 경우 제안하는 알고리즘을 포함하여 세 가지 방법을 사용하였을 때의 주관적 화질을 나타낸다. 결과에서 볼 수 있듯이 제안하는 방법을 사용하여 복원한 영상이 다른 두 가지 방법을 사용한 경우와 비교하여 주관적 화질이 우수함을 알 수 있다.

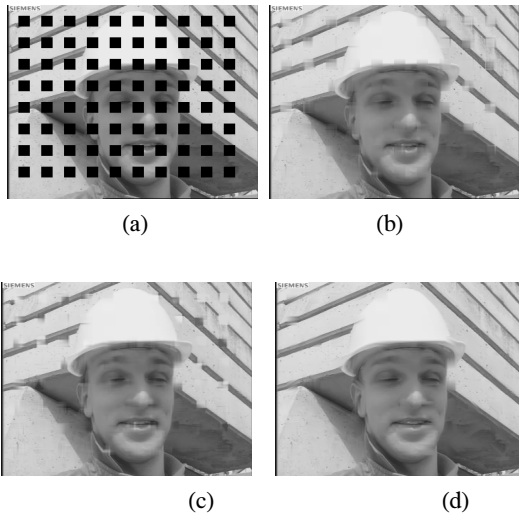


그림 10. 양자화계수의 값이 20의 경우, Foreman 시퀀스의 첫 번째 프레임 (a) 20%의 매크로블록 손실율이 발생한 영상 (PSNR=11.26dB) (b) 참조소프트웨어의 방법^[9]을 사용하여 복원한 영상 (PSNR=29.82dB) (c) Alkachouh의 방법^[7]을 사용하여 복원한 영상 (PSNR=28.27dB) (d) 제안한 방법을 사용하여 복원한 영상 (PSNR=34.85dB)

Fig. 10. Comparison of subjective video qualities of the first frame of a foreman sequence (a) a damaged frame (PSNR=11.26 dB) (b) a recovered frame by the reference software of H.264 (JM10.1^[9]) (PSNR=29.82 dB) (c) a recovered frame by the Alkachouh's method^[7] (PSNR=28.27 dB) (d) a recovered frame by the proposed method (PSNR=34.85 dB)

V. 결론

H.264 비디오 부호화 표준은 이전의 여러 부호화 표준들에는 없던 공간영역에서의 예측을 통하여 인트라 프레임을 부호화 한다. 인트라 프레임의 부호화에 사용되는 각각의 예측모드는 에지의 방향과 밀접한 관계가 있기 때문에, 인트라 프레임내의 매크로블록이 손실된 경우 이를 복원하는데 효율적으로 사용될 수 있다.

제안하는 알고리즘은 전처리과정으로서 손실된 매크로블록의 주변에 위치한 예측모드를 이용하여 손실된 매크로블록의 에지방향을 예측하고 매크로블록내의 영역을 에지가 존재하는 에지영역과 에지가 존재하지 않는 평탄영역으로 구분한다. 이후 각 영역에 따라 서로 다른 보간기법을 사용하여 화소값을 복원하는데 에지영역의 경우에는 방향성 보간기법을 사용하며, 평탄영역의 경우에는 H.264 참조소프트웨어에서 사용하는 것과 같은 가중평균을 이용한 보간기법을 사용한다. 또한 제안하는 알고리즘은 H.264 부호화 표준의 특성을 최대한 활용하여 손실된 매크로블록의 에지의 방향 및 영역의 구분을 수행함으로써 낮은 복잡도를 가진다.

실험 결과 제안하는 알고리즘은 기존의 인트라프레임에서의 에러넉 기법들과 비교하여시퀀스 및 양자화 파라미터에 따라 0.35~5.38 dB의 객관적 화질을 향상시키며, 주관적 화질 또한 우수한 것으로 나타난다.

참고 문헌

- [1] T. Wiegand, "Version 3 of H.264/AVC," *Doc. JVT-K051*, June 2004.
- [2] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 560-576, July 2003.
- [3] Young H. Jung, Yong-goo Kim, and Yoonsik Choe, "Robust error concealment algorithm using iterative weighted boundary matching criterion," *Proc. ICIP*, pp.384-387, 2000.
- [4] Y. Wang, Q.F. Zhu, and L. Shaw, "Maximally smooth image recovery in transform coding," *IEEE Trans. Communication*, vol. 41, pp. 1544-1551, 1993.
- [5] X. Lee, Y.Q. 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. 259-273, 1995.
- [6] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections into convex sets," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 470-477, 1995.

