

누설요소와 인간 시각 시스템을 이용한 HDTV 영상 압축 알고리즘

正會員 金 龍 夏* 正會員 崔 振 秀** 正會員 李 光 春* 正會員 河 永 浩**

HDTV Image Compression Algorithm Using Leak Factor and Human Visual System

Yong Ha Kim*, Jin Soo Choi**, Kwang Chun Lee*, Yeong Ho Ha** *Regular Members*

要 約

DSC-HDTV 시스템은 영상에 존재하는 공간, 시간, 진폭의 중복성을 제거하기 위하여 변환 부호화, 움직임 보상 예측 부호화, 적응 양자화를 이용한다. 본 논문에서는 장면 변화와 전송 잡음으로부터 신속히 화질을 복원하는데 이용하는 누설요소의 적용 방법과 인간 시각 시스템을 이용한 인식하중치를 구하여 적응 양자화하는 방법을 제안한다. 인식하중치는 대비 민감도, 시공간 매스킹과 주파수 민감도에 따라 구한다. 적응 양자화는 인식하중치와 버퍼이력상태로부터 얻은 전체 왜곡 레벨을 이용하고 그에 따른 잉여 비트량은 다음 프레임의 화질 개선에 이용된다. 장면이 변할 경우 복원된 영상은 큰 양자화 오차를 포함하기 때문에 움직임 보상 예측 부호화에서 구한 변위프레임 차신호가 큰 값이 되어 비트량이 증가하고 버퍼의 상태가 불안정하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 누설요소를 장면이 변할 경우 0으로 하고 그이후의 프레임에서는 15/16으로 고정하여 전체왜곡레벨을 표준편차를 이용하여 조절한다. 실험결과 제안된 방법의 영상의 화질은 수 프레임내에 복원되고 버퍼상태도 신속히 안정화된다.

ABSTRACT

DSC-HDTV image compression algorithm removes spatial, temporal, and amplitude redundancies of an image by using transform coding, motion-compensated predictive coding, and adaptive quantization, respectively. In this paper, leak processing method which is used to recover image quality quickly from scene change and transmission error and adaptive quantization using perceptual weighting factor obtained by HVS are proposed. Perceptual weighting factor is calculated by contrast sensitivity, spatio-temporal masking and frequency sensitivity. Adaptive quantization uses the perceptual weighting factor and global distortion level from buffer history state. Redundant bits according to adaptation of HVS are used for the next image coding. In the case of scene

* (株)金星社 TV 研究所
TV Research Laboratory, Goldstar Corporation Limited
** 慶北大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Kyungpook National University

論文番號 : 93219
接受日字 : 1993年 11月 11日

change, DFD using motion compensated predictive coding has high value, large bit rate and unstabilized buffer status since reconstructed image has large quantization noise. Thus, leak factor is set to 0 for scene change frame and leak factor to 15/16 for next frame, and global distortion level is calculated by using standard deviation. Experimental results show that image quality of the proposed method is recovered after several frames and then buffer status is stabilized.

I. 서 론

표준 TV방식에 비하여 2배 이상의 해상도를 가지는 HDTV영상을 압축하지 않고 전송할 경우 1Gbps의 대역폭을 가진다. 그러므로 정해진 대역폭으로 압축하기 위한 효과적인 부호화 기법이 요구되어 진다. 대역 압축 방식에는 아날로그 방식인 MUSE과 MAC 방식이 있으며 디지털 방식은 Digicipher와 DSC(Digital Spectrum Compatible) 방식등이 있다. 본 논문에서 완전 디지털 방식인 DSC-HDTV에 대하여 연구하였다. DSC-HDTV시스템은 기존의 NTSC taboo 채널을 이용하는 전송 방식을 채택함으로써 양호한 화질과 전송잡음의 제거 및 다른 방송 시스템이나 컴퓨터 등과의 공동작업이 가능하도록 개발된 시스템이다^[1].

DSC-HDTV에서 사용하는 영상 압축 방법은 영상에 존재하는 시간, 공간 및 진폭의 중복성을 제거함으로써 효과적인 영상압축을 하고자 한다. 인접 영상들간에 존재하는 시간적인 중복성(temporal redundancy)을 제거하기 위한 방법으로 움직임 보상 예측 부호화(motion-compensated predictive coding)를 이용하고, 장면 변화나 채널을 변경할 경우 신속히 영상을 복원하고 전송 잡음을 제거하기 위하여 누설요소(leak factor)를 적용하여 변위 프레임 차 신호(displaced frame difference; DFD)를 구한다. 공간적인 중복성(spatial redundancy)을 제거하기 위해 DFD를 2차원 DCT(discrete cosine transform)를 행하고, 각각의 DCT계수를 양자화 할때 인간 시각 시스템(human visual system; HVS)을 이용하여 적응양자화함으로써 진폭의 중복성을 제거한다. DFD를 양자화 하기 위해 인간 시각 시스템에 의한 인식 하중치와 버퍼의 이력(history) 상태에 의해 추정된 전체 왜곡 레벨(global distortion level)을 이용하여 목표 왜곡 레벨(target distortion level)을 구한다. 이때 적응 양자화는 명도 신호는 16H×16V의 대구획 블럭(superblock) 단위로 색도 신호에 대하여 16H×24V의 대구획 블럭 단위로 8×8의 주파수 영

역에서 양자화 오차가 목표 왜곡 레벨과 일치하는 양자화기를 선택하여 양자화한다.

본 논문에서는 장면 변화시 신속히 화질을 복원하고 전송 잡음을 제거하기 위하여 누설요소의 적용방법과 양자화 에러를 인간 시각에 균일하게 분포시키기 위한 인식 하중치를 구하는 방법을 제안하였다. 인식하중치는 인간의 시각이 고주파 영역보다 저주파 영역에 민감하다는 특성을 이용한 주파수 민감도, 웨버의 법칙을 시각시스템에 이용한 대비민감도, 명암이 심하게 변하는 부분이 인간의 시각에 덜 민감하다는 특성을 이용한 시공간 매스킹 효과를 이용하여 인간 시각 시스템을 모델링하였다. 적응 양자화시 사용된 양자화기는 Laplacian 35, 17 및 9레벨 비선형 양자화기와 부호화 효율을 높이기 위해 0레벨 양자화기 4가지를 사용하였으며, 장면 변화후 프레임간 부호화(interframe coding)시 복원된 영상이 큰 양자화 오차를 가지기 때문에 연속되는 프레임에 버퍼의 상태를 안정화하기 위해 전체 왜곡 레벨을 조절하였다.

장면 변화를 결정하기 위한 문턱값을 결정하고, 누설요소의 적용방법에 따른 장면 변화시 영상의 복원 정도와 버퍼의 상태를 누설요소의 증가 방법을 변화시키면서 개선 정도와 버퍼 상태를 비교하였다. 장면 변화시 제안된 누설요소를 이용하고 전체 왜곡 레벨을 조절하여 신속히 버퍼를 안정시키고 화질을 복원하였다. 장면 변화후 3프레임이 지난후 화질을 비교하였을때 원영상과 거의 차이가 없었다.

II. 영상 압축 방법의 개요

DSC-HDTV 시스템은 순차 주사(progressive scan) 방식으로 1280H×720V 영상을 17Mbps 대역내에서 60프레임을 전송하게 된다. 17Mbps 대역내에서 영상정보를 압축하기 위하여 DSC-HDTV 시스템의 부호화기는 forward estimation부, perceptual coder, 부호화기 루프(encoder loop), 채널 버퍼(channel buffer) 및 포맷터(formatter)로 구성된다. 다음 그림은 부호화기의 개략도를 나타낸다.

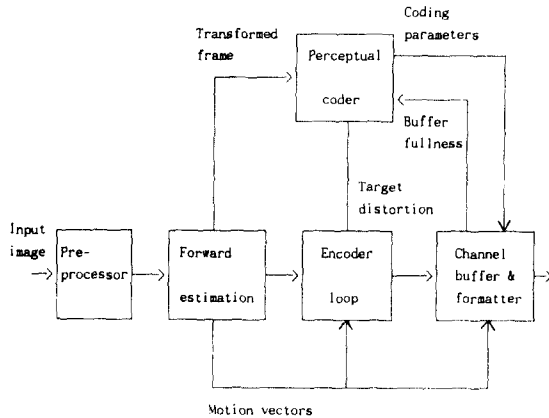


그림 1. 부호화기의 개략도
Fig. 1. Block diagram of DSC-HDTV system.

Forward estimation 부에서는 움직임 벡터값, 누설요소(leak factor), scale factor, 영상의 평균값을 계산하여 부호화기 루프로 전송하고, 또한 원영상의 DCT 변환 계수 프레임과 표준 편차값을 계산하여 perceptual coder로 전송한다. 이처럼 forward estimation 부에서는 먼저 여러가지 제어변수와 움직임 벡터값을 계산함으로써 부호화기 루프와 perceptual coder에서 필요한 것을 미리 계산하여 실시간 처리를 가능하게 해준다. 부호화기 루프에서는 움직임 보상기(motion compensator), DCT/IDCT 회로, 양자화기 벡터 선택기(quantizer and vector selector)를 포함한다. 움직임 보상기에서 현재의 입력영상을 이전의 복원된 영상으로 움직임을 보상하여 변위 영상(displaced frame)을 구하고, 변위 영상에 누설요소를 곱하여 현재의 입력영상과 차를 DCT 변환하여 양자화 선택기의 벡터로 양자화한다. Perceptual coder에서는 버퍼의 이력 상태에 의해 구해진 전체 왜곡 레벨과 인간 시각에 균일하게 양자화 에러를 분포시키기 위해 인식 하중치를 구하여 복표 왜곡 레벨을 결정하여 적응 양자화한다.

본 논문에서는 부호화기 루프에서 제안된 누설요소를 적용하여 DFD를 구하고 인간 시각 시스템에 의한 인식 하중치를 결정하여 양자화기를 선택한다. 또한 장면 변화시 누설요소의 변화에 따른 전체 왜곡 레벨을 조절하여 신속히 화질을 복원하도록 한다.

III. 누설요소의 결정

움직임 보상 예측 부호화는 인접 영상들 간에 존재하는 시간적인 중복성을 제거하기 위한 시간축간의 DPCM 기법으로 DFD를 구하여 양자화 함으로써 부호화기의 효율을 높인다. 그러나 송신부에서 움직임이 심한 영상이나 장면이 변화할 경우 움직임추정에 의하여 이전프레임을 정확히 추정할 수 없고, 원영상과 움직임을 보상하여 구한 DFD가 큰 양자화 에러를 포함하여 부호화 효율이 저하된다. 또한 수신부에서 채널 변경시 이전의 버퍼에 저장된 영상을 새로운 움직임 벡터에 의하여 움직임을 보상할 경우 원영상을 복원할 수 없고 연속되는 프레임의 화질에 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 영상의 장면변화, 채널의 변경, 전송잡음의 영향을 배제하기 위하여 누설요소를 움직임이 보상된 프레임에 곱하여 예측한 후 현재 프레임과 차를 구함으로써 DFD를 구한다. 이때 누설요소의 값이 0일 경우에는 프레임내 부호화형태가 되고 1일 경우에는 프레임간 부호화형태가 된다. 그리고 0과 1사이 값에서는 DFD 값이 원영상값의 일부를 포함하는 형태가 되어 영상의 장면변화, 채널의 변경, 그리고 전송잡음의 영향을 줄일 수 있어 화질의 신속한 복원을 가능케한다.

원영상의 누설 정도를 결정하기 위해 다음식과 같이 입력영상과 움직임이 보상된 영상에 누설요소(α)를 곱하여 차를 구한 값 즉 DFD를 가장 최소로 하는 값을 구한다.

$$\frac{\partial E\{(I - \alpha DF)^2\}}{\partial \alpha} = 0 \quad (1)$$

여기서 I는 입력 영상을 나타내고 DF는 움직임 보상된 변위 프레임을 나타낸다. 그리고 $E[x]$ 는 x의 기대치를 나타낸다. 식(1)을 통해 최종적으로 구한 α 의 해는 다음 식의 DFD의 평균제곱오차를 최소화하면 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{E\{I \cdot DF\}}{E\{DF^2\}} \quad (2)$$

누설요소는 식(2)에 의하여 원영상과 변위 프레임을 입력하여 곱과 평균을 계산하는 과정만으로 α 값을 간단히 구할 수 있다. 그러나 곱과 평균으로 α 값을 바로 구하는 계산량은 움직임 벡터를 선택하는데 필요

한 계산량보다는 작지만 상대적으로 여전히 많음을 알 수 있다. 따라서 α 값을 보다 효율적으로 구하는 방법을 고려하는 것이 바람직하다.

누설요소값을 구하는 방법으로 본 논문에서는 장면 변화가 발생하였을 경우에 누설요소값을 0으로 하여 원영상의 값을 전부 누설시켜 프레임내 부호화 형태를 가지게 하고 그 이후 연속되는 프레임에 대해서는 0에서부터 0.1 또는 0.2 만큼씩 일정하게 증가시키는 방법과 15/16로 고정시키는 방법을 제안하였다. 여기서 각 값들은 실험에 의해 결정된 값이다. 첫번째 방법은 장면 변화가 발생한 후 영상의 화질 회복 정도에 비해 비트 발생량이 많아 버퍼의 넘침(overflow)현상이 발생할 가능성이 있어 누설요소를 0의 상태이후 프레임에는 15/16로 결정하는 것이 바람직하다.

그리고 누설요소가 0이 되는 경우에는 장면 변화가 발생하였다는 사실을 감지하여야 한다. 장면 변화를 결정하기 위하여 표준편차를 응용하며 다음식과 같이 구한다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K_2} \sum_{\text{all pixels}} X^2(i, j)} \quad (3)$$

여기서 K_2 는 프레임내의 전체 화소의 수이고, $X(i, j)$ 는 프레임내에서 i 행, j 열 위치의 DCT 변환된 주파수 계수값을 나타낸다. 장면 변화의 결정 기준은 원영상에서 평균값을 제거한 신호를 DCT 변환하여 구한 표준편차와 변위 프레임 차신호를 DCT 변환하여 구한 표준편차의 절대차가 심하지 않은 경우에 장면 변화가 발생하였다고 판단한다. 이는 장면 변화가 발생하였을 때 움직임 추정에 의한 예측값이 부정확하게 되므로 표준 편차가 커지기 때문이며 장면 변화 결정은 다음식을 이용한다. 즉 두 표준편차의 차가 실험에 의하여 결정한 문턱값보다 작을 경우에 장면 변화가 발생하였음을 나타낸다.

$$|\sigma_l - \sigma_{DFD}| < th \quad (4)$$

여기서 σ_l 는 입력영상의 표준편차, σ_{DFD} 는 DFD의 표준편차, th 는 문턱값을 나타낸다.

IV. HVS를 이용한 하중치의 생성

DFD를 DCT하여 양자화할때 복원된 영상의 최종 관찰자가 인간이라는 점을 감안하여 양자화 오차를 인간시각이 민감하지 않은 부분에 분포시켜 화질의 열화를 줄인다. 이를 위하여 인간 시각을 모델링하여 양자화 레벨을 결정할 인식 하중치를 구하고자 한다. 인식 하중치는 영상에 의존적인 대비 민감도(contrast sensitivity), 시공간 마스크효과(spatio-temporal masking)를 이용하고 영상에 독립적인 요소인 주파수 민감도(frequency sensitivity)로 왜곡 특성을 모델화하고 인식하중치를 추정한다^[2].

1. 주파수 민감도

인간의 시각 시스템은 고주파 영역에서 보다 저주파 영역에 더 민감하다. 그러므로 고주파 영역에 더 많은 왜곡을 주어 영상 압축에 이용할 수 있다. 본 논문에서는 인간 시각의 주파수 특성을 나타내는 변조 전달 함수(Modulation Transfer Function: MTF)를 이용한다. 주파수 민감도에 따른 인식 하중치를 추정하기 위해 MTF를 DCT영역에 적용한 Nill이 제안한 다음과 같은 수식을 이용하였다^[3].

$$MTF(\omega_{ij}) = (0.2 + 0.45\omega_{ij}) \exp(-0.18\omega_{ij}) \quad (5)$$

여기서 ω_{ij} 는 공간 주파수이고 약 5 cycle/degree에서 최고치를 가지게 된다. 공간 주파수를 DCT영역에 적용하기 위해 HDTV영상을 화면 높이의 3배 거리에서 시청한다고 가정하고 화면비는 16:9로 하였을 때 다음식과 같이 구한다^[4].

$$\omega_{ij} = \sqrt{\left(\frac{48i}{N-1}\right)^2 + \left(\frac{27j}{N-1}\right)^2} \quad (6)$$

여기서 $i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 이며, N 은 블록 크기로서 8을 사용하였다. 그리고 인간 시각의 민감도가 낮은 부분에 하중치를 증가시켜 양자화 단계를 줄이기 위하여 다음식과 같이 MTF 값의 역수 취하고, 적절한 값의 범위를 가지도록 조절한다. 한편 인간 시각이 저주파수 감박거림에 민감하기 때문에 DC부분의 하중치의 값을 낮춘다.

$$FS(\omega_{ij}) = \begin{cases} \left(\frac{0.5}{MTF(\omega_{ij}) + 0.3} \right) - 0.65, & i, j = 0 \\ \left(\frac{0.5}{MTF(\omega_{ij}) + 0.3} \right), & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $FS(\omega_{ij})$ 는 주파수 하중치를 나타낸다. 다음 그림은 8×8 의 주파수 영역에서 구한 하중치 값을 나타낸다.

0.350	0.395	0.411	0.514	0.672	0.868	1.076	1.264
0.398	0.414	0.473	0.584	0.743	0.932	1.127	1.300
0.595	0.618	0.686	0.797	0.942	1.103	1.259	1.391
0.938	0.957	1.014	1.100	1.204	1.314	1.414	1.495
1.282	1.293	1.326	1.374	1.429	1.486	1.536	1.576
1.503	1.508	1.521	1.541	1.564	1.587	1.608	1.625
1.606	1.607	1.612	1.619	1.627	1.635	1.643	1.649
1.646	1.646	1.647	1.650	1.652	1.655	1.658	1.660

그림 2. DCT영역의 주파수 민감도 하중치
Fig. 2. Frequency sensitivity weighting for DCT domain.

2. 대비 민감도

배경과 주위의 밝기가 같을때 그 관측가능 대비비(noticeable contrast ratio) $\Delta L/L$ 은 대략 2%(Weber fraction)정도가 된다^[5]. 균일한 자극에 대하여 인간시각이 감지하는 민감도는 평균 밝기를 어두운 부분, 중간밝기 부분, 밝은 부분으로 나누었을때 중간 밝기 부분, 밝은 부분, 어두운 부분 순으로 민감하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 특성을 고려하는 인식하중치를 구하기 위해 웨버의 법칙에서 유도된 인간이 느끼는 밝기가 로그함수로 변한다는 사실을 이용하였다^[6]. 이를 위해서 우선 인간이 느끼는 밝기 민감도를 다음식과 같이 구한다.

$$B(I) = \frac{1}{500(\log I - \log(I-1))} + 0.98, \quad I = 2, \dots, 255 \quad (8)$$

여기서 I 는 8×8 블록에서 평균 밝기를 나타내고 $B(I)$ 는 밝기 민감도를 나타낸다. 대비 민감도 하중치를 구하기 위하여 어두운 부분에 인간의 시각이 느끼는 민감도가 떨어지므로 다음식과 같이 평균밝기가

명암도(gray level) 100이하의 영역에서는 인식 하중치를 점차로 증가시킨다.

$$BW(I) = \begin{cases} B(I), & 100 \leq I < 256 \\ B(I) + 0.04(100 - I), & I < 100 \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $BW(I)$ 는 대비 민감도 하중치를 나타낸다. 그림 3은 대비 민감도 하중치를 명암도 영역에서 나타내었다.

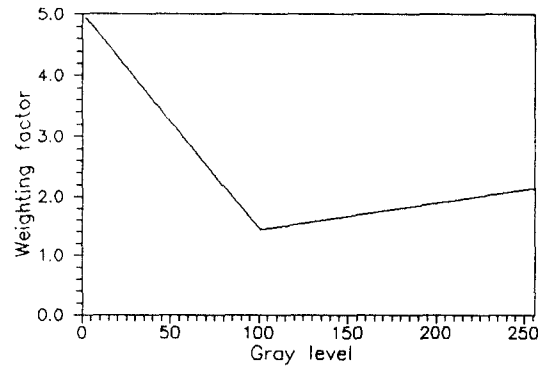


그림 3. 대비 민감도 하중치
Fig. 3. Contrast sensitivity weighting.

3. 시공간 매스킹 효과

Netravali와 Prasada는 공간적인 영상의 밝기 변화(spatial luminance change)가 왜곡 인식을 방해하는 공간 매스킹 현상(spatial masking effect)을 정량적으로 측정할 가시도 함수(visibility function)를 이용한 양자화기의 설계법을 제시하였다^[7]. 본 논문에서는 공간매스킹 현상과 인간의 두 프레임간의 영상 값에 급격한 변화가 있을때 인간 시각이 현재 프레임내의 고주파수 상세함에는 민감도가 떨어진다는 시간적인 매스킹 효과를 이용한다. 시공간 매스킹 효과는 경계에 나란한 왜곡에 민감하고 경계를 가로지르는 왜곡에 둔감하다는 성질을 이용하여 각 주파수 영역을 수평, 수직 및 대각선 방향의 질감요소를 계산한다. 수평, 수직 및 대각선 성분의 추정치를 MTF를 사용하여 다음식과 같이 구한다.

$$R_H = \sum MTF(0, j) \cdot \overline{I_T^2}(0, j) \quad (10)$$

$$R_V = \sum MTF(i, 0) \cdot \overline{I_T^2(i, 0)} \quad (11)$$

$$R_D = \sum MTF(i, j) \cdot \overline{I_T^2(i, j)} \quad (12)$$

$$i, j = 1, \dots, 7$$

여기서 R_H , R_V 및 R_D 는 수평, 수직 및 대각선 성분의 추정치를 나타내고, $\overline{I_T^2(i, j)}$ 는 각 주파수의 에너지를 나타낸다. 식(10)-(12)에서 의한 각 성분의 추정치들로부터 수평, 수직 및 대각선 질감요소를 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$T_H = R_H + 0.5 \times R_D \quad (13)$$

$$T_D = 0.25 \times R_H + R_D + 0.25 \times R_V \quad (14)$$

$$T_V = 0.5 \times R_D + R_V \quad (15)$$

여기서 T_H , T_D 및 T_V 는 수평, 수직 및 대각선 질감요소를 나타낸다. 공간 질감요소는 원영상에서 평균을 제거한 영상의 DCT변환 계수를 사용하고, 시간 질감요소는 인접한 두 프레임간의 평균을 제거한 입력영상의 DCT변환 계수의 차를 사용한다. 시공간 하중치를 구하기 위해 다음식과 같이 각각의 시간과 공간 질감요소를 동일하게 고려한다.

$$T_{COM} = 0.5(\text{Spatial Texture}) + 0.5(\text{Temporal Texture}) \quad (16)$$

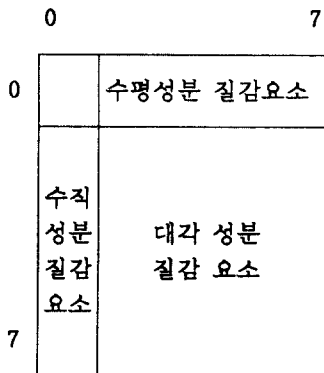


그림 4. 방향성 질감요소의 성분의 구성
Fig. 4. Structure of directional texture factor.

여기서 T_{COM} 은 시공간 질감요소를 나타낸다. 식(16)에서 구한 값을 주파수 민감도와 대비 민감도 하중치와 비슷한 범위를 가지도록 다음식과 같이 값의 크기를 조절하였다⁸⁾.

$$T_c = 1 + \log(1 + 0.001 \cdot T_{COM}) \quad (17)$$

여기서 T_c 는 시공간 하중치를 나타낸다. 이 시공간 하중치는 그림 4와 같이 8×8 블럭내에서 수평, 수직, 대각선 성분으로 3등분하여 각각의 영역에 대하여 독립적으로 DCT변환 주파수의 인식 하중치 제어에 사용하였다.

4. 인식 하중치의 결정

인식 하중치를 양자화에 적용하기 위하여 8×8 영역에서의 영상의 특성에 의존하는 대비 민감도 하중치와 수직, 수평, 대각선영역의 시공간 하중치를 각각 구한다. 명도 신호에 $16H \times 16V$ 의 대구획 블럭과 색도신호는 $16H \times 24V$ 의 대구획 블럭내에서 8×8 영역에 대하여 최소가 되는 대비 민감도와 시공간 하중치의 값을 결정하고 대구획 블럭전체에 적용한다. 위에서 구한 하중치를 영상에 독립적인 요소인 8×8 의 주파수 하중치로 곱한 각 주파수 성분에 대한 인식 하중치를 결정한다. 다음 그림은 인식 하중치를 결정하는 블럭선도를 나타낸다.

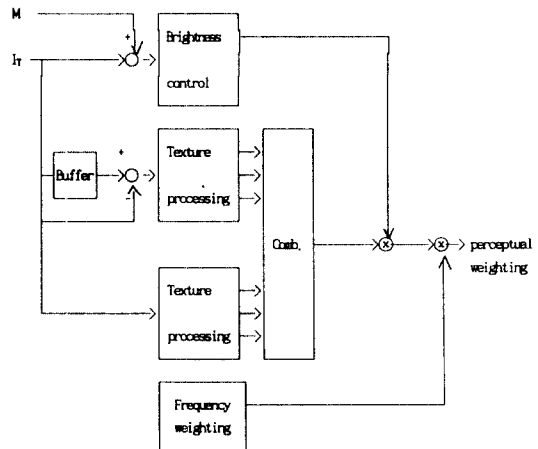


그림 5. 인식하중치 생성 블럭도
Fig. 5. Block diagram of perceptual weighting generation.

V. 전체 왜곡 레벨의 결정

부호화된 영상정보의 비트발생량은 영상의 부분적인 특성에 따라 가변적이다. 따라서 가변되는 비트량을 고정된 비트율로 전송하기 위하여 송신단과 채널 사이에 버퍼를 두어야 한다. DSC-HDTV는 버퍼의 상태를 안정화시키기 위하여 프레임단위의 전체 왜곡 레벨에 의한 비트량을 제어한다. 버퍼가 기준레벨 이상인 경우에는 전체 왜곡을 더욱 크게하여 버퍼의 충전상태를 낮추어 주고, 기준레벨 이하인 경우에는 전체 왜곡을 낮추어 충전 상태를 유지시킨다. 전체 왜곡 레벨을 결정하기 위하여 다음의 수식과 같이 전체 왜곡 레벨과 표준편차, 비트율을 모델링 하였다. 실험적인 전체 왜곡 레벨과 목표 비트율과의 관계는 다음식과 같이 모델링 할 수 있다.

$$R_T(D_T) = a + b \log \left(\frac{D_T}{\sigma_t} \right) \quad (18)$$

여기서 R_T 는 비트율을, D_T 는 전체왜곡 레벨을, σ_t 는 DFD영상을 DCT변환된 계수의 표준편차를 나타낸다. a 를 두개의 이전 프레임의 상태로 부터 구하며 최종적으로 다음식과 같은 전체 왜곡 레벨을 구할 수 있다⁸⁾.

$$D_T = \sigma_t \left(\frac{D_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right) e^{\frac{[(B_{t-1} - B_{ref}) \times K_0 + (B_{t-1} - B_{t-2})]}{-b}} \quad (19)$$

여기서 B_t 는 버퍼상태, B_{ref} 는 원하는 버퍼의 기준 레벨, K_0 는 버퍼 제어 변수로 0.9의 값을 사용하였다. 그리고 b 의 값은 버퍼상태의 변화정도를 조절하기 위한 값으로 실험에서는 -0.6을 사용하였다. 전체 왜곡 레벨은 DFD의 표준편차에 비례하게 되며 또한 이전의 버퍼 이력 상태에 의하여 결정된다. 프레임 단위로 누설요소를 적용하여 DFD를 구하고 양자화함으로써 누설요소의 값에 따른 비트량이 크게 변하므로 전체 왜곡 레벨을 조절하여 버퍼의 상태가 안정화 되도록 하여야 한다. 장면이 변화할 경우 이전의 프레임이 프레임간 부호화를 하였으므로 식(19)를 이용하여 버퍼상태를 제어할 수 없다. 따라서 다음식과 같이 누설요소가 0일 경우에는 전체 왜곡 레벨을 조절하였다.

$$D_T = 0.35 \times \sigma_t e^{\frac{[(B_{t-1} - B_{ref}) \times K_0 + (B_{t-1} - B_{t-2})]}{-b}} \quad (20)$$

장면변화시 0의 누설요소를 적용하고, 그 이후의 프레임에는 15/16의 누설요소를 적용함으로써 특히 누설요소가 0인 영상에서는 양자화 에러가 심하기 때문에 프레임간 부호화에 의하여 비트량이 크게 증가하여 버퍼가 오버플로우 상태가 된다. 따라서 누설요소가 변환때 DFD의 DCT계수의 표준편차의 값을 수정하여 D_T 의 값을 구하여 버퍼의 상태를 안정시키고 신속히 화질을 복원하도록 하였다. 누설요소 0이후 첫번째 15/16인 경우는 다음식을 사용하여 식(19)에 적용하였다.

$$\sigma_t = 0.6 \sigma_0 \quad (21)$$

여기서 σ_0 는 누설요소가 0인 경우의 표준편차를 나타낸다. 누설요소 0이후 두번째 15/16인 경우는 다음식을 이용한다.

$$\sigma_t = 0.12 \sigma_0 \quad (22)$$

VI. 적응 양자화

1. 공간 변환

DSC-HDTV방식에서는 영상의 중복성을 제거하기 위해 변환 부호화 방법으로 DCT를 사용한다. 본 논문에서는 8×8의 구획에 대하여 아래의 식과 같이 2차원 DCT 및 IDCT를 하였다.

$$X(u, v) = \frac{c(u)c(v)}{16} \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 x(m, n) \cos \left[\frac{(2m+1)u\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2n+1)v\pi}{16} \right], \quad u, v = 0, \dots, 7 \quad (23)$$

$$x(m, n) = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 c(u)c(v) X(u, v) \cos \left[\frac{(2m+1)u\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2n+1)v\pi}{16} \right], \quad m, n = 0, \dots, 7 \quad (24)$$

식(23)과 (24)에서 $c(k)$ 는 다음과 같다.

$$c(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{if } k=0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

2. 스케일 요소(scale factor)

양자화시 각 프레임의 명도 신호와 색도 신호에 대하여 forward estimation 부에서 구한 scale factor를 8×8의 주파수 영역에 대하여 나누어 정규화함으로써 각 주파수 계수의 크기를 줄여서 양자화기의 효율을 높인다. Scale factor는 현재 입력 영상과 이전 입력 영상으로 움직임을 보상하여 얻은 변위프레임으로부터 DFD영상을 구한 후 DCT변환하여 각 주파수 영역에서 64개의 scale factor를 다음식을 이용하여 구한다.

$$S_{ij} = \sqrt{\frac{1}{K_1} \sum_{\text{all blocks}} X^2(i, j)} \tag{25}$$

식(25)에서 K₁은 프레임 당 8×8 블록의 수이고, X(i, j)는 8×8 블록내에서 i, j 위치의 DCT 변환된 주파수 계수값을 나타낸다. Scale factor는 1280H×720V 크기의 휘도 프레임(Y)에 대해서 8×8, 즉 64개의 값을 가지고, 마찬가지로 640H×360V 크기의 색도프레임(U, V)에 대해서도 64개의 값을 가진다.

3. 적응 양자화

DFD를 2차원 DCT한 계수를 적응 양자화하기 위하여 양자화기의 종류를 4가지로 제한하였으며 부호화 효율을 높이기 위한 0레벨의 양자화기를 사용한다. 본 논문에서는 프레임내 부호화에 영상의 화질이 크게 떨어지지 않으면서 프레임간 부호화시 버퍼가 안정된 상태를 유지하도록 3개의 양자화기의 레벨을 35, 17 및 9로 결정하였다. 양자화기는 DCT영역의 AC계수의 분포가 Laplacian분포를 가지기 때문에 사역(dead zone)을 가지는 Laplacian Max양자화기를 사용한다^[9]. 양자화기를 선택하기 위해 perceptual coder에서 전체 영상에 대해 오차의 가시도를 균등하게 만들기 위해서는 전체 왜곡 레벨과 인식하중치를 곱한 목표 왜곡 레벨을 구한다. 명도신호에 대하여 4개의 DCT블록으로 구성되는 16H×16V 대구획 블록에서 8×8주파수 영역의 같은 위치의 4개의 DCT계수에 대하여 동일한 양자화기를 사용한다. 색도신호에 대해서는 6개의 DCT 블록으로 구성되는 16H×24V의 대구획 블록에 6개의 DCT계수에 대

여 동일한 양자화기를 사용한다. 이는 인접 블록간의 상관 관계가 높다는 특성을 이용한 것이다. 양자화 오차(q)는 다음식과 같이 구해진다.

$$q = |x - Q(x)| \tag{26}$$

여기서 Q(x)는 셀 요소 x의 양자화된 값이다. 양자화기 선택오차(e)는 다음식과 같다.

$$e = |q - d| \tag{27}$$

여기서 d는 목표 왜곡 레벨을 나타내며 대구획 블록 내에서 8×8의 동일한 주파수위치의 선택오차 값의 합이 최소로 되는 4가지의 양자화기중 하나를 선택한다.

Ⅶ. 실험 및 고찰

본 논문에서 사용한 영상은 128H×720V 크기의 models, rider 및 station의 3개의 YUV 칼라영상을 사용하여 실험하였다. Models는 움직임을 작은 영상이고, rider는 급격한 움직임이 있는 영상이며, station은 확대와 평면이동이 있는 영상이다. 실험은 장면변화를 결정하기 위한 문턱치를 결정하고, 장면변화시 신속히 영상을 복원하고 버퍼의 상태를 안정화시키기 위해 누설요소의 값이 0에서 15/16로 증가할 경우에 누설요소의 증가 방법에 따른 화질개선 정도와 버퍼의 상태를 비교하여 누설요소의 적용방법을 결정하였다. 누설요소 0을 적용하기 위하여 원영상에서 평균을 제거한 신호를 DCT변환하여 구한 표준편차와 DFD를 DCT한 표준편차의 절대차를 이용하여 장면변화를 결정하였다. 다음 표는 식(3)을 이용하여 장면변화 결정기준에 대한 실험결과 값으로 문턱값을 20으로 하여 20보다 작은 경우는 장면변화를 나타낸다.

표 1. 표준편차 값의 차이에 의한 장면 변화 결정
Table 1. Scene change determination due to standard deviation difference.

	station(6)	models(29)	rider(23)
station(0)	33.44	9.00	4.77
models(0)	3.27	44.46	2.07
rider(0)	2.24	11.72	12.23

이때 왼쪽열의 영상은 이전 프레임이고, 오른쪽열의 영상은 현재프레임을 나타내며, 괄호안의 숫자는 프레임 순서이다. Rider는 움직임이 큰 영상이므로 0번째와 23번째 영상은 프레임간 부호화를 적용할 경우 큰 양자화 에러를 포함하므로 장면이 변화하였다고 결정하여 프레임내 부호화를 하는 것이 타당하다.

장면 변화후 누설요소의 증가법을 결정하기 위하여 누설요소를 0에서부터 0.1과 0.2씩 증가하는 경우와, 0과 15/16값을 가지게 되는 경우로 나누어 실험하였다. 비퍼의 상태를 비교하기 위하여 비퍼의 크기를 600 kbits로 결정하였다. 프레임당 비트 발생량을 계산하기 위하여 DCT계수를 허프만 부호화 하였으며, 부가정보는 scale factor와 평균값과 움직임 벡터, 양자화기 벡터 선택기의 인덱스(index)를 고려하였다. 첫번째 프레임에서 이전 프레임이 프레임간 부

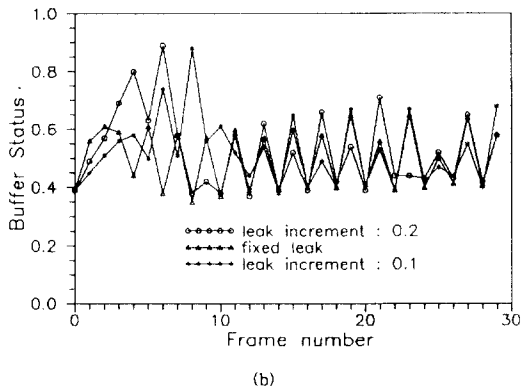
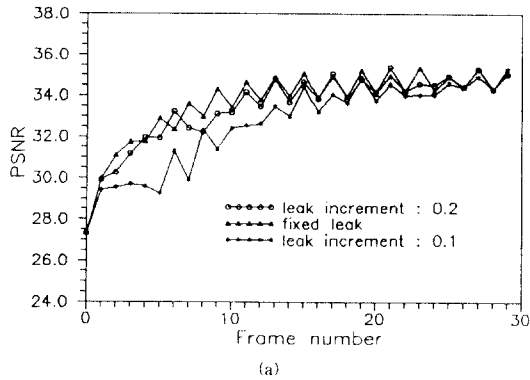


그림 6. Models영상에 대한 PSNR과 비퍼 상태
(a) PSNR (b) 비퍼상태

Fig. 6. PSNR and buffer status of models image.
(a) PSNR, (b) Buffer status.

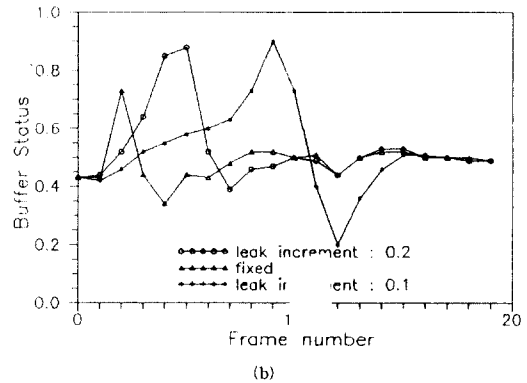
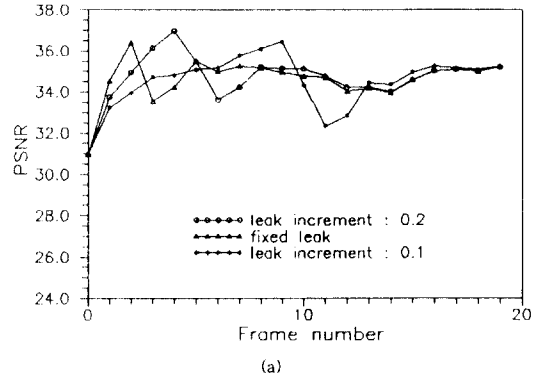


그림 7. Rider영상에 대한 PSNR과 비퍼 상태
(a) PSNR (b) 비퍼상태

Fig. 7. PSNR and buffer status of rider image.
(a) PSNR, (b) Buffer status.

호화에 의하여 1/2정도 비퍼가 충전되었을때 첫번째 프레임에서 장면 변화를 결정하여 비퍼의 상태를 비교하고, 화질의 개선 정도를 객관적인 평가 기준인 PSNR로 비교하였다. 그림 6은 models 영상에 대한 실험 결과이며 그림 7은 rider 영상에 대한 실험 결과를 나타낸다. 0과 15/16으로 누설요소를 고정시킬 경우 다른 경우보다 양호한 화질과 비퍼의 충전정도가 초기상태에서 크게 유용하지 않고 신속히 안정상태를 유지하였으며 rider영상에서 특히 좋은 결과를 얻었다. 누설요소의 값이 변화한후 10프레임정도 지난 후에는 0.33bpp 정도에서 안정된 비퍼상태와 양호한 화질을 얻을 수 있었다.

Ⅷ. 결 론

본 논문은 DSC-HDTV 시스템의 엔코더 루프에서 적용되는 인식하중치를 결정하고, 움직임 보상 예측 부호화시 적용되는 누설요소의 적용방법을 제안하였다. 적용 양자화를 위하여 인식 하중치를 주파수 민감도, 대비 민감도, 시공간 마스크 효과를 이용하고 버퍼의 상태를 제어하기 위하여 전체 왜곡 레벨을 조절 하였다. 장면이 변화할 경우 누설요소를 0으로 하고, 그 이후의 프레임에서는 15/16로 고정하여 신속히 원래의 화질을 복원하도록 하였다. HVS를 적용하여 생성된 잉여비트량은 버퍼의 상태를 안정화시키고 다음 프레임의 전체 왜곡 레벨을 낮추어서 화질의 개선에 기여한다. 제안된 방법을 장면 변화후 영상복원 정도와 버퍼 상태를 누설요소의 증가 방법에 따라 비교하였다. 실험한 결과 누설요소를 0과 15/16로 고정하고 전체 왜곡 레벨을 조절하는 경우에 신속한 영상복원과 안정된 버퍼상태를 유지하였다. 앞으로 인간 시각에 의한 최적의 비트할당과 양자화에 관한 연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. AT & T, *Technical details-digital spectrum compatible*, Sep. 1991.
2. A. N. Netravali and B. G. Haskell, *Digital Pictures*, Plenum Press, New York and London, 1988.
3. N. B. Nill, "A visual model weighted cosine transform for image compression and quality assessment," *IEEE Trans. on Communications*, vol.

- com-33, pp. 551-557, June, 1985.
4. D. L. McLaren and D. T. Nguyen, "Removal of subjective redundancy from DCT-coded images," *IEE Proceedings-1*, vol. 138, No. 5, pp. 345-350, 1991.
5. Z. Xie and T. G. Stockham, JR., "Toward the unification of three visual system as related to the encoding of images," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 19, No. 2, March/April, 1989.
6. W. S. Stiles and Gunter Wyszecki, *Color Science*, Wiley, 1982.
7. A. N. Netravali and B. Prasada, "Adaptive quantization of picture signals using spatial masking," *Proceeding of the IEEE*, vol. 65, No. 4, April, 1977.
8. Johnston et al., "High definition television coding arrangement with graceful degradation," *U. S. Patent*, No. 5, 128, 756, July, 1992.
9. R. C. Reininger and J. D. Gibson, "Distribution of the two-dimensional DCT coefficients for Images," *IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-31, No. 6, June, 1983.
10. K. N. Ngan, K. S. Leong, and H. Singh, "Adaptive cosine transform coding of images in perceptual domain," *IEEE Trans. on ASSP*, vol. 37, No. 11, pp. 1743-1750, 1989.
11. K. R. Rao, *Discrete cosine transform algorithm, advantages, applications*, Academic Press, 1990.

金龍夏(Yong Ha Kim)

정희원

1966년 8월 14일생

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
 1994년~현재 : (주)금성사 TV 연구소 연구원
 ※주관심분야 : 영상압축, HDTV

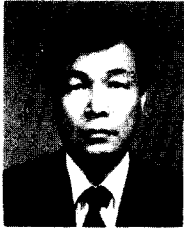


崔振秀(Jin Soo Choi) 정희원

1968년 10월 15일생

1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
 1992년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야 : 영상압축, HDTV, 영상처리



李光春(Kwang Chun Lee) 정회원
1944년 5월 15일생
1970년 2월 : 인하공과대학 전자공
학과(공학사)
1970년 : (주)금성사 입사
현재 : 同社 TV 연구소 연구위원,
한국센서학회 이사
※주관심분야 : TV 및 HDTV



河永浩(Yeong Ho Ha) 정회원
1953년 8월 10일생
1976년 2월 : 경북대학교 전자공학
과(공학사)
1978년 8월 : 경북대학교 전자공학
과(공학석사)
1985년 8월 : University of Texas
at Austin 공학박사
1985년 9월 ~ 현재 : 경북대학교 전자공학과 부교수
※주관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 신호처리, HDTV
등임