논문96-1-2-06

디지털 VCR의 영상압축 기술 및 그의 화질 개선에 관한 연구

이 형 호, 백 준 기

Study on the Digital VCR System and Its Image Enhancement Techniques

Hyoung Ho Lee and Joon Ki Paik

요 약

디지털 비디오 카세트 레코더(DVCR)는 디지털 기록과 다양한 디지털 영상처리 기술과 같은 여러가지 측면에서 놀랄만한 성능에 힘입어 차세대 VCR로 대두되고 있다.

본 논문에서는 DVCR 시스템의 표준규격을 이해하고, 성능을 평가하고, 재생된 DVCR의 영상을 개선시키는 알고리듬을 제안하고자 한다. 보다 자세히 설명하자면, DVCR 영상을 개선하기 위하여 이산 코사인 변환, 양자화, 역 이산코사인 변환과 역양자화를 영상 시스템의 열화요인으로 모델링하고, 이러한 열화모델때문에 발생하는 블럭 현상을 적응적으로 복원하는 고속 알고리듬을 제안한다.

Abstract

The digital video cassette recorder(DVCR) is considered as next generation VCR due to its performance breakthrough in various aspects, such as digital recording and various digital image processing techniques.

The purpose of our study is to understand the standardized specifications of the DVCR system, evaluate the performance of the system, and improve the quality of the reconstructed DVCR image. More specifically, in order to enhance the DVCR image we consider a series of discrete cosine transform(DCT), quantization, inverse DCT, and inverse quantization as a degradation process of the imaging system, and propose a fast adaptive image restoration algorithm for reducing blocking artifacts.

I. 서 론

현재 민생용 전자산업계에서는 텔레비전과 비디오 카세트 레코더(Video cassette recorder;VCR)로 대표되는 기존 아날로그 방식 영상기기의 보급률이 거의 포화점에 이른 것으로 판단되기 때문에, 소비자의 새로운 구매력을 창출할 수 있는 새로운 모델의 개발에 관심이 집중되어 있다[1].

한가지 예로 고선명 텔레비전(high definition television; HDTV)이 앞으로 기존의 TV모델을 대체하게 되면, TV시스템 자체의 조립은 물론이거니와 관련 산업 전반에 막대한 규모의 시장이 창출될 것으로 믿어진다. 즉 초대형 광폭 디스플레이 산업, 디지털 신호처리 VLSI산업, 그리고 영상 저장용 고속 대용량의 메모리 산업에 큰 변화가 올 것으로 믿어진다.

또다른 예로 본 논문에서 다루고자 하는 디지털 VCR (DVCR)은 방송분야에서는 이미 그 기술의 일부 혹은 전부가 상용화되어 있고, 가정용의 경우 관련 기술의 꾸준한 발

중앙대학교 전자공학과
Dept. of Electronics Eng. Chung-Ang University
※본 연구는 1995, 1996년도 산학협동재단 학술연구비 지원에 의한 것임.

전으로 일본, 미국 등 선진 공업국을 중심으로 표준화를 완료하였고 상품화를 눈앞에 두고 있다[2]. 이러한 가정용 DVCR은 디지털 압축방식을 사용하기 때문에 우수한 화질의 영상을 장기간 기록할 수 있고, 크기와 무게가 줄어들고, 다양한 정보를 기록할 수 있어서 멀티미디어의 단말기 등으로 사용될 수 있음은 물론이거니와 되풀이 되는 복사나 재생시에도 품질(화질, 음질)이 그대로 유지되는 큰 장점을 가진다.

기존의 아날로그 방식 VCR의 경우 녹음과 재생과정이 반복되면 그 음질과 화질이 점점 저하되는 문제를 갖고 있다. 이러한 단점을 가진 아날로그 VCR을 대체하기 위해서 개발되고 있는 것이 DVCR인데, 이것은 소비자가 원하는 정보량을 만족하기 위해서 디지털 정보를 영상압축 기술을 사용해서 저장한다. 이때 사용하는 영상 압축 방법은 기존의 영상 압축 표준인 JPEG, MPEG1 및 MPEG2의 압축방법과 유사하다. 보다 구체적으로 DVCR 시스템을 MPEG 방식의 시스템 [3]과 비교하면 이산 코사인 변환과 양자화를 근간으로 한다는 점은 같으나, 움직임 추정 기법에 의한 시간적 중복성을 제거하는 과정과 발생 데이터량을 조절하는 버퍼과정이 없고 대신 혼합(shuffling)이라는 다소 새로운 방식을 사용하는 점이 다르다 할 수 있다. 그 이유로는 DVCR의 경우 사용상의 특성상 재생시 소비자가 원하는 곳으로 바로 접속(random access)을 해야 하기때문에 과거 영상 프레임에 의존하는 움직임 추정이나 버퍼 기술을 사용하는 데에 어려움이 있기 때문이다.

본 논문에서는 DVCR 시스템의 근간을 이루는 영상 압축-재생 기술을 이해하고, 그 성능을 평가하며, 이를 토대로 시스템 전체의 열화 요인을 찾아내어 제거함으로써 보다 나은 화질의 영상을 얻는방법을 제시한다.

영상을 열화시키는 대표적인 요인으로서 양자화를 통한 이산 코사인 변환의 결과로 발생하는 블록현상(block effect)을 들 수 있다. 따라서 이러한 현상을 DVCR 시스템에서 어떻게 제거하느냐가 중요하다 할 수 있다. 본 논문에서는 DVCR시스템에서 발생하는 이러한 열화요인들을 규명하고 보다 개선된 영상을 얻을 있는 방법을 찾아보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어, 2절에서는 DVCR시스템에 대하여 설명하기로 한다. 3절에서는 DVCR 시스템에서 발생하는 열화요인을 규명하고, 이러한 열화요인의 제거방법에 대하여 4절에서 논의하기로 한다. 5절에서는 제안된 알고리듬의 이론적 근거의 타당성을 입증하기 위한 실험결과를 제시하며, 마지막으로 6절에서 본 논문의 결론을 맺기로 한다.

Ⅱ. DVCR 시스템의 표준 규격

DVCR 시스템의 영상압축 및 재생부가 차례대로 그림 1

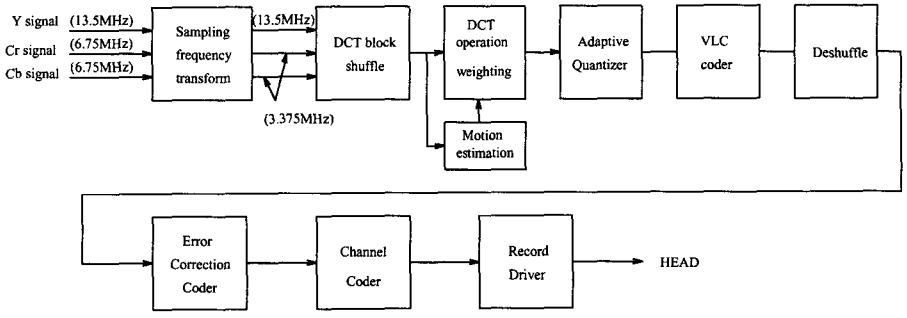


그림 1: DVCR 시스템의 압축부분

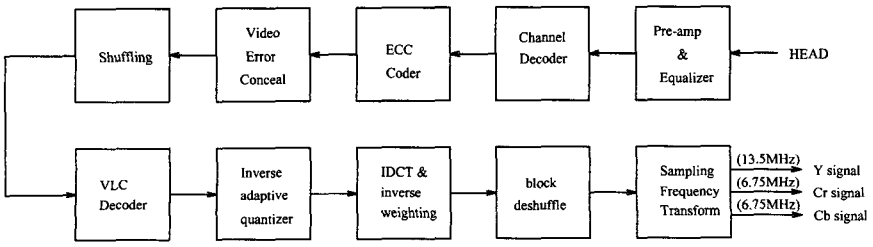


그림 2. DVCR시스템의 재생부분

Fig. 2. Reconstruction part of the DVCR system

과 2에서 보여진다. 우선 압축부를 살펴보면 4 : 2 : 2의 입력 비디오 신호를 4 : 1 : 1 형태로 부표본화를 하고, 이 신호를 혼합하는 과정을 거친 후 이산 코사인 변환과 양자화를 수행한 후, 가변 길이 부호화를 한다. 압축된 신호를 역혼합하는 과정을 거쳐 오류 정정 부호화를 하고 채널 코딩을 하고나면 일반적인 자기 기록 매체에 기록을 할 수 있다. 이것이 일반적인 DVCR 시스템의 압축 부분의 내용이다. 반면에 재생부분은 이와같은 기록계의 블록들을 역순으로 배열해 놓으면 된다. 여기서는 표본화 주파수 변환과 DVCR 영상 데이터의 계층적 구조와 이산 코사인 변환과 양자화에 대하여 살펴보기로 한다. 그림 2에서 보듯이 재생부분은 압축과는 대칭적으로 역과정에 의해서 수행된다.

1. 표본화(Sampling) 주파수변환 및 필터링 기술연구

VCR에 입력되는 영상 신호는 CCIR권고안 601의 4 : 2 : 2 YCrCb신호이다. 이것은 4개의 휘도(luminance;Y)성분을 표본화할 때마다 두개의 색차(color difference;Cr, Cb) 성분을 각각 하나씩 표본화하는 것을 의미한다. 이 휘도 성분의 표본화 주파수는 13.5MHz이고, 두 색차 성분의 표본화 주파수는 각각 6.75MHz이다. DVCR 입력부의 표본화 주파수 변환 블록은 이 입력 신호를 4 : 1 : 1 YCrCb신호로 주파수를 변환하는 것을 의미한다. 즉, 휘도 성분은 그대로 두고, 두 색차 성분을 3.375MHz로 부표본화(Subsampling)한다. 525/60 시스템의 경우 DVCR의 표본화 주파수 변환의 입력 영상의 크기는 휘도 성분이 480(V)×720(H)화소이고, 색차 성분은 480×360화소이다. 이것이 표본화 주파수 변환을 거치면 휘도 성분의 크기는 변하지 않지만, 색차 성분의 크기는 각각 480×180화소가 된다. 이때 발생할 수 있는 주파수 중첩현상(aliasing)을 효과적으로 제거할 수 있는 필터링 기법이 연구되어야 한다. 그러나, 대부분의 입력 영상들이 그들의 색차신호의 대역이 충분히 저주파 영역으로 제한되어 있기 때문에 본 논문에서는 가장 단순한 저역 통과 필터를 사용하는 시스템을 가정하였다. 즉 2개의 색차 성분을 1개의 색차 성분으로 부표본화 하는데 해당하는 2개의 화소값의 평균을 취하는 방식을 사용하였다. 이 필터의 전달함수는 $(1+z^{-1})/2$이고 주파수 특성은 그림 3에서 보여진다. 그림 4d에서 보는 바와 같이 일반적으로는 Cr성분은 주파수 대역이 완전히 제한되어 있지 않기 때문에 그림 3의 저주파 통과 필터를 거친 후 부표본화를 거침으로써 주파수 중첩현상을 피할 수 있다.

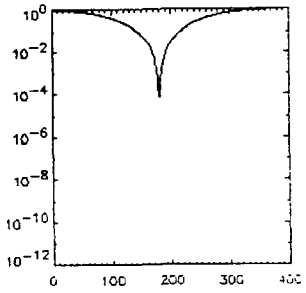


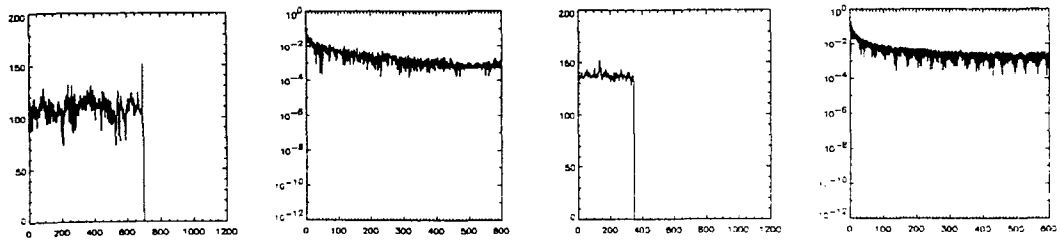
그림 3. 저역 통과 필터의 주파수 특성

Fig. 3. Frequency response of the lowpass filter

2. DVCR 영상데이터의 계층적 구조

표본화 주파수 변환을 거친 영상이 이산 코사인 변환되기 전 단계에서 소규모 영상 단위로 한 화면내에서 독립적으로 부호화를 해야 한다. 이렇게 하는 이유는 기록 매체가 순차적 접근(sequential access) 매체이기 때문이다.

우선 휘도와 2개의 색차의 화소 성분들을 8×8 화소의 블록으로 나눈다. 이러한 블록을 DCT 블록(DCT block;DB)이라고 하고, 525/60 시스템의 경우 휘도 성분은 60(V)×90(H)개의 DB로 구성되며, 두 색차 성분은 60×22.5개의 DB로 구성된다. 두 색차 성분 Cr, Cb의 경우 오른쪽 끝의



(a) (b) (c) (d)

그림 4. (a) 풋볼영상의 100번째 줄(휘도성분) (b) 풋볼영상의 100번째 줄의 파워 스펙트럼(휘도성분) (c) 풋볼영상의 100번째 줄(Cr 성분), (d) 풋볼영상의 100번째 줄의 파워 스펙트럼(Cr 성분)

Fig. 4. Intensity profile of the 100-th line of Football image (a) Luminance (b) The corresponding power spectrum (c) Cr component, and (d) The corresponding power spectrum.

DB는 8×4 화소만 남기 때문에 아래에 8×4 화소 부분을 위로 옮겨서 8×8 화소의 블록으로 재구성한다.

이렇게 DB를 만든 후에 각각 4개의 Y, 1개의 Cr, 그리고 1개의 Cb로 6개의 DB로 매크로 블록(macro block;MB)을 구성한다. 각 MB은 수평적으로 인접한 4개의 Y DB와 1개의 Cr DB, 그리고 1개의 Cb DB로 구성되는데, 오른쪽 끝에 있는 MB만은 수평, 수직으로 인접한 4개의 Y DB와 1개의 16×4화소의 Cr, Cb DB 한개씩으로 구성된다.

수퍼블록(superblock;SB)은 27개의 MB로 구성되며, 1 프레임은 50개의 SB들로 분할된다. SB번호는 $S_{i,j}$로 표현한다. 단, i=0, 1, ···, 9; j=0, 1, ···, 4이며, 이때 각 SB내부의 MB번호는 $M_{i,j,k}$로 표현한다. 여기서 i, j는 해당 MB가 속한 SB의 위치를 나타내며, k는 해당 SB에서의 MB의 위치를 나타낸다. 또한 각 MB내에서의 DB번호는 $D_{i,j,k,l}$로 표시한다. 여기서 i, j, k는 앞에서 설명한 것과 같고, l은 해당 MB내에서의 DB의 위치를 나타낸다. 마지막으로 각 DB내의 화소의 위치는 $P_{i,j,k,l}(x, y)$로 나타낸다. 여기서 (x, y)는 해당 DB내의 화소의 좌표를 나타낸다. 단, 해당 DB가 8×8 크기를 갖기 때문에 x=0, 1, ···, 7; y=0, 1, ···, 7이다.

이렇게 하나의 프레임을 50개의 SB로 나눈후, 세로 방향으로 10개씩의 SB들을 A, B, C, D, E의 5개 영역으로 나눈다. 각 영역에서 일정한 법칙에 의해 MB를 1개씩 취해서 혼합(*shuffle*)을 수행한다. 이렇게 해서 구성된 MB를 비디오 세그멘트(video segment;VS)라고 한다.

$$V_{i,k}=\{M_{(i+2) \bmod n,\ 2,\ k},\ M_{(i+6) \bmod n,\ 1,\ k},\ M_{(i+8) \bmod n,\ 3,\ k},\ M_{i \bmod n,\ 0,\ k},\ M_{(i+4) \bmod n,\ 4,\ k}\} \quad (1)$$

여기에서, i=0, ···, 9; k=0, ···, 26; n=10로 정해져 있다. 본절에서 설명한 영상 데이터의 계층적 구조가 그림 5에 보여진다.

3. 이산 코사인 변환

DVCR 시스템의 경우 DCT 변환에는 영상의 움직임이 작은 경우에는 (8×8) 모드, 즉 1프레임 내에서 처리하고, 움직임이 큰 경우에는 (2×4×8) 모드로 1필드 내에서 처리한다. 본 연구에서는 움직임을 추정하기 위해서 널리 사용되는 블록 정합 방식과 하드웨어적으로 효율이 높은 이진화된 정합 방식을 이용하였다[4, 5]

영상의 화소 위치를 $P_{i,j,k,l}(x, y)$로 표현하고, 이것을 이산

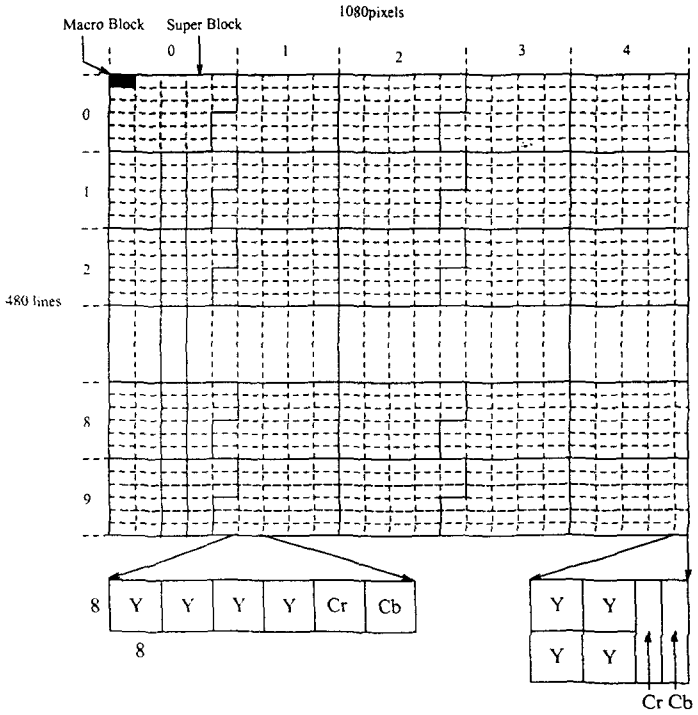


그림 5. DVCR영상 데이터의 계층적 구조
Fig. 5. Hierarchical structure of DVCR image data.

코사인 변환 계수를 $C_{i,j,k,l}(h, v)$로 표현한다면, 각 모드에서의 DCT식은 다음과 같다.

(i) 8×8 모드 순방향 DCT

$$C_{i,j,k,l}(h, v)=C(h)C(v)\sum_{y=0}^{7}\sum_{x=0}^{7}(P_{i,j,k,l}(x, y)\cos(\pi v(2y+1)/16)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (2)$$

(ii) 8×8 모드 역방향 DCT

$$P_{i,j,k,l}(x, y)=\sum_{v=0}^{7}\sum_{h=0}^{7}(C(h)C(v)C_{i,j,k,l}(h, v)\cos(\pi v(2y+1)/16)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (3)$$

(iii) 2×4×8 모드 순방향 DCT

$$C_{i,j,k,l}(h, v)=C(v)C(h)\sum_{z=0}^{3}\sum_{x=0}^{7}A_{i,j,k,l}(x, z)\cos(\pi v(2z+1)/8)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (4)$$

$$C_{i,j,k,l}(h, v+4)=C(v)C(h)\sum_{z=0}^{3}\sum_{x=0}^{7}S_{i,j,k,l}(x, z)\cos(\pi v(2z+1)/8)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (5)$$

(iv) 2×4×8모드 역방향 DCT

$$P_{i,j,k,l}(x, 2z)=\sum_{v=0}^{3}\sum_{h=0}^{7}C(v)C(h)E_{i,j,k,l}(h, v)\cos(\pi v(2z+1)/8)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (6)$$

$$P_{i,j,k,l}(x,2z+1)=\sum_{v=0}^{3}\sum_{h=0}^{7}C(v)C(h)O_{i,j,k,l}(h, v)\cos(\pi v(2z+1)/8)\cos(\pi h(2x+1)/16)) \quad (7)$$

단, $v=0, \cdots, 3$; $z=\lfloor y/2 \rfloor$, $z=0, \cdots, 3$일때

$A_{i,j,k,l}(x, z)=P_{i,j,k,l}(x, 2z)+P_{i,j,k,l}(x, 2z+1)$, $S_{i,j,k,l}(x, z)=P_{i,j,k,l}(x, 2z)-P_{i,j,k,l}(x, 2z+1)$ (8)

이다. 그리고,

$E_{i,j,k,l}(h, v)=C_{i,j,k,l}(h, v)+C_{i,j,k,l}(h, v+4)$, $O_{i,j,k,l}(h, v)=C_{i,j,k,l}(h, v)-C_{i,j,k,l}(h, v+4)$ (9)

이다. $P_{i,j,k,l}(x, y)$는 i, j번째 SB, k번째 MB, l번째 DB내의 (x, y) 위치에 존재하는 화소의 밝에 값을 나타내고 $C_{i,j,k,l}(h, v)$는 해당 DCT 변환 계수를 의미한다. 또한 $C(v)$와 $C(h)$는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$C(h)=\begin{cases}\frac{1}{2\sqrt{2}} & (h=0)\\ \frac{1}{2} & (h\neq 0)\end{cases}$$

$$C(v)=\begin{cases}\frac{1}{2\sqrt{2}} & (v=0)\\ \frac{1}{2} & (v\neq 0).\end{cases} \quad (10)$$

4. 양자화(Quantization)

DB마다 가중치 행렬(weighting matrix)을 곱하여 계수마다 차등적으로 범위값을 줄인후 양자화를 수행한다. 아래에서 보은바와 같이 가중치 행렬은 고주파 성분일수록 적은 값을 가진다.

$$W(h, v)=\begin{cases}\frac{1}{4}, & h=0 \text{ and } v=0\\ w(h)w(v)/2, & \text{otherwise}\end{cases} \quad (11)$$

단,

$$\begin{aligned}&w(0)=1\\ &w(1)=CS_4/(4\times CS_7\times CS_2)=0.9807\\ &w(2)=CS_4/(2\times CS_6)=0.9238\\ &w(3)=1/(2\times CS_5)=0.8999\\ &w(4)=7/8=0.8750\\ &w(5)=CS_4/CS_3=0.8504\\ &w(6)=CS_4/CS_2=0.7587\\ &w(7)=CS_4/CS_1=0.7209\\ &CS_i=\cos(i\pi/16)\end{aligned} \quad (12)$$

이러한 블록들은 4개의 클래스 중의 하나로 분류가 된다. 이것은 블록내의 AC계수의 최대값으로 구분이 된다. 또한 블록내의 AC계수들은 위치에 따라서 4개의 값으로 나누어지며 동일 영역의 계수들은 동일 양자화 단계에 의해 양자화가 된다. 이러한 양자화 단계를 결정하는 요소는 클래스와 블록내의 영역이다.

Ⅲ. DVCR시스템의 영상 열화모델

DVCR시스템에서 발생하는 열화요인으로 DCT변환과 양자화 과정을 생각할 수 있는데, 이를 근거로 다음과 같은 열화 모델을 유도할 수 있다.

$B\times B$블록단위로 $N\times N$의 영상 $x(m, n)$을 DCT변환할 때 입력신호를

$$x=[x_1, x_2, \cdots, x_{\frac{N2}{B2}}], \quad (13)$$

와 같이 1차원 벡터로 표시할 수 있다. 단, x_k는 $k=p(N/$

$B)+q$일때 (p, q)번째 블록을 사전적으로 나열한 B^2의 크기를 갖는 1차원 벡터이다. 블럭 단위로 배열된 입력영상의 1차원 벡터 구조가 그림 6에서 보여진다.

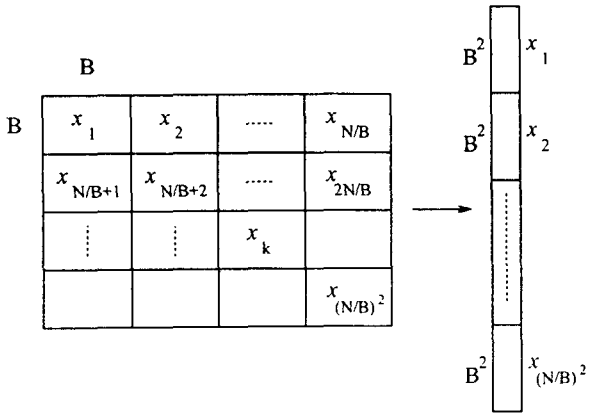


그림 6. N×N의 영상 $x(m, n)$을 B×B블록단위로 재구성하여 만든 1차원 벡터

Fig. 6. One-dimensional vector representation of N ×N image

이러한 압축－재생에 근거한 열화모델은

$$yC^{-1}D^{-1}QCx \tag{14}$$

와 같이 쓸 수 있다. 여기서 y는 DCT계수를 양자화함으로써 블록 현상이 나타난 재생된 영상이고, C와 C^{-1}는 각각 순방향과 역방향 블록 DCT행렬을 나타내고, Q와 D^{-1}는 양자화와 역양자화 행렬을 나타낸다. 이 열화모델의 블록도가 그림 7에서 보여진다. 이 모델에 근거하면 순방향 및 역방향 DCT행렬들은

$$C=\begin{bmatrix} [c] & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & [c] & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & [c] \end{bmatrix}$$

$$\text{and } C^{-1}=\begin{bmatrix} [c]^{-1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & [c]^{-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & [c]^{-1} \end{bmatrix}, \tag{15}$$

와 같이 표현할 수 있고, 이때 $[c]$와 $[c]^{-1}$는 각각 사전적으로 배열된 $B\times B$의 블록 영상에 해당되는 $B^2\times B^2$ 크기의 순방향과 역방향 DCT 행렬을 나타낸다. 그리고, (14)에서 Q라고 정의된 양자화 연산은

$$Q=RD \tag{16}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, D는

$$D=\begin{bmatrix} [d_1] & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & [d_2] & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & [d\frac{N^2}{B^2}] \end{bmatrix} \tag{17}$$

이고, 대각화된 부행렬 $[d_k]$는 대각행렬이며, 각 대각 원소는 양자화 단계의 역수가 된다. 그리고, R은 비선형 연산인 반올림을 행렬의 형태로 나타낸다.

Ⅳ. 제안된 알고리듬

식 (14)에서 $H=C^{-1}D^{-1}QC$라고 정의하면

$$y=Hx \tag{18}$$

와 같이 단순화된 형태의 열화 모델을 얻을 수 있다. 만일 H가 선형－공간 불변(linear space invariant)의 성질을 가진다고 가정하면, 즉 H가 블록 순환의 구조를 가진다면, 식 (18)의 해인 x는 이산퓨리에 변환 영역에서 선형 최소제곱오차 또는 제약적 최소제곱오차 필터를 사용하여 쉽게 구할 수 있다. 비록 H가 블록 순환 구조를 가지지 않더라도 반복적 방법의 영상복원기법을 적응적으로 사용하여 구할 수 있다.

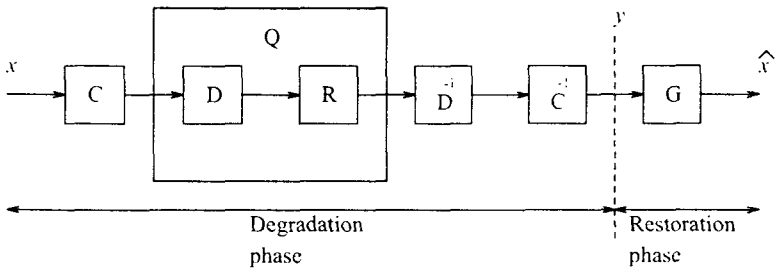


그림 7. DVCR시스템의 열화 모델

Fig. 7. Degradation model of the DVCR system

그러나 앞절에서 설명한 H는 반올림 연산을 나타내는 R의 성질 때문에 비선형성을 가진다. 그래서, Projection onto convex sets(POCS)에 근거한 반복적 영상 복원 기법이나 변환 계수를 추정하는 최적화 기법등이 이러한 비선형적이고 공간 가변적인 열화인 블록 현상을 제거하는데 제안된바 있다[8, 9, 10, 11, 12].

다시 설명하면 블록 현상을 유발하는 열화모델을 의미하는 H는 1대 1 대응연산이 아니기 때문에 식(18)의 해도 유일하게 결정되지 않는다. 따라서 적응적인 반복적 영상복원기법이나 최적화 기법에 근거하여 여러개의 해들로 구성된 집합으로부터 적절한 제약조건을 적응하여 원하는 해를 선택하는 방식이 요구된다.

DVCR시스템과 같이 블럭단위의 압축을 수행하는 시스템에서는 전송률이 어느 정도 이상 낮아지면 블록 현상이 발생하고 이것은 영상의 화질을 저하시키게 된다. 특히 동영상에서 움직임이 급격히 변화하면 블럭 현상에 의한 화질 열화는 더욱 심각해지게 된다. 이런 경우 반복적 방식에 근거한 기존의 블록 현상 제거 기술들은 수렴속도가 낮아서 적합하지 못한다.

본 절에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 적응적 제약적 최적화에 근거한 고속 블록 현상 제거 알고리듬을 제안하고자 한다.

식 (18)의 해를 일반적인 제약적 최적화 영상복원 방법에 근거하여 구하기 위한 한 방법으로서

$$\|A\hat{x}\|^2 \le e^2 \tag{19}$$

을 만족하면서

$$\|y - Hx\|^2 = 0 \tag{20}$$

를 만족하는데 해 $\hat{x}$를 찾는 것을 생각할 수 있다. 여기에서 A는 일반적으로 고주파 통과 필터를 의미한다. 이를 보다 구체적으로 설명하면, H가 비선형 성질을 가지고 있기때문에, 원영상, 열화된 영상, 그리고 많은 다른 영상들이 식 (20)을 만족시키는 집합에 속하게 된다. 그리고 원영상에 근접한 영상을 찾기 위해서는 블록들의 경계에서의 분산값이 식 (19)에서 주어진 상수값보다 작아야 한다.

이러한 관계에서 위에 제시한 일반적인 제약적 최적화 방법을 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$\|A_E\hat{x}\|^2 \le e^2 \tag{21}$$

을 만족하면서

$$\|y - H_L x\|^2 \tag{22}$$

을 최소로 하는 해 $\hat{x}$를 찾는다.

이때 H_L과 A_E에 대하여 다음과 같은 가정을 하기로 한다.

가정 1. H_L은 공간 불변의 저역통과 필터이다.

가정 2. A_E는 블록별로 분류된 윤곽선 정보로 방향이 결정된, 블록별로 적응적인 고역통과 필터이다.

가정 1은 고주파 성분을 가진 DCT계수가 더 성기게 양자화된다는 관찰에서 기인하고, 가정 2는 영상의 윤곽 성분의 방향성을 고려하는 필터를 구현하기 위한 것이다.

V. 복원 필터의 구현 및 실험 결과

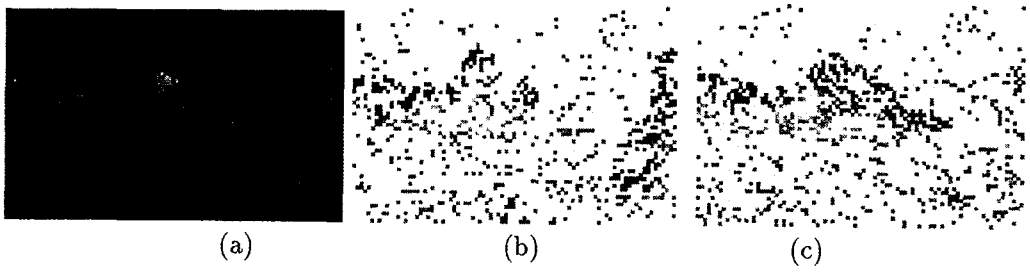
앞 절에서 설정한 가정 1에 맞추어 다음과 같은 아주 간단한 저역통과 필터를 사용한다.

$$h(m, n) = \frac{1}{22}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 10 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{23}$$

가정 2에 근거하면 A_E는 윤곽선 정보에 따라 고역통과 필터를 적응적으로 변화를 주는 것을 의미한다. 즉 8×8블록별로 블록의 윤곽선 정보를 찾아 수평, 수직 45° 대각선, 135° 대각선, 그리고 분류가 되지 않는 블록으로 분류를 한다. 이렇게 분류된 블록별로 윤곽선 정보에 따라 서로 다른 고역통과 필터 C_E를 가지는

$$g_E(k, l) = \frac{H^*(k, l)}{|H(k, l)|^2 + \lambda |C_E(k, l)|^2} \tag{24}$$

와 같은 제약적 최소제곱오차 필터를 사용하여 복원을 한



(a) (b) (c)

그림 8. (a) 분류가 되지 않은 블록, (b) 45° 윤곽을 가지는 블록, (c) 135° 윤곽을 가지는 블록
Fig. 8. (a) Non-classified block, (b) 45° edge block, (c) 135° edge block

다. 예를들면 수평, 수직 방향의 윤곽선 정보를 가지는 블록에서는 제약적 최소제곱오차 필터에서 고역통과 필터가 수평, 수직 방향으로 임펄스 응답을 가지는 것을 사용하며, 두개의 대각선 방향의 윤곽선 정보를 가지는 블록에서도 마찬가지로 제약적 최소제곱오차 필터에서 고역통과 필터의 임펄스 응답을 적절히 선택할 수 있다. 그리고 본 논문에서 사용한 C_E는 윤곽선 정보에 따라 평탄, 수평, 수직, 두개의 대각선 방향 성분을 가지는 고역통과 필터를 의미하고, 차례대로 다음과 같은 임펄스 응답을 사용하였다.

$$\frac{1}{8}\begin{bmatrix}-1 & 0 & -1\\ 0 & 4 & 0\\ -1 & 0 & -1\end{bmatrix}, \frac{1}{4}\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\ -1 & 2 & -1\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix},$$

$$\frac{1}{4}\begin{bmatrix}0 & -1 & 0\\ 0 & 2 & 0\\ 0 & -1 & 0\end{bmatrix}, \frac{1}{4}\begin{bmatrix}0 & 0 & -1\\ 0 & 2 & 0\\ -1 & 0 & 0\end{bmatrix},$$

$$\frac{1}{4}\begin{bmatrix}-1 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0\\ 0 & 0 & -1\end{bmatrix}, \tag{25}$$

본 논문에서 사용한 윤곽선 추출방법은 이산 코사인 변환이 각기 다른 주파수를 갖는 코사인 함수를 기저함수로 이용하여 신호를 해석하는 변환인 점에 착안하여 DC계수 옆과 아래에 있는 AC계수값 2개를 이용하여 윤곽선을 추정하는 방법을 사용하였다[13]. 그림 8에서는 이 방법을 사용하여 DVCR입력 영상에 적용하여 윤곽으로 분류가 되지 않는 평탄 블록과 45°, 135°의 윤곽을 가지는 블록들로 나누어진

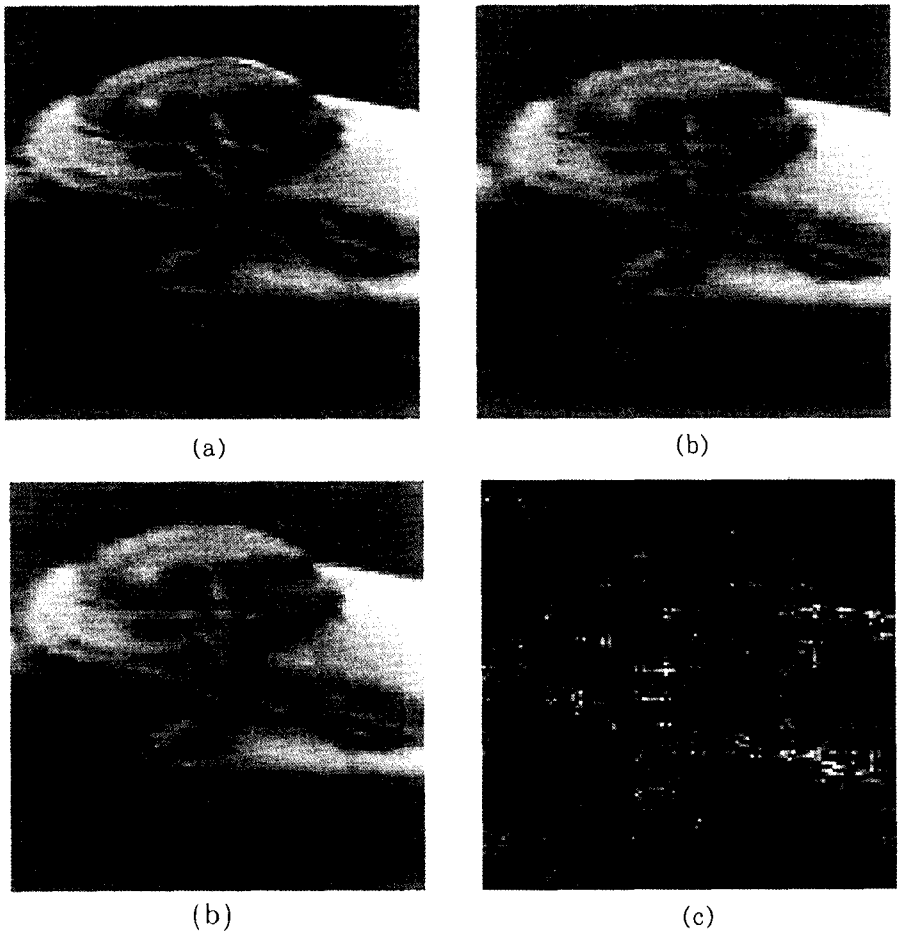


그림 9. (a) DVCR시스템의 입력영상(휘도성분) 중 일부를 확대한 영상 (b) 열화된 영상(PSNR=30.2dB), (c) 복원된 영상(PSNR=29.9dB), (d) 열화된 영상과 복원된 영상의 차분 영상

Fig. 9. (a) A part of the input image, (b) the corresponding degdhed image, (c) the restored image, and (d) the difference image between (b) and (c)

영상이 각각 보여진다.

본 논문에서 사용한 압축방법은 실험결과를 확실하게 제시하기 위하여 DVCR 표준규격에서 정해진 양자화표에서 가장 압축률이 높은 양자화 수를 사용하였다.

DVCR의 입력포맷의 풋볼영상에 대하여 제안된 알고리듬을 적용한 결과 DVCR시스템을 통과한 열화된 영상과 열화된 영상을 제안된 방식으로 복원한 영상이 그림 9에서 보여진다. 비록 제안된 방식으로 복원한 영상과 열화된 영상을 비교하면 객관적인 지표인 PSNR값에서 조금 떨어진다. 그러나, 인간의 시각 특성에는 오히려 제안된 방식이 더 좋게 보임을 알 수 있다. 이러한 것은 물론 인간의 주관적인 시각 특성[14]에 따른 것으로 생각된다.

Ⅵ. 결론

본 논문에서는 DVCR시스템의 디지털 압축부를 이해하였다. 이 모델은 다른 정지영상 혹은 동영상 압축 표준안에서 사용되는 블록DCT를 사용하기 때문에 양자화에 따른 블럭현상이 발생한다. 그리고, 이러한 열화를 고속으로 제거하기 위하여 블록의 윤곽선 정보에 따라 적응적인 복원필터를 사용하였다. 본 논문에서 사용된 윤곽선 구분 방법은 주파수 영역에서 DCT계수를 가지고 비교적 빠르게 수행되고, 복원필터 역시 최소 제곱 오차 필터를 사용하므로 유한 임펄스 응답 필터로 실시간 처리가 가능하다. 그러나, 주관적인 화질 개선에도 불구하고 실험결과 영상이 객관적인 비교지표인 PSNR면에서는 다소 떨어지는데 이러한 점을 개선시키기 위한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] W. Na, J. K. Paik, and C. H. Lee, "An Image Restoration System for a Single-CCD Color Camcorder," *IEEE Trans. Consumer Electronics,* vol. 41, no. 3, pp. 563-572, August 1995.

[2] 박구만, "가정용 DVCR의 최신기술 및 표준화 동향," 대한전자공학회지, 제22권, 제1호, pp.76-86, 1995년 1월

[3] MPEG-2 International Standard, ISO/IEC JTCI/SC29/WG11, November 1994.

[4] J. K. Paik, Y. C. Park, "An edge detection approach to digital image stabilization based on tri-state adaptive neurons," *IEEE Trans. Consumer Electronics,* vol. 37, no. 3 pp. 521-530, August 1991.

[5] J. K. Paik, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics,* vol. 38, no. 3, pp. 607-616, August 1992.

[6] DVCR system specification.

[7] V. Bhaskaran and K. Konstantindies, *Image and Video Compression Standards Algorith, and Architectures,* Kluwer Academic Publishers, 1996.

[8] R. Rosenholtz and A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," *IEEE Trans. Circuits Sust. Video Technol.,* vol. 2, no. 1, pp.91-94, March 1992.

[9] S. J. Reeves and S. L. Eddins, "Comments on iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.,* vol. 3, no. 6, pp.439-440, December 1993.

[10] Y. Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized reconsruction to reduce blocking artifacts of block descrete cosine transform compressed images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.,* vol. 3, no. 6, pp. 421-432, December 1993.

[11] Y. Y. Yang, N. P. Galatsatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images," *IEEE Trans. Image Procesing,* vol. 4, no. 7, pp. 896-908, July 1995.

[12] S. Minami and A. Zakhor, "An optimization approach for removing blocking effects in transform coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.,* vol. 5, no. 2, pp. 74-82, April 1995.

[13] K. P. Hong, J. K. Paik, H. J. Kim, and C. H. Lee, "An edge-Preserving Image Interpolation System for a Digital Camcorder," *IEEE Trans. Consumer Electronics,* vol. 42, no. 3, pp. 279-284, August 1996.

[14] A. K. Jain *Fundamentals of Digital Image Processing,* Prentice Hall, 1989.

저 자 소 개

李 炯 浩

1995년 2월 중앙대학교 전자공학사
1995년 3월~현재 중앙대학교 전자공학 석사
주관심분야 : 영상 처리, 웨이브릿 변환 등

白 俊 基

1984년 2월 서울대학교 제어계측 공학사
1984년 1월 ~ 1984년 7월 금성계전 연구원
1987년 6월 Northwestern University 전기공학 석사
1988년 6월 ~ 1989년 8월 Northwestern University 연구조교
1990년 6월 Northwestern University 전기공학 박사
1990년 7월 ~ 1993년 1월 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
1990년 2월 ~ 현재 삼성전자 마이크로사업부 기술고문
1993년 3월 ~ 현재 중앙대학교 전자공학과 조교수
주관심분야 : 영상 처리, 디지털 비디오 시스템, 직접회로 설계 등