

시각시스템 (Human Visual System) 에 의한 영상 정보 압축 기술

黃在政*, 李門浩**

(正會員)

群山水產專門大*

全北大學校 二科大學 電子工學科 副教授**

I. 서 론

디지털 신호처리를 위한 모든 영상 입력장치는 아날로그 영상을 공간적으로 표본화하고 양자화하여 디지털 데이터를 얻는다. 이때 표본화 계단의 크기는 만족스런 영상을 얻을 수 있을 만큼 작아야 하며 궁극적으로 시각 시스템의 집적능력에 의존한다. 영상 부호화의 목적은 전송하려는 원래 영상을 충실히 표현하고 재생하는데 있어서 필요한 비트수를 가능한 최소로 압축하는데 있다고 할 수 있다. 지금까지 연구된 바 있는 압축방법들의 기본 원리는 첫째, 영상 데이터는 랜덤하지 않고 인접 화소(pixel)들은 서로 비슷한 값을 가지는 공간적 상관(correlation) 관계가 매우 크다는 점을 착안하여 그 상관 관계를 줄여줌(decorrelation)으로써 정보량을 압축하는 방법과 둘째는, 화면내(intraframe)와 화면간(interframe)에서 우리가 필요로 하는 정보량의 변화는 극히 일부뿐이기 때문에 변화된 정보량만을 고려하여 압축하는 방법이다. 정보 및 부호 이론을 이용하여 MSE를 줄이고 원래 영상을 충실하게 재생시키는 코딩방법을 1세대 코딩이라고 하면, 시각 시스템의 비선형성등을 이용하여 코딩하는 것이 2세대 코딩방법이다.¹⁾ 정보 이론에 근거한 압축기술은 10:1 정도의 압축율에서 한계에 다다르고 있는데, 이것은 실제로 정보원의 처리에서 흔히 가정하는 ergodicity, stationarity, isotropic model 등이 모든 영상에 정확히 맞는 것은 아니기 때문이다. 그러나 복잡한 시각시스템의 특성을 완벽하게 파악하기는 어렵지만 어느 정도 근사한 모델을 코딩에 적용시키는 연구는 영상코딩에 새로운 전망을 열게하였다. 1세대 코딩과 2세대 코딩의 차이점은 결국 전자가 정보량을

얼마나 적절히 부호화하는데 주안점을 두는 반면, 후자는 데이터를 적절한 메시지로 변환하는 데에 중점을 두고 다음에 부호화하는 점이다. 모든 영상처리 시스템에서 최종목표물을 판단하는 것은 결국 인간의 눈이다. 인간의 시각시스템은 최상의 영상처리 시스템이라 말할 수 있지만 그에 대한 완벽한 수학적 모델을 찾는다는 것은 쉬운 일이 아니다.

다만 기본적으로 알려져 있는 사실 즉, 인간의 눈은 특정한 공간 주파수에서 더욱 민감하다는 점, white 영역보다는 black 부분의 변화에 더욱 민감한 점을 이용할 수 있고, 객관적 평가기준으로 주로 사용하는 MSE와 주관적 평가는 일치하지 않을 수 있다는 점을 생각할 수 있다. 이에 따라 의학적 시각 특성을 공학적 측면에 이용하기 위한 모델링이 1962년 DePalma와 Lowry 이후 계속되어 왔다.²⁾ 주관적으로 영상을 평가하기 위한 방법에는 다음과 같이 세가지를 들 수 있다. 즉, 1) 격자실험, 2) 정신물리적 실험, 3) 생리학적 연구 등이다.³⁾ 회절격자를 이용하여 주관적 평가를 측정하면 MSE라는 것은 주관적 평가로써 타당하지 않음을 알 수 있는데 그럼에도 불구하고 MSE를 오늘날까지 사용하는 이유는 수학적으로 다루기 쉽기 때문이다. 따라서 가능한 여러 측정은 MSE를 근간으로 하고 주관적 평가를 동시에 가미해야 하는데 "지각영역(perceptual space)"에서 여러측정에 대한 연구는 Sakrison, Hall, Lukas, Nill 등에 의해 개별적으로 연구되어 왔다.³⁻⁴⁾ 본고에서는 기존의 코딩방법을 개선시킬 수 있는 human visual system(HVS)에 대하여, 시각 시스템의 구조 및 모델링 방법을 살펴보고 HVS를 이용한 부호화 방법과 에러측정에 대해 언급하고자 한다.

II. 1세대 압축 방법

1. 공간적 기법

1) Pulse code modulation(PCM)

아날로그 영상을 디지털로 변환하는데 부호화를 하는 것으로 양자화 레벨수가 화질에 영향을 미치며 높은 주파수의 dither 신호를 첨가 시키는 dithering 이 충분히 고려될 때 3bits/pel 정도에서는 좋은 화질을 재현시킬 수 있다.

2) 예측 부호화

예측과 양자화로 구성되며 입력신호 $x(n)$ 와 복원된 신호 $y(n)$ 와의 차이를 최소화 하도록 설계하여야 하며 일반적으로 DPCM 과 같이 이전 값과의 차이만을 예측하여 전송함으로써 압축효과를 가져온다. 실제로 공간적, 시간적으로 인접한 화소사이에는 상관 관계가 높으므로 그 차이값은 매우 적어진다.

양자화기는 구간이 일정한 (uniform) 양자화기를 사용하는 것이 구현에 유리하나 통계적 특성을 고려하여 밀집된 구간에서 세분된 구간을 갖는(non-uniform)양자화기를 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있다. 그러나 어느 화소에 오차가 발생했을 때 계속 누적되는 단점이 있다.^[7]

3) 조건부 보충 및 운동 보상 부호화

시간적(temporal) 상관성을 이용하는 interframe 코딩으로서 frame 간의 절대차이 신호값이 어느값 이상일 경우만 부호화 하여 전송하는 조건부 보충기법과 frame 간의 이동 물체 운동량을 pel recursive 또는 block matching 방법으로 측정하여 이동량과 오차신호로 다음 frame 을 표시하는 운동 보상 기법 등은 64Kbps 급 비디오폰과 같은 저전송율 부호기에 주로 사용된다.

4) 벡터 양자화

일반적으로 4×4 블록이 주로 사용되는 일정한 크기의 2 차원 공간상에서 배열되는 영상신호를 같은 크기의 이미 정해 놓은 대표 영상신호 배열과 가장 근접한 배열을 가리키는 지수로 나타냄으로써 압축하는 것으로 스칼라 양자화 보다 압축효율이 우수하여 공간 영역 뿐만 아니라 변환 영역에서도 양자화가 가능하며 최근에는 벡터 양자기를 VLSI 화로 구현하는 연구가 활발하다.^[8]

2. 변환 기법

변환부호화의 기본 동기는 입력 데이터열을 상관성이 적고 독립적인 변환 영역의 계수열로 바꾸어 전송하는 것으로 역변환에 의해 원래 영상을 충실하게

재생한다.

1) Karhunen-loeve transform(KLT)

상관 관계를 완전히 제거하고 대각선 성분들로만 표시하는 최적의 선형변환이지만 영상신호의 통계적 특성을 미리 알아야 하는 점이 실시간 처리에 어려운 이유이며 다른 고속변환 기법의 이론적 한계를 나타내고 있다.

2) 고속 변환

N^2 의 계산을 $N \log_2 N$ 으로 줄이는 고속변환 기법으로서 Fourier, Hadamard, Haar, Sine, Cosine, Slant 변환등이 있다. 이들이 KLT 와 다른 점은 입력영상의 통계적 특성을 이용하지 않고 정해진 형태로 변환시키는 점이다. 먼저 변환수치를 결정해야 하는 데 정지화상의 경우 1 차원 또는 2 차원 변환이 가능하며 2 차원 변환했을 때 수평, 수직상관 관계가 거의 제거된다. 다음으로 결정할 것은 블록의 크기이다. $M \times N$ 영상을 subblock으로 나누어 각 sub-block을 독립적으로 변환하게 되는데 일반적으로 sub-block은 8×8 또는 16×16 크기를 사용한다. 변환 영역에서 특정의 계수들에 에너지가 집중되는 현상을 이용하여 10 : 1 정도의 압축이 가능한데 zonal 코딩 및 threshold 기법에 의해 15 : 1 까지 압축율을 높일 수 있다. 변환 계수들의 분포를 보면 DC 성분은 Gaussian 또는 Rayleigh 분포를 가지며, AC 성분은 Laplacian 분포를 갖는다는 것이 알려져 있다.^[9,10] 따라서 계수의 분포 특성을 고려하여 양자화하여야 한다. 그러나 1차 Markov Process 신호는 점진적인 지수함수 적으로 증가하거나 감소하기 때문에 복잡하고 갑작스런 변화가 많은 영상신호에는 변환을 일률적으로 적용하기 보다는 변환블록의 크기, 비트할당, 양자화레벨 결정 모두에서 적절한 적응기법이 사용되면 비 적응 기법에 비해 25-30% 화질이 향상된다.^[11]

III. 2세대 압축 방법

1. 인간의 시각 특성

HVS는 시신경계통을 나타내는 것으로서 인간의 신경계통은 가장 강력한 컴퓨터 즉, 뇌에 의해 운용되는 복잡한 통신망을 이루고 있으며 neuron이라 불리는 신경세포에 의해 시각적 자극이 전달된다. 은하계내의 별의 수 만큼이나 많은 대략 10^{11} 개의 neuron이 있고, neuron의 크기는 $5 - 100 \mu m$ 정도이며, 몸체에는 축색 돌기(axon)와 수지상 돌기(dendrite)가 가지처럼 뻗어 있다.^[12] 정보는 neuron과 neuron

사이에서 전기 화학적으로 전달되는 데 두개의 neuron 이 만나는 부분을 연결부(synapse)라 하고 송신부와 수신부는 각각 presynaptic neuron 과 postsynaptic neuron 이다.

Presynaptic neuron 에서 발생된 정보는 마치 케이블에서 전기신호가 흐르듯이 축색돌기를 통과하여 화학적 형태로 postsynaptic neuron 에 저장된다. 이 화학 성분은 새로운 전기신호를 만들게 되며, 하나의 neuron 사이에는 수 천의 pre, postsynaptic neuron 이 결합되어 마치 neuron 은 거대한 집적회로를 연상케 하는데 잘 설계된 집적 회로일지라도 fan-out 수는 불과 수십으로 제한되는 것과 비교할 수 있으며, 전달 신호의 형태는 100mv 의 진폭과 1ms 의 주기를 갖는 일련의 펄스열로서 자극의 세기에 따라 주파수 변조를 행하여 직렬, 병렬 그리고 케환등으로 연결된 neuron 사이에 통신이 행해진다. Neuron 의 작용은 흥분과 금지상태의 두 가지로서 전자는 postsynaptic neuron 에 펄스를 발생시키며, 후자는 그것들을 금지, 억압하여 그림 1 과 같은 mach band 효과, 시각주파수 반응의 대역통과 특성, 눈의 경계 및 선 검출의 원리가 된다. 인접한 신경 상호간에 강한 흥분을 억제하는 것을 측방억제(lateral inhibition)라 하는데 Furman 은 그림 2 와 같이 모델을 설정하고 $g_1 = e_1 - b_{12}$, $g_2 = e_2 - b_{21}$, g_1 로써 설명하고 있다.^[12]

눈은 시각신호의 감지장치이며 망막에 상을 형성하는데 망막은 상을 분해하여 시신경을 통하여 뇌에 전달하며, 그림 3 에서와 같이 눈의 구조는 카메라와 같이 각막과 수정액을 통하여 빛이 들어오면 동공

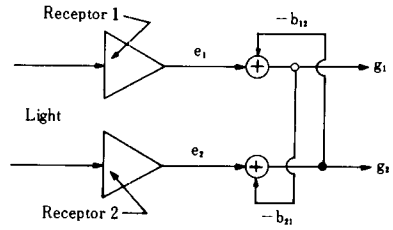


그림 2. 측방 억제 모델

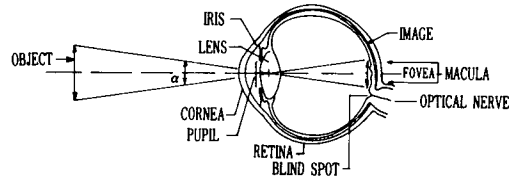


그림 3. 눈의 구조

을 통하여 눈의 내부로 들어간다.

이때 빛의 양은 카메라의 조리개와 같이 동공에 의해 조절되며 렌즈는 망막에 초점을 맞춘다. 보통 눈의 크기는 6.5cm^3 직경 24mm, 무게 7g 정도이며 동공의 직경은 2 - 9 mm이다. 눈의 렌즈는 완벽하지 못하여 초점 부근에서 상이 흐려지는 구면수차의 원인이 되는데 이같은 흐려짐은 저역 필터와 같은 작용을 하며 동공의 크기에 따라 필터의 차단주파수는 반비례한다.

배경의 밝기를 L_b , 목표물 주변의 밝기를 L 이라 할 때 목표물의 명암차이를 느끼는 정도(contrast sensitivity)에 대한 Weber's Law 에 따르면 차이가 어느 중간 주파수 대역에서 약 2% 이상이면 감지할 수 있음을 그림 4 와 같이 보여준다. 그림에서 점선 부분은 $L_b = L$, 즉, 배경과 목표물 주변이 다른 것을 의미하고 배경과 주변이 일치할 때 감도는 보다 넓은 범위에 걸쳐 일정하게 된다.

2. 시각 시스템의 모델링

비선형적 특성을 보이는 시각 시스템에서 고려되어야 할 사항들은 첫째, 명암의 세기에 따른 감도 차이(contrast sensitivity) 둘째, 공간 주파수에 따른 감도의 차이 셋째, 시간적(temporal)으로 변화되는 성분, 마지막으로 칼라성분의 비선형성을 들 수

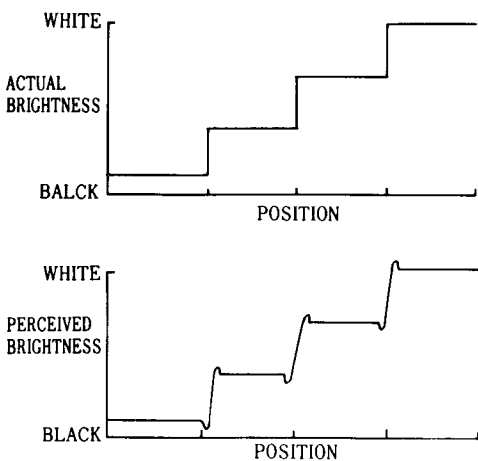
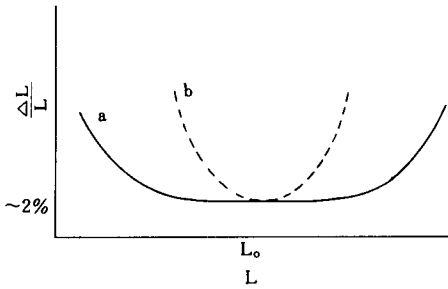


그림 1. Mach band 효과



(a) $L_b = L$ (b) $L_b = L_0$

그림 4. 밝기에 따라 감지 가능한 contrast 비율

있는데 흑백정지화상의 경우에 명암과 공간주파수 성분을 주로 다루게 된다. 명암의 세기에 관하여는 선형적 분포를 갖는 패턴 영상에 대해 지수함수적 감도를 갖는다는 것이 알려져 있고 공간주파수 감도에 대하여는 Sakrison 이후 몇몇 사람에 의해 연구되어 왔다. Sakrison은 HVS를 isotropic 모델로 가정하여 다음과 같은 형식의 MTF(modulation transfer function)를 제시하였다.^[3]

$$H(f) = a(b + cf) \exp(-cf)^d \quad (1)$$

단, f 는 공간주파수(cycles/degree)이며 a, b, c, d 는 상수이다.

시각적 감도가 최대가 되는 peak 주파수는 d 를 1로 하였을 때 식 (2)로 표현된다.

$$f_p = 1/c - a/b \text{ [cycles/degree]} \quad (2)$$

상수들을 변경하면 MTF의 peak 주파수가 변하여 512×512 영상을 DFT 영역으로 변환하여 주파수 감도를 측정하였다. 푸리에 계수들은 MTF에 따라 하중되며 미리정해진 임계치보다 큰 계수들을 전송하여 수신단에서 역과정을 거쳐 주관적 평가를 하였다. 이 때 $f = 8$ cycles/degree에서 peak 주파수를 갖는 MTF는 식 (3)과 같다.

$$H(f) = 2.6(0.0192 + 0.114f) \exp(-(0.114f)^{1.1}) \quad (3)$$

최근에 Nill은 실제 영상 신호가 isotropic 하지 않고 푸리에 변환을 통한 주파수 해석은 관측시간 이후의 것이어야 한다는 점을 고려할 때 고주파 계수 성분의 의미를 강조하는 보정항으로 MTF를 수정하게 되었는데 이때 사용한 MTF는 식 (4)와 같다.^[6]

$$H(f) = (0.2 + 0.45f) \exp(-0.18f) \quad (4)$$

이 함수는 5 cycles/degree에서 peak 주파수를 가지며 실제적으로 영상 부호화에 적용하지는 않았다. Ngan은 이것을 실제 부호화에 적용하였으며 기존의 MSE 측정을 통하여 식 (5)와 같이 3 cycles/degree의 peak 주파수를 제안하였다.

$$H(f) = (0.31 + 0.69f) \exp(-0.29f) \quad (5)$$

이와 같이 몇몇 HVS를 모델링한 MTF를 살펴보면 peak 주파수는 서로 다르다. 사용하는 코딩, 양자화 및 비트할당 알고리즘에 따라 주로 주관적 평가에 의존하거나 MSE 측정에 의한 결과는 서로 다른 값을 갖게 되지만 그림 5에 도시한 것처럼 대략 3-8 cycles/degree에서 인간의 눈이 최대 감도를 갖는 것으로 나타나고 있으므로 이점에 유의하여 부호화했을 경우 보다 우수한 화질을 얻을 수 있다.

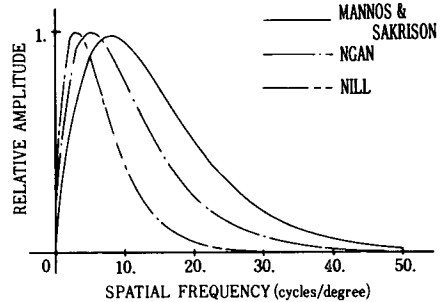


그림 5. HVS 모델의 비교

3. 부호화 방법

시각 시스템의 모델링 방법에 따라 위와 같이 서로 다른 견해를 보이고 있지만 기본적으로 대역통과 특성을 가짐은 명백하다. 영상신호는 기존의 방법에서 화소, 블록내의 화소 집합, 푸리에 또는 다른 변환에 의한 계수, 예측치 또는 미분치등으로 표시되는데 적절한 방법에 의해 대역통과특성이 만족되도록 부호화하여야 한다.

1) Synthetic high system

그림 6에 도시된 바와 같이 원래 영상을 저주파 부분과 고주파 영역으로 나누어 처리한다. 저주파 성분은 급격한 contour가 없는 일반적인 밝기를 의미하고 고주파 성분은 급격한 edge 정보를 포함하고 있어서 이 두가지 성분을 분리하여 처리한 다음 재생

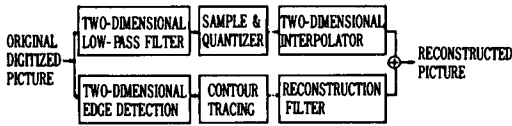


그림 6. Synthetic high system

시에 합성하는 것으로, 시각 시스템의 성질과 유사한 방법이라 하겠다.^[11]

2) 필터링 방법

시각 시스템의 보다 진전된 적용은 전처리에서 대역 필터를 통과시켜 부호화하고 후처리하는 방법으로 그림 7 과 같다.^[14]

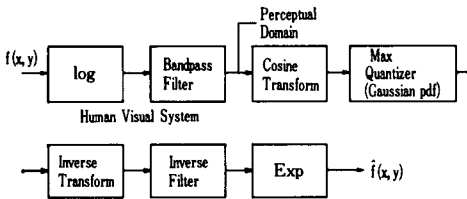


그림 7. 대역 필터를 이용한 시각 시스템 부호화

3) 푸리에 영역 처리

푸리에 계수는 신호가 포함하고 있는 주파수 성분을 의미하므로 앞에서 기술된 HVS 모델이 포함된 주파수 성분에 따라 푸리에 영역에서 적용하고 그림 8 과 같이 후처리한다. 이것은 본래적인 적용 방법이라 할 수 있지만 변환이 중복되는 점으로 인해 전체 부호화 과정이 복잡해진다.^[16]

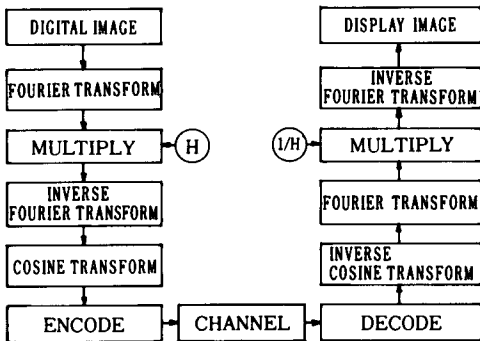


그림 8. 푸리에 영역에서의 HVS 모델

4) 변환 영역 처리

Cosine 변환, Hadamard 변환 등은 각기 정해진 주파수 성분으로 입력 신호를 처리한다. 주파수 성분이라 함은 푸리에 영역에서 보다 더 엄밀한 표현이 가능하지만 real 데이터를 취급하는 경우에는 real 변환 또한 적절한 주파수 표시방법이 되기 때문에 변환계수에도 적용되며 변환후에 변환계수상에서 처리하는 계통도는 그림 9와 같다. Hadamard 변환은 decorrelation 효율이 95%로써 AC 계수들이 가지는 정보량을 DCT 경우보다 무시할 수 없는 데 변환계수의 HVS 처리로 AC 계수의 정보량을 감소시킴으로써 효율을 증가시킬 수 있다. 그림 10은 256×256 영상을 Hadamard 변환 처리한 것과 HVS 변환 처리한 것을 나타내고 있다. 계수 분포는 DC 성분에 Gaussian 분포를, AC 성분에 Laplacian 분포를 가정하여 양자화하였을 때 우수한 화질이 얻어짐을 보이고 있으며 여기에 공간 주파수 8 cycles/degree에서 가장 민감한 Mannos와 Sakrison의 모델을 계수상에서 하증시킴으로서 그림 10과 같이 전송율 1 bpp에서 아주 우수한 화질을 얻게 된다. HVS가 기존의 코딩에 주는 영향중에 단적인 것은 peak 주파수 성분을 밀하게 하고 그렇지 않은 곳에서 거칠게 양자화하는 것으로 MSE는 크게 줄어들지 않지만(그림 10에서는 35 dB에서 0.5 dB 향상되었음) 블럭에러를 감소시켜 보다 부드러운 영상을 재현하고 있다.

IV. 에러 측정

기존의 MSE는 시각 시스템의 제반 특성으로 인해 더 이상 절대적인 의미를 갖지 못하는 것이 분명하다. 영상의 품질은 잡음에 의해서 뿐만 아니라 변환 부호화후 발생하는 blocking 현상에 의해서 더욱 손상되므로 기존의 MSE와 다른 평가 방법이 요구된다. 몇가지 에러 측정의 기준을 살펴 보면 다음과 같다.

1. WMSE (weighted mean square error)

$$e = \frac{\sum \sum e'(m, n)^2}{\sum \sum x(m, n)^2}, \quad e' = \text{error weighted by } w(f)$$

에러에 하중되는 함수 W(f)는 contrast 감도와 공간 주파수 반응을 고려하여 결정한다.

2. 임계치에 의한 WMSE

$$e = \frac{\sum \sum \{e'(m, n)^2 T\}}{\sum \sum x(m, n)^2}, \quad T = \begin{cases} 1, & |e'| > \text{임계치} \\ 0, & |e'| < \text{임계치} \end{cases}$$

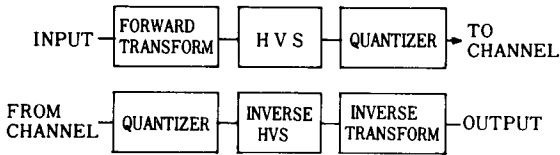
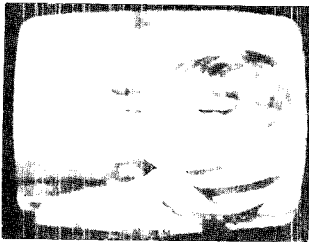


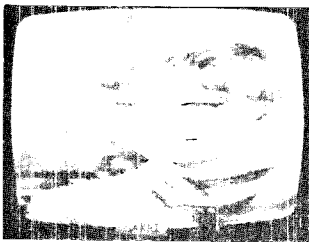
그림 9. 변환 계수의 HVS 처리



(a) 원래 영상



(b) Hadamard 변환 영상



(c) HVS Hadamard 변환 영상

그림 10. Hadamard 및 HVS Hadamard 변환 영상

시각적으로 감도가 낮은 에러에 대해서는 계산에서 제외하고 임계치 이상의 것만을 측정하는 WMSE의 진보된 형태의 식이다.

3. 에러의 자기 상관

$$e = \left[\sum \sum R \{e(m, dn)\}^2 + \sum \sum R \{e(dm, n)\}^2 \right]^{1/2}$$

$$R \{e(dm, n)\} = E \{e(m+dm, n)e(m, n)\} / e_{\max}^2$$

$$R \{e(m, dn)\} = E \{e(m, n+dn)e(m, n)\} / e_{\max}^2$$

에러의 상관도가 높으면 보다 부드러운 영상이 되며 불규칙적 에러가 발생될 때 시각의 거부 반응이 증가한다.

4. 블록 경계에서 에러의 변화

$$e = [E \{\Delta e(m, kN)\}^2 + E \{\Delta e(IN, n)\}^2]^{1/2}$$

$$\Delta e(m, kN) = \{e(m, kN) - e(m, kN+1)\}^2$$

$$\Delta e(IN, n) = \{e(IN, n) - e(IN+1, n)\}^2$$

변환 부호화의 문제점은 블록 내에서의 분산효과와 경계 부분에서의 에러 증가이다.

5. PMSE(perceptual mean square error)

$$e = \frac{\sum \sum \{Z(m, n) - \hat{Z}(m, n)\}^2}{\sum \sum \{Z(m, n)\}^2}$$

$Z(m, n)$: 변환 계수 $\hat{Z}(m, n)$: 부호화된 계수

변환 영역에서 계수 값과 부호화된 계수값과의 에러를 비교하는 것으로 주파수 영역에서 에러 계산을 한다.

V. 결 론

“바다에 떠오른 빙산의 일부로써 바다 밑에 숨겨진 전체의 빙산 크기를 정확히 파악할 수 있을까?” 라는 질문에 대한 답으로 “예”라고 한다면 영상신호 처리에서 불과 몇 비트로써 전체 수십 Mbit의 정보량을 갖는 영상을 파악할 수 있다는 말과 같다. 이것은 전자나 후자 모두 실현이 매우 어려운 것임을 설명하고 있으며 따라서 영상 데이터 압축은 어떤 한계를 가질 것이다. 물론 정보 이론이나 부호 이론에 의한 한계는 우리가 알고 있지만 보다 감각적인 비선형성을 갖는 측면에서 한계를 구하고자 하는 노력이 계속되고 있다. II장에서 설명된 기존의 영상압축 방법들은 저마다의 단서를 가지고 정보 이론의 한계에서 벗어나려고 있지만 복잡하고 불균일한 신호원들을 만족시키기에는 또 다른 한계를 느끼고 있으므로 우리는 의학적 측면에서만 고려되던 시각 시스템을 공학적 측면에서 재조명해볼 필요가 있으며 이미 예상한 바와 같이 그러한 간단한 모델로써 복잡한 현상을 가정하기 어렵고 그것은 인간의 주관적 평가에 의존하고 있다. 그러나 감각구조가 갖는 무한한 집적회로에 비해 인간이 만들 수 있는 유한한 H/W는 복잡한 조건을 만족시키는데 너무나 부족한 것이 사실이기 때문에 명암의 감도, 공간 주파수 특성등의 조건을 고려하여 모델링하고 기존의 압축방법에 이용한다면, 그 효과는 기존의 압축방법에 비해 획기적으로 향상될 것이 분명하다. 실제 공간 주파수 특성을

이용한 부호화 방법이 III장에 설명되어 있고, 변환 행렬이 구형으로 되어 있어 다른 변환에 비해 열등한 Hadamard 변환에서도 HVS에 의해 압축효율과 화질이 향상되며 변환부호화의 가장 큰 단점인 블럭 경계 오차도 개선됨을 알 수 있다. 기존의 1세대 코딩에 비해 HVS를 적용한 경우 SNR 면에서 월등한 향상은 기대하기 어렵다. 왜냐하면 덜 민감한 부분에서의 오차가 오히려 커지기 때문이며 따라서 MSE 보다는 IV장에 설명된 에러측정방법에 의해 화질이 비교되어야 한다. 끝으로 HVS를 코딩에 이용하려는 연구가 1960년대 이후 줄곧 계속되었지만 우리나라에서는 아직 이에 대한 연구가 미진하며 비디오폰이나 영상회의 시스템등 큰 압축률이 요구되는 분야에 HVS 코딩을 적용하기 위한 보다 적극적인 연구와 투자가 수행되어야 한다.

参 考 文 献

- [1] M. Kunt, A. Ikonomopoulos and M. Kocher, "Second-generation image coding techniques," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 4, Apr. 1985.
- [2] J.J. DePalma and E.M. Lowry, "Sine-wave response of the visual system. II. Sine-wave and square-wave contrast," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 52, no. 3, Mar. 1962.
- [3] J.L. Mannos and D.J. Sakrison, "The effects of a fidelity criterion on the encoding of images," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IUT-20, pp. 525-536, July 1974.
- [4] E.L. Hall, *Computer Image Processing and Recognition*, Academic Press, 1979.
- [5] F.X.J. Lukas and Z.L. Badrikis, "Picture quality prediction based on a visual model," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-30, no. 7, July 1982.
- [6] N.B. Nill, "A visual model weighted cosine transform for image compression and quality assessment," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-33, pp. 551-557, June 1985.
- [7] D.K. Sharma and A.N. Netravali, "Design of quantizers for DPCM coding of picture signals," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-25, no. 11, Nov. 1977.
- [8] R.M. Gray, "Vector quantization," *IEEE Magazine*, Apr. 1984.
- [9] R.C. Reininger and J.D. Gibson, "Distribution of the two dimensional DCT coefficients for images," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-31, no. 6, June 1983.
- [10] S. Yuan and K.B. Yu, "Zonal sampling and bit allocation of HT coefficients in image data compression," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-34, no. 12, Dec. 1986.
- [11] J.W. Modestino, N. Farvardin and M.A. Vgrinc, "Performance of block cosine image coding with adaptive quantization," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-33, no. 3, Mar. 1985.
- [12] G.G. Furman, "Comparison of models for subtractive and shunting lateral-inhibition in receptor-neuron fields," *Kybernetik*, vol. 2, pp. 257-274, 1965.
- [13] F. Kretz, "Subjectively optimal quantization of pictures," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-23, pp. 1288-1292, Nov. 1975.
- [14] K.V. Ngan, K.S. Leong and H. Shingh, "Cosine transform coding incorporated human visual system model," *SPIE Fiber LASE 86*, Cambridge, MA, vol. 707 pp. 165-177, Sep. 1986.
- [15] R.J. Clarke, *Transform coding of images*, Academic Press, 1985.
- [16] H.W. Jones, "A comparison of theoretical and experimental video compression designs," *IEEE Trans. Elec. Comput.*, vol. EMC-21, no. 1, Feb. 1979.
- [17] M.B. Sachs, "Spatial-frequency channels in human vision," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 61, no. 9, Sep. 1971.
- [18] D.J. Sakrison, "Image coding application of vision models," in "Image transmission techniques," pp. 21-71, Academic Press, New York, 1979.
- [19] N. Griswold, "Perceptual coding in the cosine transform domain," *Opt. Eng.*, vol. 19, pp. 306-311, 1980.
- [20] M. Miyahara and T. Fujimoto, "A measure of picture quality coded images—considerations of local errors—," *PCS 87*, pp. 16-17, Sweden, June 1987.
- [21] N.C. Griswold, "Perceptual coding in the cosine transform domain," *Opt. Eng.*, vol. 19, no. 3, May 1980. ✱

이 논문은 아산사회복지사업재단의 1986년 연구비 지원에 의하여 연구 되었음.