1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

공간 이방성에 근거한 정지영상 부호화 방법

신중인*, 김현술, 박석준, 박상희
연세대학교 전기 · 컴퓨터 공학과 생체정보공학연구실

A Still Image Compression based on Spatial Anisotropy

Joong In Shin, Hyun Sool Kim, Seok Joon Park and Sang Hui Park
Yonsei Univ., Elect. & Computer Engineering, Biocybernetics Lab.

Abstract

인간시각체계의 특성을 이용하여 시각적으로 좋은 화질을 얻으면서도 효율적인 저 전송률의 웨이블릿 영상 부호화를 실현하였다. MTF 함수를 이용하여 공간주파수 영역에서의 주파수 변화에 따른 콘트라스트의 민감도의 변화를 보상하였고, 공간 방향성에 대응하는 변수들을 추정하기 위하여 공간이방특성을 갖는 필터를 설계하였다. 이에 의하여 인간시각체계와 유사한 구조인 웨이블릿 변환영역에 적용할 수 있는 가중치를 도출하는 알고리즘을 개발하여 웨이블릿 변환 부호화에 적용하였다.

1. 서 론

영상부호화의 목적은 인간의 시각특성에 민감한 정보는 잘 재현하고 그렇지 못한 부분은 최소한의 정보량만으로 그 데이터를 전달하여 궁극적으로는 인간시각특성에 적합한 영상을 재현하는 데 있다. 따라서 인간시각체계(HVS, human visual system)의 특성을 반영한 부호화가 요구된다. HVS는 공간주파수 채널로 구성되어 있기 때문에 공간주파수의 변화에 따라 입력영상의 콘트라스트에 대한 민감도가 달라지며 입력도형의 방향에도 민감한 특성을 갖는다. 이러한 특성을 반영하는 대표적인 함수로는 HVS를 등방성(isotropy)으로 가정한 MTF가 있으며[1][2], 방향성분에 대한 민감도인 이방성(anisotropy) 개념은 인간시각계의 광수용기(photoreceptor)의 방향 선택적인 특성에서 찾을 수 있다[3]. 이러한 시각계의 특성은 공간주파수 영역에서의 주파수의 변화에 따른 콘트라스트 민감도의 변화 및 공간방향성을 보상하기 위한 MTF 함수 및 공간이방성특성의 적용에 대한 타당성을 제공한다. 본 연구의 부호화기는 EZW 계열의 부호화기[4][5]처럼 자기 유사성 탐색을 이용한다. 그러나 부호화 과정의 중요한 부분인 중요 계수들의 선정과정이 기존의 연구와는 그 방법을 달리한다. 기존의 연구에서는 웨이블릿 부호화된 계수들의 절대값을 그대로 사용하여 인간의 시각 특성을 전혀 고려하지 않았다. 그러나 웨이블릿 영역의 계수들은 인간의 시각 특성에 적합한 구조로 분할되어 있기 때문에 시각 특성에 중요한 계수들을 강화시켜 준다면 동일한 압축률에서도 상대적으로 좋은 화질을 갖는 영상을 복원할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 MTF 함수 및 공간 이방 특성

일반적으로 시각의 공간주파수에 대한 콘트라스트 감도특성은 공간 정현파 패턴인 Campbell 패턴등을 이용하여 심리응답을 구하여 나타낸다. 이 응답 특성을 MTF라고 하며, 이 함수는 HVS를 등방성으로 가정하여 모델링한 것이다[1][2]. 여러가지 시각심리학적인 실험에 의한 다양한 MTF 함수가 존재하지만[1][2], 그 기본 식은 동일하며 2차원 MTF 함수는 다음과 같다.

$$H(u,v) = a(b + c(u+v)) \times \exp[-(c'(u+v)^{d}]$$

여기서 f는 공간주파수 영역에서의 각(角)주파수이며 cpd(cycles per degree)의 단위이다. 여기서는 8cpd에서 첨두치를 갖는 Sakrison등의 MTF함수를 이용한다. 또한 512×512 영상을 대각선의 5배의 거리에서 관측했을 때 최대 64cpd의 공간해상도를 갖는 것으로 가정한다. 이 MTF 함수를 공간주파수 영역에서 입력영상에 적용하기 위하여 전대역으로 변환한 결과는 그림 1(a)에 나타낸다. 단 시각적인 확인을 위하여 그 계조도 값을 적절히 변형한 결과이다.

MTF와 같은 HVS에 관한 실험에서 이용하는 주관적인 명제의 대부분은 등방성 이지만, HVS는 등방성이 아니라는 것이 이와 같이 알려져 있기 때문에[1] 공간이방성 개념을 도입할 수 있는 타당성이 제공된다. 이러한 공간이방특성은 공간영역 또는 공간주파수 영역상에서의 중심주파수와 회전각 성분을 포함하는 가우시안 함수로 잘 모델링될 수 있다. Daugman은 시각계의 방향 선택적인 simple cell들의 수용야를 모델링하기 위하여 Gabor 함수를 2차원 형태로 일반화 시켰는데, 그 식은 가우시안 윈도우에 기초한 일종의 공간이방성 필터가 되며 공간주파수 영역에서는 다음 식으로 표현된다[3] :

$$F(u,v) = e^{-\pi[\frac{(u-u_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(v-v_0)^2}{\beta^2}]} \times e^{-2\pi i[x_0(u-u_0) + y_0(v-v_0)]}$$

여기서, (x_0, y_0)는 공간영역에서의 수용야의 중심, (u_0, v_0)는 공간주파수 영역에서의 필터의 최적 공간주파수이고, α, β와 ζ, ν는 각각 x, y축 및 u, v축에 걸친 타원형 형태를 갖는 가우시안의 표준편차이다. 이 함수들에 의하여 다양한 회전대역, 공간주파수 대역등의 정보를 갖는 데이타의 출력이 가능하기 때문에 영상으로부터 공간 및 스펙트럼에 관한 많은 정보를 추출할 수 있다[3][6]. 전술한 바와 같이 광수용기를 공간이방성 필터로 모델링했을 때, 그 필터는 시각계내의 광수용기내의 정보손실 및 수용야의 방향선택성을 나타내는 윈도우 $W(u,v,\omega_0,\theta_0)$로 정의 될 수 있다[7]. 따라서 어떤 공간주파수를 갖는 입력 자극치의 스펙트럼 $Q(u,v)$에 대한 광수용기의 출력 스펙트럼 $P(\cdot)$은 다음과 같다.

$$P(u,v,\omega_0,\theta_0) = Q(u,v) \times W(u,v,\omega_0,\theta_0)$$
$$= Q(u,v) \times F(u,v,\omega_0,\theta_0)$$

단 입력을 정지 영상으로 가정한다. 이 과정에 의하여 인간시각체계의 이방특성을 갖는 영상을 얻을 수 있다.

2.2 인간시각특성을 고려한 부호화기

여기서는 전술한 인간시각체계의 특성들인 MTF 및

공간이방특성을 이용하여 웨이블릿 영역상의 각 부대역들내에 존재하는 부모-자손의 종속성을 갖는 부블럭들에 대한 인간시각가중치를 구하기 위한 알고리즘을 구하는 과정[8]들을 서술한다.

2.2.1 몇가지 정의

i) $P(i, j, \omega_0, \theta_0)$: 전술한 공간 이방성 필터 $F(u, v, \omega_0, \theta_0)$에 의하여 생성된 공간 영역상에서의 영상들이다. 여기서, $M \times N$ 영상에 대해서는, $i = 0, 1, .., M-1$, $j = 0, 1, .., N-1$, $\omega_0 = \{3\pi/64, 3\pi/32, 3\pi/16, 3\pi/8, 3\pi/4\}$, $\theta_0 = \{0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4\}$ 이다. 더욱이 (ω_0, θ_0)는 5-레벨로 웨이블릿 분할을 할 경우, 공간주파수 영역상에서의 각 대역들의 중심 주파수와 방향성을 갖는 계수들의 회전각에 대응된다. 이때의 각 중심 주파수 및 필터의 대역폭은 $(\omega_0, \Delta\omega) = \{(3\pi/64, \pi/32), (3\pi/32, \pi/16), (3\pi/16, \pi/8), (3\pi/8, \pi/4), (3\pi/4, \pi/2)\}$ 으로서 옥타브 간격이다.

ii) $S(m, n, \omega_0, \theta_0)$, $S(m, n, \theta_0)$ or $S(m, n)$: 슈퍼블럭(super-block). 단순하게 슈퍼블럭(이하 SB) $S(m, n)$은 원래의 입력 영상 $Q(i, j)$ 내에서 정의되는 기본 모(母)블럭으로서, 개념적으로 각 SB를 웨이블릿 분할하여 생기는 부블럭(sub-block)들은 그들 사이에서 부모-자손 관계의 종속성을 갖는다. 각 SB는 k-레벨 웨이블릿 분할을 전제로 할 때 $2^k \times 2^k$ 의 크기를 갖는다. 512×512 크기의 영상을 3-레벨로 웨이블릿 분할했을 경우, SB의 기본 개념을 도식적으로 그림 2에 나타낸다. $B(m, n, \omega_0, \theta_0)$는 $S(m, n)$의 확장으로서 **i)**에서 전술한 공간영역의 영상들 $P(i, j, \omega_0, \theta_0)$ 내에서의 기본 모블록이 된다. 또한, 공간 이방성 필터인 $F(u, v, \omega_0, \theta_0)$에 의하여 생성된 $P(i, j, \omega_0, \theta_0)$ 역시 필터의 중심주파수 ω_0 및 방향성 θ_0에 의하여 특징 지워지는데, 그러한 매개변수들은 웨이블릿 영역의 각 부대역들의 매개변수들과 일치한다(앞의 **(i)**에서 언급한 (ω_0, θ_0)에 대한 조건들을 참조하라). 따라서 $S(m, n, \omega_0, \theta_0)$는 웨이블릿 영역상에서 동일한 ω_0 및 θ_0를 갖는 부대역의 특성을 나타내게 되며, 동시에 부모-자손 관계의 종속성을 갖는 부블럭들과도 밀접하게 관련되게 된다.

iii) $\sigma(m, n, \omega_0, \theta_0)$, $\sigma^2(m, n, \omega_0, \theta_0)$: 각 SB에 대한 표준편차 및 분산

iv) $B(i, j, \omega_0, \theta_0)$: '0' 또는 '1'의 값만을 갖는 이진 영상

v) $W(m, n, \theta_0)$, $W(m, n)$:SB 단위의 공간이방성 가중치

2.2.2 인간시각가중치를 구하기 위한 알고리즘

Step 1) 2차원 MTF 함수 $H(u, v)$를 입력영상 $Q(i, j)$의 퓨리에 변환인 $Q(u, v)$에 대하여 적용한다 :

$$Q'(u, v) = Q(u, v) \times H(u, v)$$

Step 2) 공간이방성 필터에 의한 필터링 및 역 퓨리에 변환을 수행한다.

$$P(u, v, \omega_0, \theta_0) = Q'(u, v) \times F(u, v, \omega_0, \theta_0)$$

$$P(i, j, \omega_0, \theta_0) := \mathcal{F}^{-1}\{P(u, v, \omega_0, \theta_0)\}$$

Step 3) $P(i, j, \omega_0, \theta_0)$를 이용하여 각 SB에 관련된 표준편차 $\sigma(m, n, \omega_0, \theta_0)$를 추정한다.

Step 4) 이진 영상 표현 :

$$B(i, j, \omega_0, \theta_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(i, j, \omega_0, \theta_0) \geq \sigma(m, n, \omega_0, \theta_0) \\ 0 & elsewhere \end{cases}$$

여기서 $P(i, j, \omega_0, \theta_0) \in S(m, n, \omega_0, \theta_0)$이다.

Step 5) 각 $B(i, j, \omega_0, \theta_0)$에 대하여, 등방성을 갖는 평균분산 $\sigma^2(m, n, \theta_0)$을 추정한다.

$$\sigma^2(m, n, \theta_0) = \frac{1}{k}\sum_{\omega_0}\sigma^2(m, n, \omega_0, \theta_0)$$

여기서, k는 웨이블릿 분할 레벨에 대응된다. 특히, $\theta_0 = \pi/4$ 또는 $3\pi/4$인 성분에 대해서는 다음과 같다.

$$\sigma^2_{\theta_0 = \pm\pi/4}(m, n, \theta_0) = \frac{1}{2}\{\sigma^2(m, n, \pi/4) + \sigma^2(m, n, 3\pi/4)\}$$

Step 6) active, non-active 특성을 분류한다.

$$T(\theta_0) = \frac{1}{M/2^k \times N/2^k}\sum_{m=0}^{M/2^k-1}\sum_{n=0}^{N/2^k-1}\sigma^2(m, n, \theta_0)$$

$$S(m, n, \theta_0) = \begin{cases} active & \text{if } \sigma^2(m, n, \theta_0) \geq T(\theta_0) \\ non-active & elsewhere \end{cases}$$

여기서 $T(\theta_0)$는 각 θ_0에서의 문턱치이며, 공간이방 특성의 분류기준이 된다.

Step 7) 각 SB 단위로 H(수평), V(수직), D(대각), H+V, V+D, D+H, H+V+D, non-active SB으로 분류한다. $S(m, n)$을 다음 조건에 의하여 분류한다.

H	if only $S(m, n, 0)$ active
V	if only $S(m, n, \pi/2)$ active
D	if only $S(m, n, \pm\pi/4)$ active
H+V	if only $S(m, n, 0)$ & $S(m, n, \pi/2)$ active
V+D	if only $S(m, n, \pi/2)$ & $S(m, n, \pm\pi/4)$ active
D+H	if only $S(m, n, \pm\pi/4)$ & $S(m, n, 0)$ active
H+V+D	if all $S(m, n, \theta_0)$ active
none	if all $S(m, n, \theta_0)$ non-active

Step 8) SB 단위로 공간이방성 가중치를 결정한다. 즉, $\mathbf{M}(\theta_0) = max\{\sigma^2(m, n, \theta_0) \geq T(\theta_0)\}$, $\varpi = \mathbf{M}(\theta_0) - T(\theta_0)$ 라면,

$$\text{if } T(\theta_0) \leq \sigma^2(m, n, \theta_0) < T(\theta_0) + \frac{1}{4}\varpi \quad W(m, n, \theta_0) = 1.25$$

$$\text{if } T(\theta_0) + \frac{1}{4}\varpi \leq \sigma^2(m, n, \theta_0) < T(\theta_0) + \frac{1}{2}\varpi \quad W(m, n, \theta_0) = 1.5$$

$$\text{if } T(\theta_0) + \frac{1}{2}\varpi \leq \sigma^2(m, n, \theta_0) < T(\theta_0) + \frac{3}{4}\varpi \quad W(m, n, \theta_0) = 1.75$$

$$\text{if } T(\theta_0) + \frac{3}{4}\varpi \leq \sigma^2(m, n, \theta_0) < T(\theta_0) + \varpi \quad W(m, n, \theta_0) = 2.0$$

Step 9) 각 SB 단위의 인간시각 가중치인 $W(m, n)$를 결정한다 :

$W(m, n) = W(m, n, \theta_0)$
for simple edge(H, V, D SBs)

$W(m, n) = max\{W(m, n, \theta_0)\}$
for compound edge(H+V, V+D, D+H SBs)

$W(m, n) = 1$
for elsewhere(H+V+D, non-active SBs)

전술한 인간시각 가중치인 $W(m, n)$를 적용한 부호화기를 그림 3에 나타낸다. SPIHT 부호화기를 수정없이 그대로 이용할 수 있으며 단지 $W(m, n)$에 대한 데이터만 최종 출력 비트열의 헤더에 부가정보로서 삽입하면

된다. 여기서는 Antonini의 9/7 탭 필터[9]를 이용하여 5-레벨로 웨이블릿 분할하였다. 그림 4는 Lena영상에 대하여 저전송률에서 복원된 영상의 PSNR을 기존의 부호화기들의 성능과 비교한 것이다. EZW와 SPIHT는 산술부호화를 행한 결과를 나타냈으며, HVS(BU)는 제안된 부호화기에 의한 출력 이진 심볼들을 이진 데이타를 그대로 사용하여 복호화한 결과이고, HVS(AC)는 산술부호화를 한 경우이다. 제안된 부호화기는 EZW 보다는 언제나 좋은 성능을 보이고 있으며, 적어도 낮은 비트율(0.125bpp 이하)에서는 SPIHT 보다는 좋은 성능을 보이고 있다. 따라서 제안된 부호화기는 64:1 이상의 압축율을 갖는 저전송률에서 좋은 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 그림 5는 Lena영상에 대한 0.0625bpp에서의 복원된 영상의 일부 확대 사진이다. 윤곽부분들이 SPIHT 부호화기의 결과보다 시각적으로 우수함을 관측할 수 있다. 이는 공간 이방성 필터에 의하여 영상의 각 부분들이 잘 분류되고 그에 따라서 적절한 가중치를 웨이블릿 영역상의 각 부블럭에 할당함으로서 시각적으로 중요한 정보들이 덜 소실되었음을 의미한다.

3. 결 론

웨이블릿 변환 영역상의 각 부대역들의 주파수, 방향 특성과 잘 일치하는 인간시각계의 광수용기의 특성을 잘 나타내는 가우시안 함수에 기초한 공간 이방성 필터가 설계되었다. 제안된 인간 시각 특성 가중치 추정기를 적용하여 점진적 부호화 방식의 웨이블릿 부호화기를 설계한 결과 대표적인 웨이블릿 변환 부호화 방법인 SPIHT에 비하여 0.0125bpp이하의 저전송률에서 0.08 ~ 0.26dB의 성능의 향상을 가져왔으며, 특히 시각적인 관점에서의 화질의 향상을 얻을 수 있었다. 제안된 부호화기는 점진적 부호화 방법을 사용하기 때문에 최근의 멀티미디어나 웹, 의료영상등의 응용분야에서 요구하는 점진적 복호화 방법을 만족할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] J.L.Mannos and D.J.Sakrison, "The Effects of a Visual Fidelity Criterion on the Encoding of Images", IEEE Trans. on Inform. Theory, Vol. IT-20, NO.4, pp.525-536, 1974

[2] B.Chitprasert and K.R.Rao, "Human Visual Weighted Progressive Image Transmission", IEEE Tran. on Commun., Vol.38, No.7, pp.1040-1044, 1990

[3] J.G.Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters", J. Opt. Soc. Am., A/Vol.2, No7, pp.1160-1169, 1985

[4] A.Said and W.A.Pearlman, "A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees", IEEE Trans. on CAS for Video Technology, Vol.6, NO.3, pp. 243-250, 1996

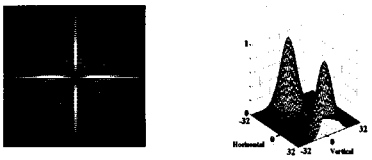
[5] J.M.Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotree of Wavelet Coefficients", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol.41, NO.12, pp.3445-3462, 1993

[6] T.S.Lee, "Image Representation Using 2D Gabor Wavelets", IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol. 18, No.10, pp.959-971, 1996

[7] C.L.M.Tiana, D.R.Williams, N.J.Coletta and P.W.Haake, "A Model of Aliasing in Extrafoveal Human Vision", Computational Models of Visual Processing, pp.35-56, 1991

[8] J.I. Shin, N.J. Park and S.H. Park, "An Effective Still Image Coding in Wavelet Transform Domain", International Conference on Elect. Eng., Hongkong, pp.291-294, Aug., 1999

[9] M.Antonini, M.Barlaud, P.Mathieu and I.Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform", IEEE Trans. on Image Processing, Vol.1, NO.2, pp.205-220, 1992



(a) (b)

그림 1 (a) 2차원 MTF 함수
(b) $(\omega_0, \Delta\omega, \theta_0) = (3\pi/4, \pi/2, \pi/2)$에서의 이방성 필터

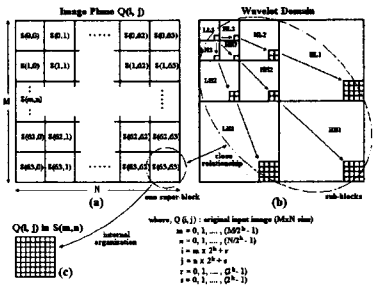


그림 2 공간영역상의 SB들과 웨이블릿 영역상의 부블럭들과의 관계의 한 예
(a)공간영역의 영상내에서의 SB들의 구성
(b)웨이블릿 영역상에서의 부모-자손의 종속성을 갖는 부블럭들, 여기서 화살표는 그러한 종속성을 나타낸다
(c) $S(m,n)$과 원래의 영상 $Q(i,j)$와의 관계

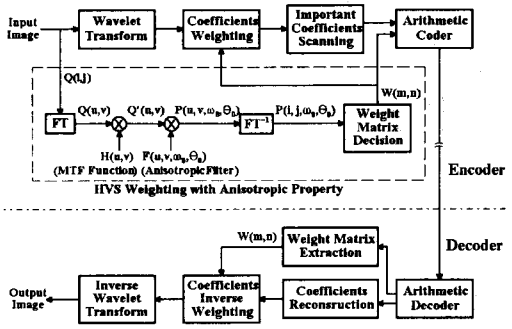


그림 3 HVS 가중치가 적용된 웨이블릿 영상 부호화기

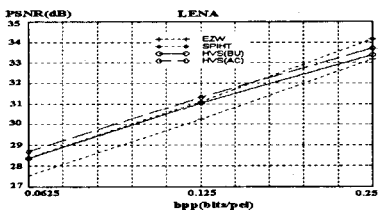


그림 4 저전송율에서의 복원된 Lena 영상의 PSNR

(a)SPIHT (b)제안된 방식

그림 5 0.0625bpp로 복원된 Lena 영상의 확대 영상