

Fabrics Image Retrieval Using Wavelets and Wavelet Packets

박은혜, 정성훈
한양대학교 섬유공학과

1. 서론

영상신호(image signal)는 데이터량이 크기 때문에 효과적인 전송이나 저장을 위해서 압축해야 한다. 여러 가지 영상압축방법 중 직교변환(orthogonal transform)을 이용한 영상 압축은 그 성능이 다른 방법보다 우수하여 현재 여러 표준에서 사용되고 있다.

웨이블릿은 1984년 Grossmann과 Morlet에 의해 창안된 이래 초기에는 주로 비정상(nonstationary) 신호의 시간에 따라 변하는 주파수 성분 분석에 이용되었다. Daubechies에 의해 웨이블릿 변환의 많은 성질들이 밝혀졌으며, 보다 나은 시간 혹은 공간-주파수 해상도(spatial-frequency resolution)를 얻기 위해 여러 가지 웨이블릿들이 고안되었다. 한편, Mallat에 의해 영상신호의 특징을 다중해상도(multi-resolution) 특성을 가지며, 인간의 시각 분해 방식과 유사한 공간주파수성분을 갖는 이산 웨이블릿 변환이 정립되자 곧 1990년대 들어서 영상의 압축에 적용되기 시작하였다[1].

본 논문에서는 Wavelet과 Wavelet Packets을 사용하여 직물영상의 분석, 압축, 복원시스템을 향상시키기 위한 영상의 공간(spatial)과 특징(feature)에 대한 정보를 통합시키는 새로운 방법을 제시하고자 한다[4][5][6][7]. 따라서, 적절한 공간·주파수 정보를 이용한 영상의 패턴분석과 압축법을 위한 시스템, energy signatures를 기반으로 4가지 filter 처리과정을 통해 본래의 직물영상을 복원시켰다. 본 논문의 연구결과는 컴퓨터 비전, 영상압축, 인터넷을 이용한 동영상 서비스, 영상데이터 베이스의 구축, network을 이용한 데이터 베이스 액세스, 다중 재생속도를 갖는 저장매체의 기록재생 등 많은 분야에서 활용될 수 있다.

2. 이론

2.1 Wavelet Transform

Wavelet은 식(1)과 같이 진동을 하다가 중심에서 멀어질수록 그 값이 급격히 'zero'에 가까워지는 작은 파형인 Mother function $\Psi(t)$ 기저함수로 이용하며, 불규칙하고 상이한 형태가 그 특징이다. 이러한 특성함수를 translation과 dilation 또는 contraction함으로 영상신호를 분석하게 된다. 시간영역과 주파수영역에서 wavelet의 정의를 보면 식 (2),(3)과 같다

$$[1]. \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (\Psi: \text{mother wavelet function}, t: \text{time}) \quad (1)$$

$$\Psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (u: \text{shifting}, s: \text{scaling}) \quad (2)$$

$$Wf(u, s) = \langle f, \Psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (3)$$

wavelet의 특성상 중복성(redundancy)과 같은 실질적인 면에서 좋지 않은 특성을 가지며, dilation과 translation이 연속적이기 때문에 구현하는데 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 파라미터(u, s)를 다음과 같이 이산값(discrete value)으로 취한다.

$$u = a_0^m, \quad s = n b_0 a_0^m \quad (4)$$

식(4)에서 a_0 를 2, b_0 를 1로 놓으면 Scaling function $\Phi(t)$ 와 wavelet function $\Psi(t)$ 를 식(5)와 같이 정의할 수 있다[1].

$$\begin{aligned} \Phi(t) &\in V_0, & \Phi_{mn}(t) &= 2^{-m/2} \Phi(2^{-m}t - n) : V_m \\ \Psi(t) &\in W_0, & \Psi_{mn}(t) &= 2^{-m/2} \Psi(2^{-m}t - n) : W_m \end{aligned} \quad (5)$$

V_m : 신호를 서로 다른 해상도로 표현하기 위한 일련의 subspace
 W_m : V_m 와 직교이면서 detail 성분을 표현하는 또 다른 subspace

2.2 wavelet energy signature [4][7]

직물의 원영상(original image) I (식6)는 각 scales에서 하부영상의 집합으로 나타내며, 직물color영상에 대한 wavelet energy signatures(식7)는 각 color plane을 독립적으로 변환 시킴으로 에너지 정보를 추출할 수 있다. 한편, 영상의 중복정보(redundant information)를 제거하기 위하여 표준화된 방법으로 직물특성과 color특성을 독립적으로 결합하여 wavelet correlation signatures의 상관관계를 알아보았다.

$$I = \{L_d, Dni\}_{i=1,2,3}^{n=0, \dots, d-1} : \text{원영상의 depth } d \text{에서의 다중해상도} \quad (6)$$

L_n : lowpass filtering으로 얻어진 scale n 에서의 low 해상도영상

Dni : bandpass filtering으로 얻어진 scale n 에서의 각 방향 detail 영상

$$Eni^{X_i} = \int (Dni^{X_i}(b))^2 db : b \in R^2 \text{ (convolution operator)} \quad (7)$$

Eni^{X_i} : color plane (X_i)에서 하부영상 (Dni)의 wavelet energy signatures

$$\begin{aligned} Cni^{X_j X_k} &= \int Dni^{X_j}(b) dni^{X_k}(b) db \quad (j=k) \\ &= \frac{Cni^{X_j X_k}}{Eni^{X_j} Eni^{X_k}} \quad (j \neq k) \end{aligned} \quad (8)$$

$\{Cni^{X_j X_k}\}_{n=0, \dots, d-1, i=1,2,3}^{j,k=1,2,3, j \neq k}$: wavelet correlation signatures

2.3 Two-Channel Perfect Reconstruction Filter Banks (PRFB) [3]

Two-Channel Perfect Reconstruction(PR) Filter Banks는 오랫동안 신호처리에 유용하다고 인식되었으며, wavelet변환을 계산하기 위한 기본적인 기법이다.

Figure 1에 PRFB의 기본 구조를 나타내며, 출력응답은 $X'(z)$ 는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} X'(z) &= 1/2 [G_0(z)H_0(z) + G_1(z)H_1(z)]X(z) \\ &\quad + 1/2 [G_0(-z)H_0(z) + G_1(-z)H_1(z)]X(-z) \end{aligned} \quad (9)$$

G_0 : Decomposition lowpass filter, G_1 : Decomposition highpass filter

H_0 : Reconstruction lowpass filter, H_1 : Reconstruction highpass filter

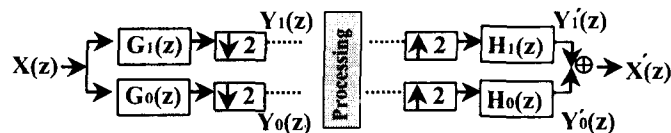


Figure 1. Two-Channel Filter Banks

3. 모의실험 및 성능비교

3.1 Materials

본 실험을 위해 boucle yarn, pique, glen check, hound tooth check의 4종류 직물이 표본으로 선택되었다. 각각의 직물조직은 어느 정도 시각적, 공간적 패턴의 차이를 나타내고 있다. 이 표본들이 제안한 image processing에서, 사용한 각 filter를 통한 효율적인 패턴인식과 압축, 복원율을 어떠한지를 알아보았다.

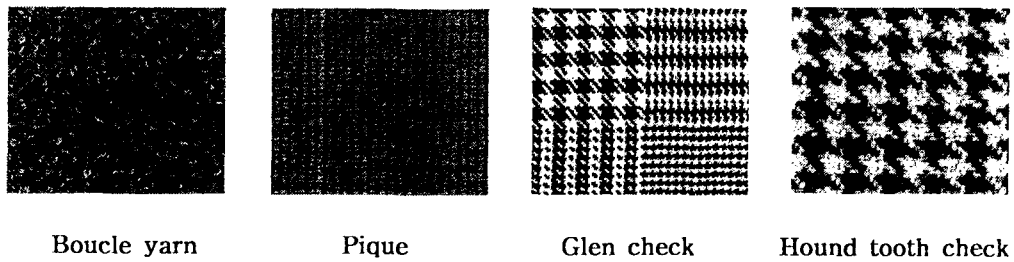


Figure 2. 다양한 직물의 종류

3.2 Image Processing System [2]

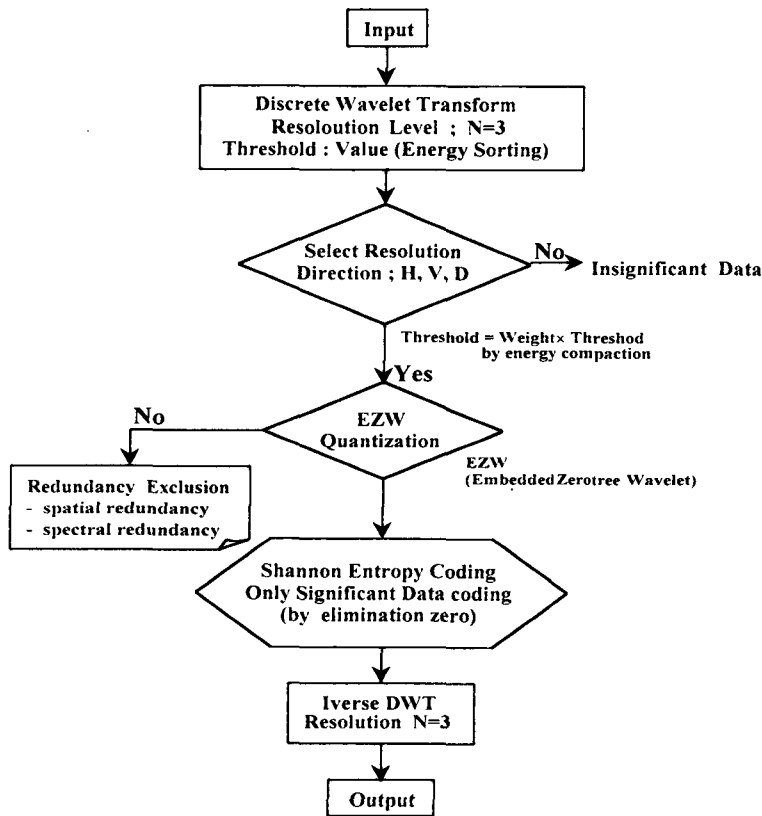
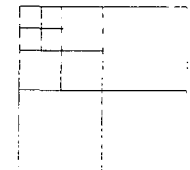
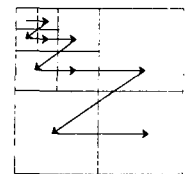


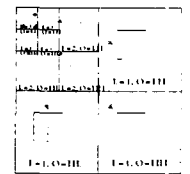
Figure 3. Overall algorithm



(a) 3rd DWT



(b) EZW



(C) Coefficient Relation

Figure 4. 공간·주파수 상관

Figure 3,4는 전체적인 algorithm과 공간·주파수 상관성을 보인다. Matlap 5.1 program에서 기본적인 matlab함수와 Wavelet, Wavelet Packets을 이용하여 각 직물의 분석,양상추출(feature extraction) 및 color과 pattern간의 상관성을 추출하였다[3][5].

3.3 Filter Design

기존의 압축기법이 주로 비교적 인간의 시각특질 민감한 Lowpass Filter를 중심으로 압축시 많은 비트를 할당하며, Highpass Filter에는 적은 양의 비트를 주는 것이 대부분이었다. 그러나, 대부분의 직물조직은 고주파 성분이 많은 것을 착안하여, 각 image signal에 부합하는 wavelet filter를 사용함으로써 압축률과 복원시 화상을 비교하였다[2][5].

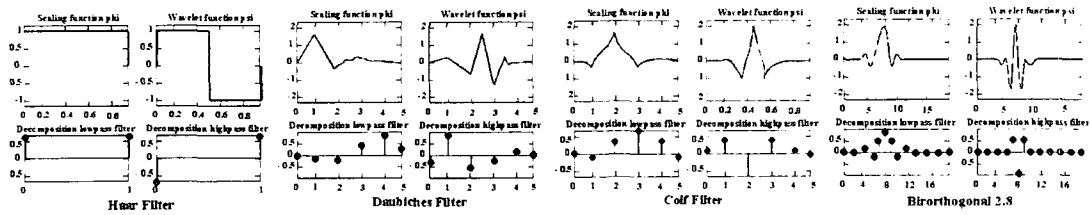


Figure 5. filters

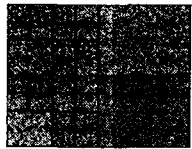
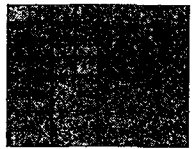
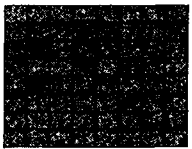
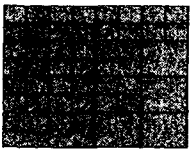
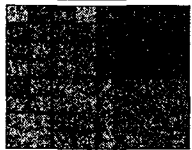
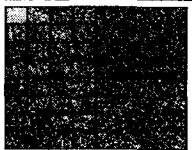
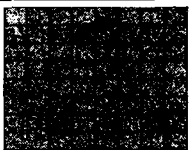
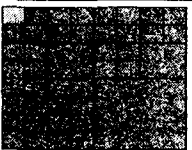
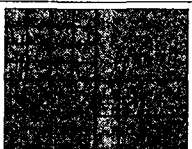
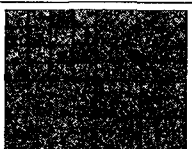
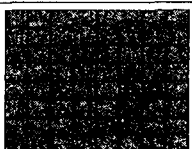
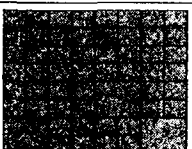
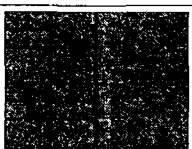

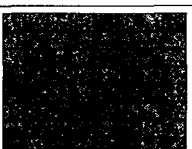
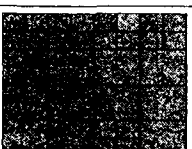
Table 1. 각 필터의 특징

Filter \ Property	Orthogonal	Linear phase	Perfect Reconstruction	Symmetry
Haar Filter	Good	Poor	Good	Good
Daubechies Filter	Good	Poor	Good	Far from
Coiflets Filter	Good	Almost good	Good	near
Biorthogonal Filter	Poor	Good	Good	Far from

3.4 성능비교

Fabrics	Filter	기존의 wavelet filter 사용			wavelet packets filter 사용 후		
		Threshold	Energy ratio	Zeros	Threshold	Energy ratio	Zeros
boucle yarn	haar	15	99.58	47.48	6.75	99.95	33.56
	db		99.17	60.54	6.67	99.90	36.61
	bior		99.22	66.49	6.69	99.89	68.65
	coif		99.19	59.90	6.59	99.90	40.54
pique	haar	15.5	99.70	50.54	7.38	99.96	37.34
	db		99.45	62.54	7.58	99.91	42.32
	bior		99.48	68.03	7.43	99.91	70.00
	coif		99.47	61.45	7.29	99.91	44.83
glen check	haar	18	99.67	42.19	10.5	99.97	24.55
	db		99.72	44.32	10.23	99.93	32.29
	bior		99.70	54.83	10.26	99.94	64.16
	coif		99.74	42.24	9.97	99.94	38.36
hound	haar	16	99.68	46.88	8.88	99.96	33.76
	db		99.54	57.88	8.48	99.91	41.30
	bior		99.55	64.97	8.35	99.92	70.13
	coif		99.56	56.75	8.37	99.91	42.61

3.5 최적 Wavelet Packets

Fabrics \ Filters	haar	db	bior	coif
boucle yarn				
pique				
glen check				
hound check				

4. 결론

본 논문에서는 wavelet과 wavelet packets을 이용하여 직물의 color energy 정보를 공간·주파수로 분석, 패턴추출 후 효율적인 압축과 복원시의 원활함을 보였다. 직물영상 부호화시 변환된 계수중 중요계수를 구분해 내는 문턱값 설정에 에너지 정렬을 사용하는 새로운 방법을 사용하였으며, 직물영상에 적합한 filter가 biorthogonal filter라는 것을 알았다. 즉, 기존의 wavelet 변환에서 사용되던 dyadic 계층구조와 달리 각 축방향을 강조한 wavelet packets이 직물영상분석에 더 효율적인 것을 알 수 있다. 이는 고주파성분이 많은 직물의 특성상, highpass filter를 유용하게 이용하기 때문이다. 이 연구의 결과로 직물영상의 database 구축시 각각의 직물 패턴에 적합한 wavelet packet과 최적 filter선택이 중요한 인자임을 확인하였다.

Reference

1. S. Mallat, *A wavelet tour of signal processing*, Courant Ins. N.Y. Univ., 1998
2. C. M. Thompson, L. Shure., *Image Processing Toolbox User's, Guide*, 1993
3. S. Mallat, *A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation*, IEEE Trans. PAMI., PAMI-11, no. 7, pp 674-693, 1989
4. G. Van de Wouwer, S. Livens, D. V. Dyck, *Color texture classification by wavelet energy correlation signatures*, 1997
5. G. Van de Wouwer, *Wavelets for multiscale texture analysis*, 1998
6. John R. Smith, *Integrated spatial and feature image system: retrieval, analysis and compression*, Ph.D., Columbia University, February, 1997.
7. John R. Smith and Shih-Fu Chang, *Automated image retrieval using color and texture*, 1995