

웨이블릿 기반의 영상 압축 및 에지 검출

정일홍[†], 김영순^{**}

요 약

본 논문에서 사용한 웨이블릿 변환의 기저 함수는 일반적인 웨이블릿 변환과 다른 리프팅 스킴을 사용하여 만들어 졌다. 리프팅 스킴은 푸리에 변환을 사용하여 기저 함수를 생성하지 않는 새로운 쌍직교 웨이블릿 기저 함수를 생성하는 방법이다. 본 논문은 리프팅 스킴을 이용한 새로운 영상 압축 및 에지 검출 방법을 제안하고 있다. 그리고 이 방법은 부분 복원과 공간 복원을 할 수 있어 데이터 가시화를 향상시킬 수 있다. 다양한 해상도에서의 근사 영상은 원래 영상으로부터 적은 정보만으로 다양한 크기의 특징을 뽑아낼 수 있고, 적은 양의 스케일링 계수를 사용하여 생성된 근사 영상은 빠르게 원래 영상의 대략적인 개요만이 필요할 때 유용하게 사용된다. 본 논문에서 제안한 영상 압축 및 에지 검출 기법은 멀티미디어 데이터베이스에서 데이터 관리와 데이터 가시화를 향상시킬 수 있는 좋은 기틀을 마련해 준다.

Image Compression and Edge Detection Based on Wavelet Transforms

Il-Hong Jung[†], Young-Soon Kim^{**}

ABSTRACT

The basis function of wavelet transform used in this paper is constructed by using lifting scheme, which is different from general wavelet transform. Lifting scheme is a new biorthogonal wavelet constructing method, that does not use Fourier transform for constructing its basis function. In this paper, an image compression and reconstruction method using the lifting scheme was proposed. And this method improves data visualization by supporting a partial reconstruction and a local reconstruction. Approximations at various resolutions allow extracting various sizes of feature from an image or signal with a small amount of original information. An approximation with small size of scaling coefficients gives a brief outline of features at fast. Image compression and edge detection techniques provide good frameworks for data management and visualization in multimedia database.

Key words: Wavelets(웨이블릿), Lifting Scheme(리프팅 스킴), Image Compression(영상 압축), Edge Detection(에지 검출)

1. 서 론

멀티미디어 기술은 요즘의 컴퓨터 세대에서는 매

우 중요한 쟁점으로 수치적이고 복잡한 데이터를 사용자가 쉽게 이해하도록 도움을 주고 있다. 그러나 영상, 비디오, 문자, 오디오 같은 멀티미디어 데이터는 일관된 길이를 가지지 않는 값의 연속이나 모임으로 제시되는 상당히 큰 데이터이다. 이러한 멀티미디어 데이터를 분석하고 저장하는 기법은 애플리케이션에 종속적이다. 멀티미디어 데이터는 스캐너, 카메라, 비디오카메라, 녹음기와 같은 장치를 통해 얻어 지는데 대부분 원형식(row format)은 아날로그로 신

※ 교신저자(Corresponding Author) : 정일홍, 주소 : 대전광역시 동구 용운동 96-3(300-716), 전화 : 042)280-2548, FAX : 042)280-2889, E-mail : ijung@dju.ac.kr
접수일 : 2004년 5월 4일, 완료일 : 2004년 7월 20일
[†] 중신회원, 대전대학교 컴퓨터공학과 조교수
^{**} 준회원, 대전대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
(E-mail : yskim@zeus.dju.ac.kr)

호 처리에 관계된 기술을 사용해서 변형, 분석되고 디지털화 될 수 있다. 신호처리 기술은 웨이브 형태(wave form)에서 데이터를 처리한다.

웨이블릿 변환은 신호를 분석하고 처리하는 방법으로 윈도우 위치를 이동하고 윈도우의 크기를 신축할 수 있는 기능을 가지고 있는데 이것은 신호의 지역성과 다해상도 분석을 가능하게 해준다[5]. 제1세대 웨이블릿은 푸리에 변환을 이용하여 웨이블릿을 생성하기 때문에 수학적 배경이 없으면 웨이블릿을 생성하기가 어렵고, 푸리에 변환의 특성상 불규칙적인 그리드에는 적용할 수 없는 문제점이 있는 반면 제2세대 웨이블릿 생성도구인 리프팅 스킴은 기저함수를 생성하는데 푸리에 변환을 사용하지 않으므로 제1세대 웨이블릿에 비해 상당한 장점을 가진다[7,8].

또한 영상으로부터 정보 발취의 기본적인 처리로 에지 검출이 있는데 에지를 찾기 위한 보편적인 방법은 없다. 본 논문에서는 리프팅 스킴을 사용해 만들어진 웨이블릿 변환을 이용한 에지 검출을 제안하고, 또한 리프팅 스킴을 사용하여 데이터 압축, 부분 복원과 공간 복원을 유지함으로써 데이터 가시화를 향상시키는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 웨이블릿 변환 및 제2세대 웨이블릿인 리프팅 스킴의 기본 개념과 이용방법에 관한 관련 연구를 설명하고 3장에서는 리프팅 스킴을 이용한 영상 압축, 복원 및 에지 검출에 관하여 서술하며 4장에서는 제안한 영상 압축 및 에지 검출의 실험 영상에 대한 비교 분석 및 성능을 검토하다. 끝으로 5장에서는 결론 및 향후의 연구 과제를 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 영상과 오디오와 같은 신호와 다양한 신호에 관계된 데이터를 분석하기 위한 수학적 도구로 공간 영역으로부터 주파수 영역까지 신호와 영상 데이터를 전환하며, 멀티스케일의 형태로 데이터를 표현한다. 웨이블릿은 일반적인 데이터들의 집합들이나 함수들을 나타내는 빌딩 블록들로 수학적으로 말하면 그들은 기저 함수(basis function)를 형성하고, 더 일반적으로 프레임을 형성한다고 할 수

있다[1-3].

2.2 리프팅 스킴

제2세대 웨이블릿이라고 불리는 리프팅 스킴은 푸리에 변환을 사용하는 제1세대 웨이블릿 변환과는 다르지만 여전히 부분적으로 수학적이고 신호적인 처리 지식을 필요로 하며 장점은 다음과 같다[7,8].

- 웨이블릿 변환의 더 빠른 구축을 가능케 한다.
- 웨이블릿 변환의 완벽한 인-플레이스(In-place)연산을 제공해 준다.
- 웨이블릿 변환의 역변환이 쉽다.
- 이해하기 쉽다.

리프팅 스킴은 쌍직교 웨이블릿을 구성하기 위한 도구로 기본 개념은 1차원 변환에서 찾아볼 수 있는데 분해의 경우 입력신호는 그림 1과 같이 웨이블릿 계수와 스케일링 계수로 나누어진다. 이것은 제1세대 웨이블릿과 유사하지만 제2세대 웨이블릿과의 차이점은 필터 뱅크 사용 방법으로 분해 단계와 복원 단계에서 필터 사용이 다르다는 것이다.

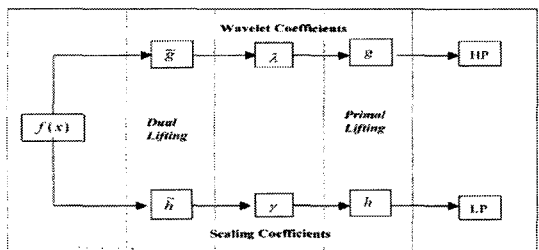


그림 1. 제2세대 웨이블릿의 분해 과정

제2세대 웨이블릿을 분해하는 단계는 그림 2에서와 같이 Split, Predict, Update로 나누어진다.

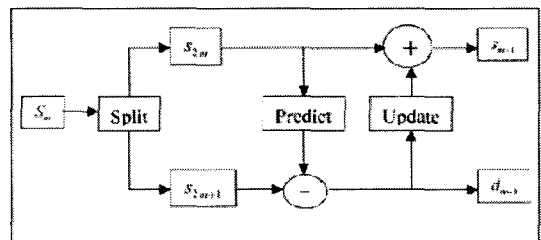


그림 2. 제2세대 웨이블릿의 정변환

Split 단계 : $(S_{2m}, S_{2m+1}) := Split(S_m)$

$$\begin{aligned} \text{Predict 단계 : } d_{m-1} &= S_{2m+1} - P(S_{2m}) \\ \text{Update 단계 : } S_{m-1} &= S_{2m} + U(d_{m-1}) \end{aligned} \quad (1)$$

복원(reconstruction) 단계는 분해 단계의 역으로 그림 3에서 보여주고 있다.

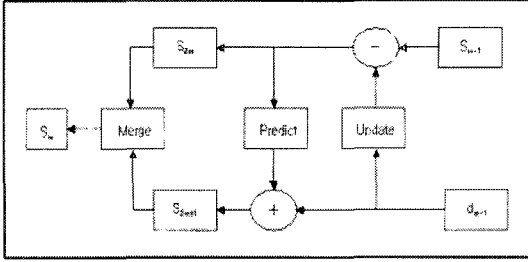


그림 3. 제2세대 웨이블릿의 역변환

역변환 과정으로는

$$\begin{aligned} S_{2m} &= S_{m-1} - U(d_{m-1}) \\ S_{2m+1} &= d_{m-1} + P(S_{2m}) \\ S_m &:= \text{Merge}(S_{2m}, S_{2m+1}) \end{aligned} \quad (2)$$

로 나타낸다.

3. 웨이블릿 기반의 영상압축 및 에지 검출

3.1 데이터 압축

리프팅 스킴의 정변환은 원래 영상을 스케일링 계수와 웨이블릿 계수로 분해하는 과정이며 역변환은 스케일링 계수와 웨이블릿 계수를 사용하여 원래 영상으로 복원하는 과정으로 Split 단계에서 원래 영상은 두 단계로 나누어 계산한다.

$$\begin{aligned} f_i^e &= \sum_{i=0}^{(n-1)/2} f_{i*2}^x \\ f_i^o &= \sum_{i=0}^{(n-1)/2} f_{i*2+1}^x \end{aligned} \quad (3)$$

- f_i^x : 원 신호, n : 신호의 크기,
- f_i^o : 샘플된 영상의 홀수,
- f_i^e : 샘플된 영상의 짝수

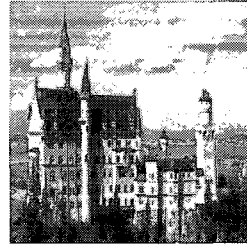
Predict 단계는 영상의 짝수 부분에 적용되며 원래의 리프팅 필터들의 집합이 계산된다.

$$p_i = \sum f_i^e - (f_{i-1}^o + f_i^o)/2 \quad (4)$$

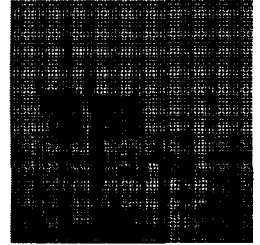
p_i 는 이웃한 신호에 의해 계산되고 Update 단계에서 먼저 사용된다. Update 단계에서는 식(4)의 p_i 를 사용해서 처리된다.

$$u_i = f_i^o + 1/4(p_{i-1}, p_i) \quad (5)$$

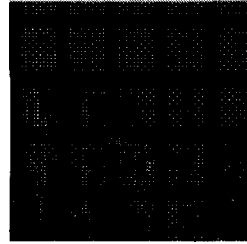
그림 4에서 원래 영상은 257×257 이고 1단계로 분해하면 원 영상은 129×129 의 1개의 스케일링 계수와 128×128 의 3개의 웨이블릿 계수로 나누어진다. 여기서 웨이블릿 계수는 점과 같은 형상으로 나타나며 어두운 형태로 표현된다.



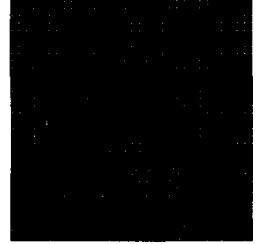
(a) 원영상(257×257)



(b) 1단계로 분해된 영상



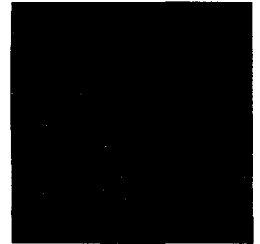
(c) 2단계로 분해된 영상



(d) 3단계로 분해된 영상



(e) 4단계로 분해된 영상



(f) 5단계로 분해된 영상

그림 4. 영상 분해 단계

3.2 영상 복원

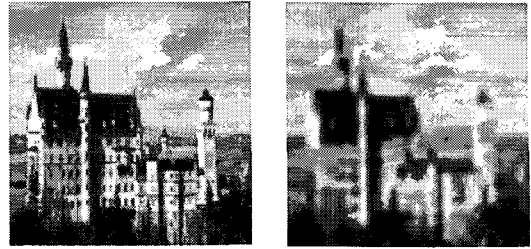
근사 영상을 생성하는 방법의 종류는 상수 근사

방법, 선형 근사 방법, 평균 근사 방법이 있으며 상수 근사 방법은 웨이블릿 계수 위치에 '0'을 채우고 영상 복원 처리를 사용함으로써 근사 영상을 생성하고 알고리즘은 5단계로 나누어 처리한다.

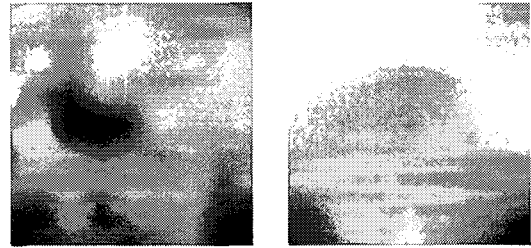
- 단계1: 대상 영상의 스케일링 계수를 찾는다.
- 단계2: 수직이나 수평으로 이웃한 픽셀 사이의 공간을 나눈다.
- 단계3: 픽셀 왼쪽의 반은 왼쪽 스케일링 계수의 값을 가지게 되고, 픽셀의 오른쪽 반은 오른쪽 스케일링 계수의 값을 가진다.
- 단계4: 하나의 수평선을 끝낸 후에 스케일링 계수 각 라인을 위해 단계1부터 3을 반복한다.
- 단계5: 수평이나 수직선을 끝낸 후 모든 수직이나 수평선에 단계1부터 3을 반복한다.

선형 근사 방법은 2개의 이웃한 스케일링 계수들 사이에 삽입하며 이 경우 선형 보간은 이웃한 픽셀로 스케일링 계수의 색상을 분류한다. 상수 근사 방법으로 생성된 영상보다 더 부드러운 영상을 만들며 알고리즘은 선형 Tensor product에 의해 처리된다.

평균 근사 방법은 지역 경계에 있는 스케일링 평균을 가지고 채우게 된다. 이것은 단 한 개의 스케일



(a) 단계 1 (b) 단계 3

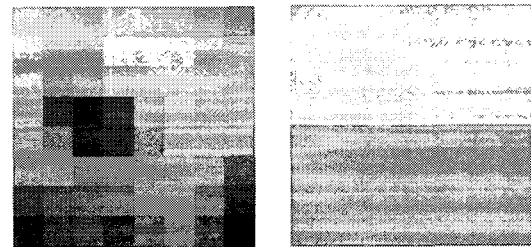


(c) 단계 5 (d) 단계 7

그림 6. 선형 근사 방법에 의한 영상

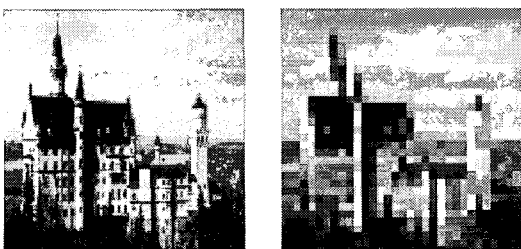


(a) 단계 1 (b) 단계 3

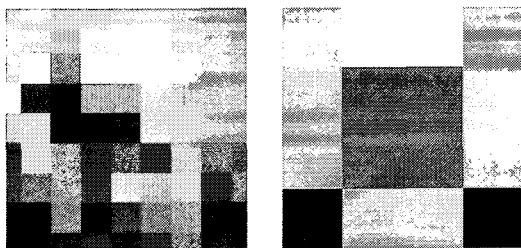


(c) 단계 5 (d) 단계 7

그림 7. 평균 근사에 의한 영상



(a) 단계 1 (b) 단계 3



(c) 단계 5 (d) 단계 7

그림 5. 상수 근사 방법에 의한 영상

링 계수 대신에 스케일링 계수의 평균을 가지고 영역을 채우는 것을 제외하고는 상수 근사 방법과 유사하며 알고리즘은 상수 근사 방법과 같다.

영상의 부분 복원은 영상의 모든 부분이 아니라 영상의 대략적인 개요만이 필요할 경우 유용하게 사

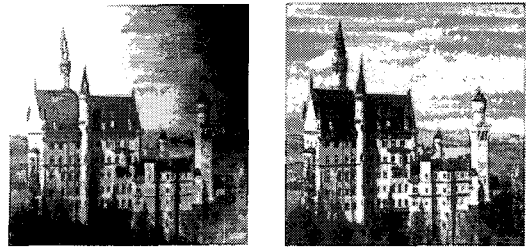
용된다. 영상을 완전히 분해한 후 원래 영상을 반영하는 영상을 복원하기 위해서 웨이블릿 계수의 일부 분만이 사용된다. 따라서 100% 웨이블릿 계수를 사용하면 복원된 영상은 원래 영상과 같다. 그림 8은 본 논문에서 사용한 부분 복원을 위한 알고리즘이고, 그림 9는 영상의 부분 복원을 나타내고 있다.

그림 10에서는 영상의 공간 복원을 보여주고 있으며, 영상의 공간 복원은 사용자가 영상을 확대, 축소하거나 특별히 관심 있는 부분만 복원할 경우 상당히 유용하게 사용된다. 공간 복원은 사용자가 원하는 지역에 위치한 웨이블릿 계수를 사용한다.

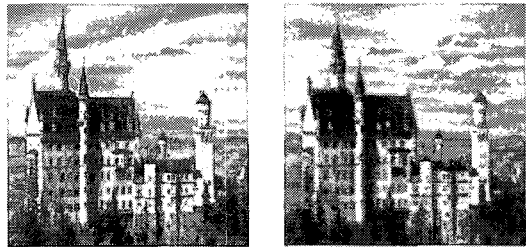
3.3 웨이블릿 변환을 이용한 에지 검출

웨이블릿 계수는 하이 패스 필터된 출력과 유사하여 에지 검출은 임계값 기법 같은 영상처리 기술을 웨이블릿 계수에 적용함으로써 행해질 수 있다[9]. 2차원 영상의 경우 수평적, 수직적, 대각선 웨이블릿 계수가 있다. 리프팅 스킴을 사용함으로써 구성된 웨이블릿은 이런 3가지 웨이블릿에 특별한 속성을 부여한다. 수평적 웨이블릿 계수는 수직적 에지들을 검출하고, 수직적 웨이블릿 계수는 수평적 에지들을 검출한다. 그리고 대각선 웨이블릿 계수는 대각선 에지를 검출한다. 그러나 많은 노이즈(noise)들 때문에 3개의 웨이블릿 계수를 모두 사용할 수 없다.

이 논문에서 사용된 웨이블릿 계수는 일반적인 에



(a) 20%적용된 부분 복원 (d) 90%적용된 부분 복원



(c) 75%적용된 부분 복원 (b) 40%적용된 부분 복원

그림 9. 부분 복원된 영상

지 검출 필터와 몇 개의 다른 특성을 가진다. 일반적인 에지 검출 필터의 에지 값은 2개의 이웃한 픽셀들의 차이이다. 그러나 이 논문에서 사용된 웨이블릿 계수는 이웃한 2개의 픽셀의 평균과 하나의 픽셀 값은 다르다는 것이다. 따라서 웨이블릿 계수의 값이 0이라면 3개의 픽셀들 사이에 차이점이 없거나 3개의 픽셀의 기울기가 일직선상에 있다. 웨이블릿 계수

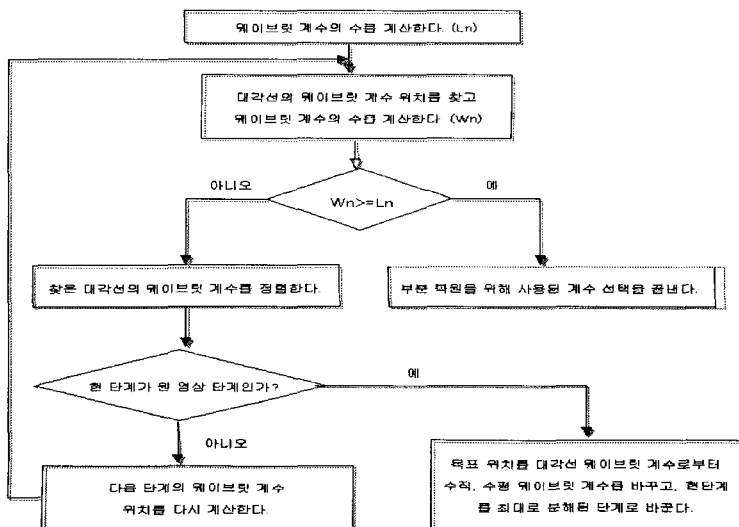
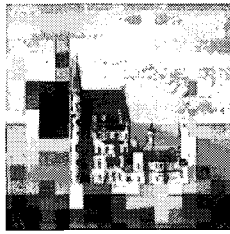
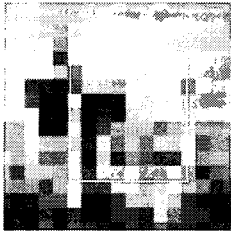


그림 8. 부분 복원을 위한 웨이블릿 계수 선택 알고리즘



(a) 상수 근사 방법을 사용한 영상의 공간 복원



(b) 선형 근사 방법을 사용한 영상의 공간 복원

그림 10. 영상의 공간 복원

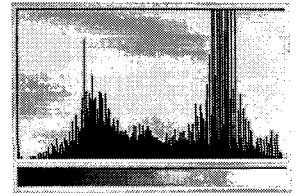
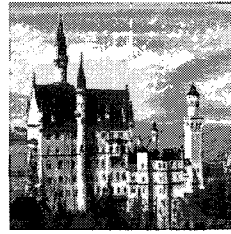
의 값이 0이 아니라면 에지가 존재할 가능성은 높다. 에지는 웨이블릿 계수의 위치에서 발생되어진다. 만약 에지가 스케일링 계수 위치에 발생된다면 이 에지는 정확한 위치가 아닐 것이다. 그러나 마지막 분해 레벨에서의 스케일 계수이라면 정확한 에지 위치이다.

웨이블릿 계수에 임계값을 주는 여러 가지 방법이 있는데 이 논문에서는 임계값의 상위 값과 하위 값 모두 사용한다. 또한 유사값을 사용하여 에지를 검출할 것이다. 이웃한 2개의 픽셀 값의 차이가 유사값보다 작다면 2개의 픽셀은 같은 영역으로 간주한다. 현재 레벨에서 만들어진 웨이블릿 계수를 사용하여 에지를 검출한다면 검출된 에지는 거친 경계선을 이룰 것이다. 그러나 전체 웨이블릿 계수를 사용한다면 보다 영상의 명시된 세부적인 에지들을 검출할 수 있다.

4. 비교분석 및 성능평가

그림 11의 실험 영상 데이터 히스토그램의 통계적인 특성은 중위수 181, 평균 150.98, 표준편차 58.1인 'PALACE' 실험 영상이다.

그림 5, 그림 6, 그림 7의 근사 영상을 위해 사용된 픽셀의 수는 표 1로 정의된다.



(a) 원 영상

(b) 원 영상에 대한 히스토그램

그림 11. 실험 영상과 히스토그램

표 1. 스케일링 계수의 비교수

단계	영상 크기	픽셀의 수
원래 영상	257×257	66049
1	129×129	16641
2	65×65	4225
3	33×33	1089
4	17×17	289
5	9×9	81
6	5×5	25
7	3×3	9
8	2×2	4
9	1×1	1

표 2. 근사 방법에 따른 히스토그램 비교

단계	평균	표준편차	중위수
상수 근사 방법			
1	150.1	58.54	179
3	149.97	58.25	177
5	153.25	48.84	160
7	172.48	58.79	201
선형 근사 방법			
1	150.13	56.72	176
3	150.39	52.59	171
5	153.12	42	161
7	173.51	33.73	173
평균 근사 방법			
1	150.53	56.3	176
3	150.46	50.99	165
5	152.43	40.54	157
7	181.16	24.29	159

표 2와 그림 12, 13은 근사 영상이 원래 영상의 히스토그램을 보존하려고 하는 것을 보여준다. 물론,

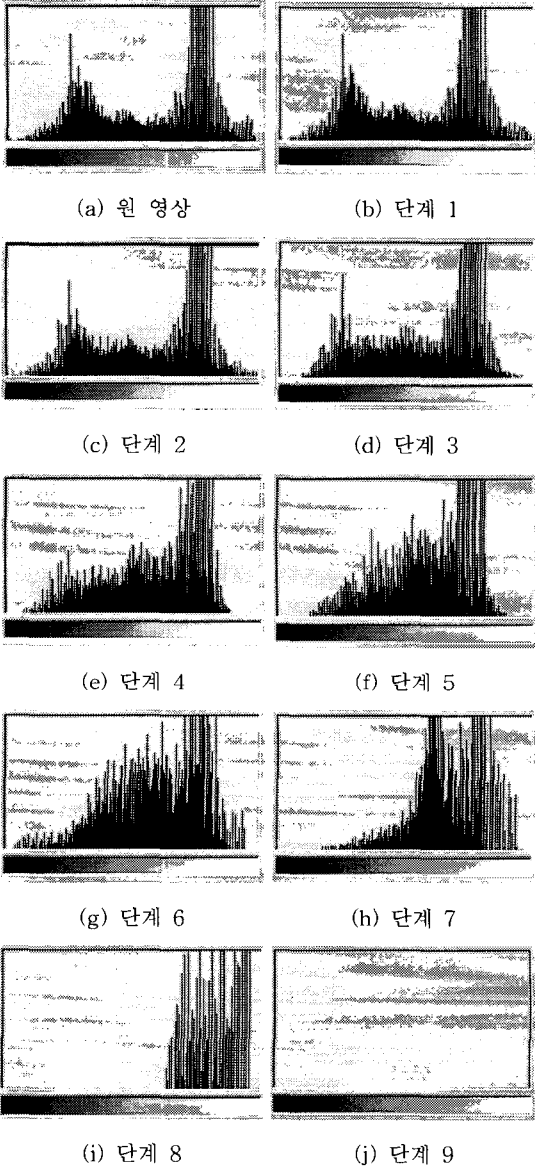
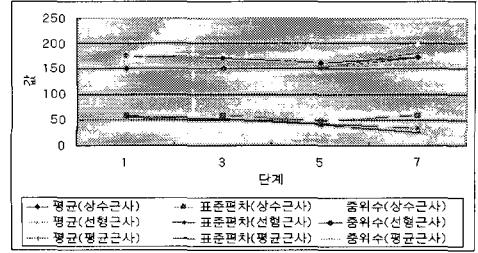


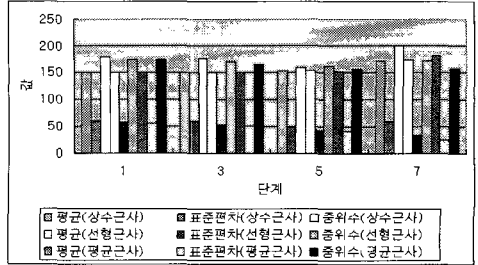
그림 12. 스케일링 계수의 단계별 히스토그램

더 적은 웨이블릿 계수를 사용하면 더 많은 에러를 가지지만 통계적인 측정치는 근사 영상이 원래 영상의 질이 낮은 형태로 사용 될 수 있음을 보여주고 있다.

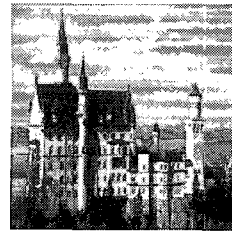
그림 14의 (b), (c)는 1,2차 미분에 의한 연산자 처리에 의한 에지 검출 영상이고 (d), (e), (f)는 웨이블릿 계수를 사용한 에지 검출 영상이다. (b)는 돌출된 값을 평균화하지 못하거나 수평과 수직 에지에 대해 민감한 반응을 보여주고 (c)는 에지보다 가는 선이나



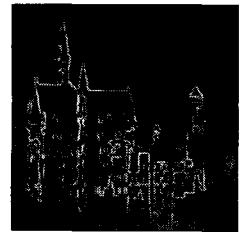
(a) 선 그래프에 의한 히스토그램 비교



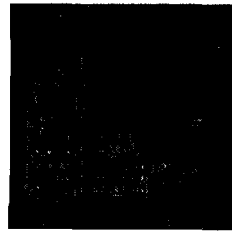
(b) 막대 그래프에 의한 히스토그램 비교
그림 13. 근사 방법에 따른 히스토그램 비교 그래프



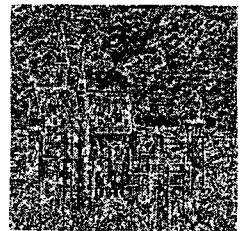
(a) 원 영상



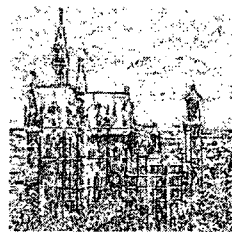
(b) Prewitt 에지 검출



(c) Laplacian 에지 검출



(d) highpass 에지 검출



(e) 임계값 에지검출



(f) 유사값 에지검출

그림 14. 1,2차 미분 및 리프팅 스킵에 의한 에지 검출 영상 비교

고립점에 강하게 반응하고 에지의 방향을 알 수 없음을 보여준다. 웨이블릿 계수를 이용한 에지 검출 영상은 임계값의 상위 값과 하위 값, 유사값에 의한 에지를 검출한 것으로 영상에 명시된 세부적인 것을 표현하고 있다.

5. 결 론

부분 복원과 공간 복원을 위한 새로운 알고리즘은 빠른 부분 복원과 원래의 영상에 대해 좋은 근사치를 제공한다. 새로운 알고리즘을 사용하여 압축된 영상에 대한 근사치는 하드웨어의 자원과 시간을 절약하는 영상 정보 검색 시스템과 영상 데이터베이스를 위해 사용되어 질 수 있다. 또한 웨이블릿 변환을 이용한 에지 검출 기법이 제안되었는데 이것은 기존의 돌출된 값을 평균화하지 못하거나 수평과 수직 및 대각선 방향에 위치한 에지에 대한 민감한 반응을 보여주는 에지 검출 연산자들의 문제점을 해결하였다.

향후 연구 과제로는 낮은 단계에서의 원래 영상에 대한 더 나은 근사치를 제공하기 위해서 더 높은 차수의 웨이블릿의 생성과 에지 검출을 위한 임계값을 선택하는 더 좋은 기법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] C.K. Chui, *An Introduction to Wavelets*, Academic Press, San Diego, 1992.
 [2] A. Cohen, I. Daubechies, and J. Feauveau, "Bi-orthogonal bases of compactly supported wavelets," *Comm. Pure Appl. Math.*, Vol. 45, pp. 485-560, 1992.
 [3] Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets," *CBMS-NSF Series in Applied Mathematics*, Vol. 61, SIAM, Philadelphia, PA, 1992.
 [4] I. Daubechies, "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets II: Variation on a Theme," *SIAM J. Math. Anal.*, Vol. 24, No. 2, pp. 499-51, 1993.
 [5] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet repre-

sentation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.*, Vol. 11, No. 7, pp. 674-69, 1989.

[6] G.M. Nielson, I.-J. Jung, and J. Sung, "Haar Wavelets over Triangular Domains with Application to Multiresolution Models for Flow over a Sphere," *Proc. Visualization '97, IEEE Computer Society*, pp. 143-14, 1997.
 [7] W. Sweldens, "The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets," *Technical Report 1994:7, Industrial Mathematics Initiative, Department of Mathematics, University of South Carolina*, 1994.
 [8] W. Sweldens, "The lifting scheme: A construction of second generation wavelets," *Technical Report 1995:6, Industrial Mathematics Initiative, Department of Mathematics, University of South Carolina*, 1995.
 [9] D. J. Herbert and HyungJun Kim, "A Fast Compass Edge Detector," *SPIE*, Vol. 2825, pp 432-441, 1995.



정 일 홍

1986년 2월 성균관대학교 산업공학과 졸업(공학사)
 1993년 12월 Arizona State University 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 1998년 5월 Arizona State University 컴퓨터공학

과 졸업(공학박사)

1998년 5월~1998년 8월 Arizona State University Research Faculty

1998년 9월~현재 대전대학교 컴퓨터공학과 조교수
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, 영상처리, 애니메이션, 디지털 콘텐츠



김 영 순

2001년 2월 한국방송통신대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2003년 2월 대전대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2004년 3월~현재 대전대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, 영상처리, 가상 현실