

호모모프변환과 다중 스케일 분해를 이용한 영상향상

안상호[†], 김기홍^{‡‡}, 김영춘^{††††}, 권기룡^{†††††}, 서용수^{††††††}

요 약

본 논문에서는 호모모프변환과 다중 스케일 분해를 이용하여 영상의 생동폭과 명암대비를 모두 개선시킬 수 있는 영상향상기법을 제안한다. 원 영상은 로그를 취하여 호모모프영역으로 변환하고, 이를 다중 스케일로 분해한 후 각 대역에 가중치를 가해 조합한다. 이 조합된 신호는 지수를 취하여 밝기영역으로 변환한다. 호모모프영역에서 저주파대역의 크기조절은 생동폭을 변환시키고, 고주파대역의 크기조절은 명암대비의 향상에 기여한다. 다중 스케일 분해는 계산이 간단하고 효율적인 구조를 가진 “À trous” 알고리듬을 사용하며, 이의 타당성은 시뮬레이션을 통해서 확인한다.

Image Enhancement Using Homomorphic Transformation and Multiscale Decomposition

Sang-Ho Ahn[†], Ki-Hong Kim^{‡‡}, Young-Choon Kim^{†††},
Ki-Ryong Kwon^{†††††}, Yong-Su Seo^{††††††}

ABSTRACT

An image enhancement method using both homomorphic transformation and multiscale decomposition is proposed. The original image is first transformed to homomorphic domain by taking the logarithm, is then separated to multiscales. These multiscales are combined with weighting. The combined signal is exponentially transformed back into intensity domain. In homomorphic domain, the magnitude control of low frequency component make change the dynamic range, and the magnitude control of the other frequency components contribute to enhancement of the contrast. The “À trous” algorithm, which has a simple and efficient scheme, is used for multiscale decomposition. The performance of proposed method is verified by simulation.

Key words: Image Enhancement(영상향상), Contrast(명암대비), Dynamic Range(생동폭), Multiscale Decomposition(다중스케일분해), Homomorphic Transformation(호모모프변환), À Trous Algorithm(À trous알고리듬)

1. 서 론

영상향상(image enhancement)은 영상의 재생 또는 분석을 용이하게 하기 위해 영상의 특성을 강조하-

는 방법으로 의료진단 및 위성관측 등의 영상에 널리 응용되고 있다. 영상향상기법에 대한 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔고, 히스토그램등화(histogram equalization)방법이 가장 보편적으로 사용되고 있

* 교신 저자(Corresponding Author): 안상호, 주소: 경남 김해시 어방동 607번지(621-749), 전화: 055)320-3192, FAX: 005)333-3261, E-mail: elecash@inje.ac.kr

접수일: 2003년 12월 23일, 완료일: 2004년 2월 3일

[†] 정회원, 인제대학교 전자정보통신공학부 부교수

^{**} 정회원, 국방과학연구소 연구원

(E-mail: sonofkim@add.re.kr)

^{***} 정회원, 영동대학교 정보통신공학부 조교수

(E-mail: yckim@youngdong.ac.kr)

^{****} 종신회원, 부산외국어대학교 디지털정보공학부 교수
(E-mail: krkwon@taejo.pufts.ac.kr)

^{*****} 동서대학교 정보시스템공학부 부교수

(E-mail: seoyong@dongseo.ac.kr)

* 본 연구는 과학 기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행되었음.

다[1-3]. 그러나 히스토그램변환은 전체 영상에 대한 히스토그램을 먼저 구하여야 하므로 동영상의 실시간 처리에는 부적합하다. 따라서 실시간 처리를 가능하게 하기 위해 영상의 국부적 통계 성질에 따라 영상을 향상시키는 적응 히스토그램등화(adaptive histogram equalization)방법이 개발되었다[4-7].

최근 다중 스케일분해(multiscale decomposition)를 이용하여 명암대비(contrast)를 향상시키는 방법들이 연구되어 왔다[8-10]. 이 방법들은 원 영상을 다중 스케일로 분해하고, 분해된 대역 중 고주파성분의 스케일대역에 가중치를 크게 주어 영상의 윤곽을 강조시킨다. 다중 스케일분해는 웨이브렛변환방식 또는 라플라시안 피라미드방식을 주로 사용하였으나[10-13], 최근에 계산이 간단하고 실시간 처리에 효율적인 구조를 가진 A Trou 알고리듬이 소개되었다[13-15].

영상향상을 위해서는 영상의 생동폭정합(dynamic range matching)이 이루어져야 하고 명암대비도 향상되어야 한다. 그러나 이상의 방법들은 생동폭정합은 이루어지지 않아 특히 어두운 부분의 영상에서 물체를 인식하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 이를 모두 향상시킬 수 있는 방법이 호모모프필터(Homomorphic filter)방식이다[16-18]. 호모모프필터방식은 영상이 반사계수와 조명의 곱으로 모델링되므로 이들을 분리하기 위해 로그(logarithm)를 취하여 고주파성분인 반사계수를 조정하고, 저주파성분인 영상의 생동폭변환상수를 조정한 후 지수(exponential)를 취한다. 이 방식은 고주파성분인 반사계수의 조정으로 명암대비를 향상시킬 수 있고, 저주파성분인 생동폭변환상수의 조정으로 생동폭을 변환시킬 수 있다. 또한 호모모프필터방식은 실시간처리를 위한 하드웨어구현이 가능하다는 이점을 가지고 있다[17,18].

본 논문에서는 생동폭과 명암대비를 동시에 향상시키기 위해 호모모프필터와 다중 스케일분해를 이용한 영상향상기법을 제안하였다. 다중 스케일분해는 계산이 간단하고 동영상의 실시간 처리에 효율적인 구조를 가진 A Trou 알고리듬을 사용하였다. 제안방식은 영상의 밝기에 관계없이 전체 밝기에서 명암대비가 향상되는 특징을 가지고 있기 때문에 인간의 시각으로 인식이 어려운 어두운 부분에 대한 명암대비향상에 효과적이다. 제안방식의 타당성을 확인

하기 위해 A Trou 알고리듬을 사용한 다중스케일방식(MS방식)과 호모모프필터를 사용한 방식(HOM방식) 및 제안방식(HMS방식)으로 위성영상, 의료영상 및 일반영상에 대해 시뮬레이션을 하였고, 객관적 평가를 위해 밝기에 따른 평균명암대비를 조사하였다. 그 결과 제안방식이 생동폭변환 뿐만 아니라 명암대비에서도 효과적인 영상향상 성능을 가졌다. 제안방식은 동영상의 실시간 처리가 가능한 구조를 가졌기 때문에 하드웨어로 구현되면 사용자가 외부의 가중상수를 변화시켜 실시간으로 관측이 용이한 다양한 영상으로 변환시킬 수 있다.

2. 영상의 모델링 및 정의

인간의 시각은 태양 또는 조명으로부터 물체에 반사된 빛 또는 발광체의 직접적인 빛이 눈에 인가되어 사물을 인식한다. 또한 가시파장의 카메라도 인간의 시각과 동일하게 카메라에 인가된 빛으로부터 영상을 획득하게 된다.

가시파장의 카메라로부터 획득한 영상은 물질의 반사성분(reflectance component)과 조명성분(illumination component)의 곱으로 모델링된다[1-3]. 따라서 획득한 영상의 화소밝기 $x(i, j)$ 는

$$x(i, j) = r(i, j) \cdot l(i, j) \quad (1)$$

로 표현될 수 있으며, 여기서 $r(i, j)$ 는 화소의 반사율(reflectance)이고 $l(i, j)$ 는 조명도(illumination)이다. 반사율이 높은 물체에 강한 조명이 조사되면 카메라에 많은 빛이 인가되고, 반사율이 낮은 물체에 약한 조명이 조사되면 더욱 약한 빛이 반사되어 카메라에 인가된다. 반사율은 물체의 재질 및 형태에 따라 달라지므로 고주파성분을 가지고, 조명도는 태양 또는 조명과 같은 광원의 밝기이므로 저주파성분을 가진다고 일반화할 수 있다. 이와 같은 모델링은 X-선 영상에서도 적용될 수 있다. 즉, $l(i, j)$ 는 필름에 입사되는 X-선의 에너지의 강도로, $r(i, j)$ 는 물체에 투과된 X-선 에너지의 흡수에 따른 변화로 모델링될 수 있다[19].

영상 x 에서 가장 밝은 영역의 밝기와 가장 어두운 영역의 밝기를 각각 X_{\max} 및 X_{\min} 이라 할 때 생동폭 D_x 는

$$D_x = X_{\max} / X_{\min} \quad (2)$$

로 정의된다.

카메라로부터 획득한 영상과 영상을 재현할 모니터의 생동폭이 서로 정합(matching)이 되어야 좋은 영상으로 재현될 수 있다. CRT모니터의 생동폭은 일반적으로 16 혹은 32이다. 그러나 영상의 생동폭은 그 종류에 따라 큰 차이가 난다. 즉, 일반 스튜디오의 균일 조명에서의 장면(scene)은 생동폭이 20정도이지만 야외의 강한 햇빛에 의한 장면은 생동폭이 2000 정도나 된다[16]. 생동폭이 매우 큰 영상을 생동폭이 작은 모니터로 그대로 재현할 경우 어두운 영역의 영상은 시각으로 인식할 수가 없게 된다.

생동폭정합을 위한 입력영상 x 와 출력영상 y 의 전달관계는

$$y = kx^d \quad (3)$$

이고, 여기서 d 는 생동폭변환상수이고, k 는 크기를 조정하기 위한 상수로써

$$k = Y_{\max} / (X_{\max})^d \quad (4)$$

이다. 생동폭변환상수 d 가 1보다 적은 경우는 생동폭을 축소하는 것으로써 일반적인 영상에 사용되며, 1보다 큰 경우는 생동폭을 확장하는 것으로써 역광(back-lighting)이 있는 영상에 주로 사용된다. 생동폭변환 함수인 식 (3)을 구현하기 위한 단계는 그림 1과 같다.

화소 $x(i, j)$ 의 명암대비 $C_x(i, j)$ 는

$$C_x(i, j) = \frac{|ld_x(i, j)|}{lm_x(i, j)} \quad (5)$$

로 정의된다. 여기서 $lm_x(i, j)$ 는 i 행 및 j 열의 화소 주변영역의 평균밝기이고, 주로 창(window)을 이용하여 이에 포함된 화소들을 평균한다. $ld_x(i, j)$ 는

$$ld_x(i, j) = x(i, j) - lm_x(i, j) \quad (6)$$

이다.

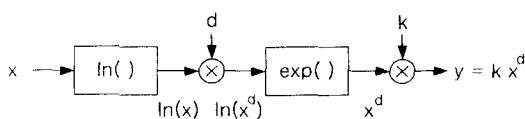


그림 1. 생동폭 변환 과정

3. 호모모프 필터

영상향상을 위해서는 생동폭과 명암대비가 모두

개선되어야 한다. 호모모프필터는 이를 동시에 제어할 수 있고, 특히 어두운 영역의 미세 명암대비를 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이의 대표적인 구성도는 그림 2와 같다.

입력영상 $x(i, j)$ 는 식 (1)과 같이 모델화되고 이를 로그(logarithm) 취하면

$$\ln[x(i, j)] = \ln[l(i, j)] + \ln[r(i, j)] \quad (7)$$

이 된다. 조명성분인 $\ln[l(i, j)]$ 은 저주파성분이므로 저역통과필터(LPF)에 의해 분리되고, 반사성분인 $\ln[r(i, j)]$ 은 고주파성분이므로 고역통과필터(HPF)에 의해 분리될 수 있다. 저주파성분인 $\ln[l(i, j)]$ 는 영상의 DC성분과 대부분의 에너지가 포함되어 있기 때문에 생동폭변환상수 d 에 의해 생동폭이 변환된다. 생동폭 변환은 식 (3)과 그림 2에서와 같은 과정으로 이루어진다. 그리고 고주파성분은 명암대비 조정상수 c 에 의해 명암대비가 조정된다.

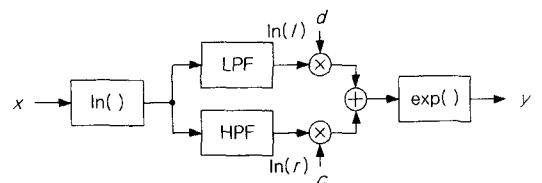


그림 2. 호모모프필터의 구성도

4. 다중 스케일 분해(multiscale decomposition)

신호를 여러 스케일 또는 해상도(resolution)로 분해하면 이를 다양한 신호처리, 압축 및 분석이 이루어질 수 있기 때문에 이에 대한 많은 연구가 있어왔다[8-13]. 대표적인 다중 스케일 분해 방식으로는 FWT(fast wavelet transform) 및 라플라시안 파라미드 방식이 있으며, 계산량이 적은 A Trous 알고리듬을 이용한 방식이 있다. 이를 각각에 대한 방식은 다음과 같다.

4.1 웨이브렛 분해

신호를 주파수대역으로 분해하면 신호를 분석 및 처리 등에 많은 이점이 있다. 주파수대역으로의 분할을 위해 일반적인 저역통과, 대역통과 및 고역통과필터를 사용할 수 있으나, 원 신호로 재구성이 되지 않는

단점이 있다. 그러나 웨이브렛변환을 사용한 주파수 대역분할은 원 신호로 복구가 가능하다. 그리고 웨이브렛변환은 퓨리에변환과 달리 특정 위치의 주파수성분을 제공하기 때문에 영상압축, 영상신호처리, 패턴인식 및 영상융합 등에 널리 응용되고 있다. 웨이브렛을 이용한 신호의 분해 및 합성과정은 그림 3과 같다.

1차원 신호 $x_n(i)$ 을 저주파성분 $x_{n-1}(i)$ 및 고주파성분 $w_{n-1}(i)$ 으로의 분해는

$$\begin{aligned} x_{n+1}(i) &= \hat{\psi}_n[x_n(i)] = (h_n * x_n)(2i) \\ &= \sum_{q=-\infty}^{\infty} h(q)x(2i-q) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} w_{n+1}(i) &= \hat{\omega}_n[x_n(i)] = (g_n * x_n)(2i) \\ &= \sum_{q=-\infty}^{\infty} g(q)x(2i-q) \end{aligned} \quad (9)$$

과 같이 x_n 을 저역통과필터 h_n 및 고역통과필터 g_n 으로 각각 상승적분(convolution)하고 이를 저울 표본화(down-sampling)한다. 또한 합성은

$$x_n(i) = (\tilde{h}_n * \bar{x}_{n+1})(i) + (\tilde{g}_n * \bar{w}_{n+1})(i) \quad (10)$$

이며, x_{n+1} 및 w_{n+1} 신호를 각각 표본 늘림(up-sampling)한 \bar{x}_{n+1} 및 \bar{w}_{n+1} 신호와 합성필터 \tilde{h}_n 및 \tilde{g}_n 을 각각 상승적분한 결과를 합한다. 이상과 같이 신호의 분해와 합성과정이 저울 표본화 및 표본 늘림이 요구되고, 단계별로 4번의 상승적분이 필요하므로 연산이 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

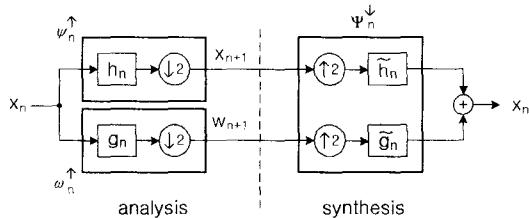


그림 3. 웨이브렛 변환에 의한 신호의 분해 및 합성

4.2 피라미드 분해

피라미드 분해에 의한 신호의 분해 및 합성과정은 그림 4와 같다. 신호 x_n 의 분해단계는

$$\begin{cases} x_{n+1} = \hat{\psi}_n(x_n) \\ w_{n+1} = x_n - \hat{\psi}_n(x_{n+1}) \end{cases} \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

이고, 합성단계는

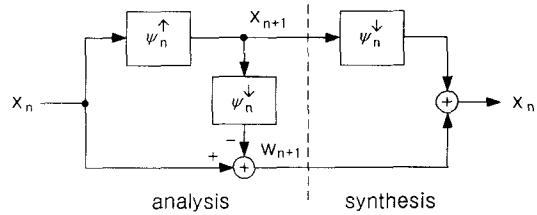


그림 4. 피라미드 변환에 의한 신호의 분해 및 합성

$$x_n = \hat{\psi}_n(x_{n+1}) + w_{n+1}, \quad n = N-1, N-2, \dots, 0 \quad (12)$$

이다. 여기서 $\hat{\psi}_n$ 은 식 (8)과 같이 저역통과필터 h 와의 상승적분과 저울 표본화를 나타내고, $\hat{\omega}_n$ 은 표본 늘림을 나타낸다. 저역통과필터 h 가 가우시안필터일 때 저주파성분 열(sequence) $\{x_n\}$, $n=1, 2, \dots, N$ 은 가우시안 피라미드(Gaussian pyramid)로, 고주파성분 열 $\{w_n\}$, $n=1, 2, \dots, N$ 은 라플라시안 피라미드(Laplacian pyramid)라 불린다.

피라미드변환에 의한 신호의 분해는 웨이브렛변환에 의한 방식보다 간단하다는 것을 알 수 있다. 1단계의 스케일 분해 및 합성과정에서는 1번의 상승적분만이 사용된다. 그러나 저울 표본화 및 표본 늘림 처리과정이 요구된다.

4.3 À Trous 알고리듬을 이용한 신호의 다중 스케일 분해

피라미드변환을 이용한 신호의 분해단계에서는 저울 표본화를 하고 이를 합성하기 위해서는 다시 표본 늘림을 하여야 한다. 이와 같은 저울 표본화 및 표본 늘림을 사용하지 않고 신호를 고속으로 다중 스케일로 분해하기 위해 À Trous 알고리듬을 사용 할 수 있다[13-15]. 이 알고리듬은 저울 표본화 및 표본 늘림을 사용하지 않기 위해 저역통과필터계수와 신호를 비월 상승적분(interlaced convolution)한다.

1차원 입력신호 $x(i)$ 에 대한 저역통과필터 $h_n(l)$ 에 의해 스케일 n 에 따라 단계별로 저역통과필터를 거친 신호는

$$x_n(i) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} h_n(l) x_{n-1}(i+2^{n-1}l), \quad n=1, 2, \dots, N \quad (13)$$

이다. 일반적인 상승적분과 달리 스케일 n 이 증가함에 따라 필터계수의 위치에 대해 신호의 위치가 2배

씩 건너뛰어 비월 상승적분이 된다. 두 연속 해상도 신호의 차이가

$$w_n(i) = x_{n-1}(i) - x_n(i), \quad n=1, 2, \dots, N \quad (14)$$

일 때, 원 입력신호 $x(i) = x_0(i)$ 는

$$x_0(i) = x_N(i) + \sum_{n=1}^N w_n(i) \quad (15)$$

로 재구성될 수 있다. 여기서 $x_N(i)$ 는 최종 저역통과 필터 처리된 신호이다. 이상의 1차원 신호에 대한 식들은 2차원 영상신호로 쉽게 확장될 수 있다.

그림 5는 신호를 2단계로 스케일 분해 및 합성과정을 나타낸 것으로 합성과정은 단순한 합으로만 이루어지고 단계별 1번씩의 상승적분만이 요구되므로 피라미드변환 방식보다 처리가 간단하다는 것을 알 수 있다.

A Trous 알고리듬은 고주파성분을 구하는 과정에서 고주파통과필터를 사용하지 않고 랜섬을 사용한다는 점에서는 피라미드방식과 유사하다. 그러나 영상처리에 있어서 피라미드변환은 스케일변환 후 영상의 총 화소수가 1/2씩 감소하지만 A Trous 알고리듬은 스케일변환을 하여도 총 화소수는 변하지 않는다. 신호에 대해서 저울 표본화를 하지 않고 필터에 대해 표본 둘림을 사용하기 때문에, 이 점에서는 Dyadic Spline 웨이브렛변환과 유사하다.

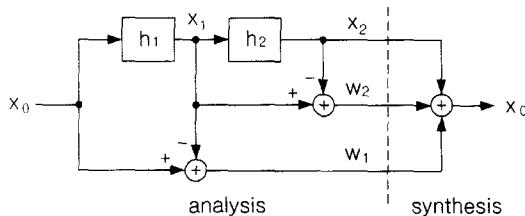


그림 5. A Trous 알고리듬을 이용한 신호의 분해 및 합성 ($N=2$)

5. 제안한 영상향상방식

5.1 A Trous 알고리듬을 사용한 다중 스케일분해에 의한 명암대비향상

영상의 명암대비향상을 위해서는 이상에서 소개한 다중 스케일변환으로 대역을 분해한 후 고주파 내역의 크기를 강조함으로써 명암대비를 향상시킬 수 있다. 특히 A Trous 알고리듬을 사용한 다중 스케

일분해는 연산이 간단하고, 고주파성분 w_1, w_2, \dots, w_N 은 다중 스케일 에지성분이므로 이들을 강조하면 된다. A Trous 알고리듬을 사용한 명암대비향상방식의 구성도는 그림 6과 같으며 $N=2$ 일 경우이다.

영상향상을 위한 출력영상은

$$y(i, j) = x_N(i, j) + \sum_{n=1}^N c_n \cdot w_n(i, j) \quad (16)$$

으로 둘 수 있다. 여기서 c_n 은 n 번째 스케일 에지성분에 대한 가중인자(weighting factor)이다. 가중인자를 1보다 크게 할수록 명암대비가 향상된다. 다중 스케일 분해 성분 w 의 크기가 작은 영역은 작은 에지성분이므로 이를 강조하면 잡음성분도 강조되고, 큰 영역은 큰 에지성분이므로 이를 강조하면 지나친 에지 강조가 발생하기 때문에 이의 보완이 요구된다. 따라서 w 에 따라 가중치를 달리하는 비선형 가중함수를 사용하기도 한다[12].

그림 6의 2차 스케일분해에서 저역통과필터 h_l 의 5×5 마스크 B_3 큐빅-스프라인(cubic spline) 스케일링함수는

$$\frac{1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 6 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

로 둘 수 있고[13], h_l 의 계수는 h_l 와 동일하지만 계수간에 0이 삽입(zero padding)된 9×9 마스크를 사용한다. 이로써 비월 상승적분이 이루어져 영상을 저울 표본화하지 않고 다중 스케일로 분해한다. h_1 및 h_2 의 계수는 일종의 가우시안 필터계수이므로 원 영상 x_0 와 h_l 을 통과한 영상 x_l 과의 차이 영상 w_l 은 라플라시안 에지영상이 된다. 동일하게 w_2 는 스케일 2의 라플라시안 에지영상을 가진다.

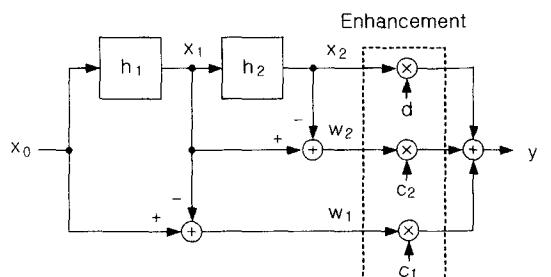


그림 6. A Trous 알고리듬을 사용한 명암대비향상방식의 구성도

5.2 호모모프변환과 다중 스케일 분해를 이용한 영상 향상

영상향상을 위해서는 영상의 생동폭정합이 이루어져야 하며, 명암대비도 향상되어야 한다. 명암대비를 향상시키기 위해 다중 스케일분해를 이용하여 명암대비를 향상시키는 방법들이 연구되어 왔다. 그러나 이들 방법들은 생동폭정합은 이루어지지 않아 특히 어두운 부분의 영상에서 물체를 인식하기 어려운 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 생동폭과 명암대비를 동시에 향상시키기 위해 호모모프변환과 다중 스케일분해를 이용한 영상향상기법을 제안한다. 다중 스케일분해는 계산이 간단한 A Trous 알고리듬을 사용하며, 스케일분해 단계 $N=2$ 인 구성도는 그림 7과 같다.

영상의 생동폭은 식(3)과 그림 2에서와 같이 조절될 수 있고 그림 7에서는 상수 d 로 조정될 수 있다. 저역통과성분인 x' 는 DC성분과 영상의 대부분 에너지가 집중되어 있기 때문에 생동폭조정이 가능하다. 그리고 영상의 애지성분인 w' 및 w'_2 는 가중인자 c_1 및 c_2 를 조정하여 명암대비를 향상시킨다. 일반적으로 $d \leq 1$ 이고, $c \geq 1$ 인 상수를 사용한다.

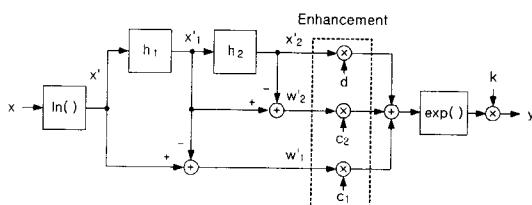


그림 7. 호모모프변환과 다중 스케일분해를 이용한 영상향상 ($N=2$)

6. 실험 및 고찰

본 제안방식의 타당성을 확인하기 위해 여러 영상에 대한 시뮬레이션을 하였다. 성능의 비교를 위해 A Trous 알고리듬을 사용한 다중 스케일분해에 의한 방식(MS방식), 호모모프필터방식(HOM방식) 및 호모모프필터와 다중 스케일분해를 결합한 방식(HMS방식)에 대해 시뮬레이션을 하였으며, 영상은 위성영상, 의료영상 및 일반영상을 사용하였다. 위성영상은 부산지역 대역 7의 LANDSAT영상(512×400), 의료영상은 뇌의 MR영상(400×400) 그리고 일반영상은 BOAT영상(512×512)을 선정하여 실험하

였다.

시뮬레이션에서는 다중 스케일분해 차수는 2차 즉, $N=2$ 로 수행하였고, 명암대비향상을 위한 가중상수 c_1 및 c_2 는 MS방식 및 HMS방식에 동일값을 사용하였다. HOM방식 및 HMS방식에서는 생동폭 조정상수 d 를 조절하여 생동폭을 변환시켰다. 식(3)에서와 같이 d 가 1에 가까울수록 생동폭 변환이 적고, 0에 가까울수록 생동폭변환이 크다. 그러나 HOM방식은 다중 스케일분해를 사용하지 않기 때문에 가중상수 c_1 만을 사용한다. 따라서 HMS방식에서 $c_2=0$ 으로 두면 HOM방식으로 볼 수 있다. LANDSAT영상 및 MR영상에서는 어두운 영역을 밝게 부각시키기 위해 d 를 0.6 및 0.5로 두었고, 일반영상인 BOAT영상에는 d 를 0.7로 두었다. 명암대비 및 생동폭조정 상수 값에 따라 출력의 크기가 변하므로 지나치게 크면 포화되는 것을 방지하기 위해 상수 k 로 크기를 조절한다.

이들 원 영상과 MS방식, HOM방식 및 HMS방식의 결과 영상들은 각각 그림 8, 그림 9 및 그림 10과 같다. 그림 8의 LANDSAT 원 영상은 생동폭이 좁고 밝기가 어둡게 분포되어 있다. 따라서 MS방식의 결과영상은 명암대비가 향상되었지만 생동폭이 조절되지 않았기 때문에 어두운 밝기분포를 그대로 가진다. 그러나 HOM 및 HMS방식은 생동폭도 조절되므로 영상의 밝기분포가 고르게 개선되었으며, 특히 어두운 밝기 영역인 산이 있는 지역에서 명암대비가 크게 향상되었음을 알 수 있다. HOM방식은 1단계의 스케일에 대한 명암대비만 향상되었으므로 미세한 애지성분이 강조된다. 미세한 애지성분의 지나친 강조는 잡음성분도 강조시킬 수 있기 때문에 강조에 제한성을 가진다. HMS방식은 1단계 및 2단계의 스케일에 대한 명암대비를 향상시키기 때문에 미세한 애지성분 뿐만 아니라 큰 애지성분도 중첩되어 강조된다.

그림 9의 MR영상과 그림 10의 BOAT영상은 그림 8의 LANDSAT영상에 비해 밝기분포가 균일하고 명암대조도 비교적 양호한 영상이지만 3가지 방식에 의해 LANDSAT영상과 같이 명암대비가 향상되었음을 알 수 있다. HOM 및 HMS방식에 의해 처리된 MR영상은 코 및 목 부분 그리고 BOAT영상은 배의 바닥부분이 밝기가 향상되어 식별이 용이해졌음을 확인할 수 있다.

제안방식에 대한 객관적 평가를 위해 영상의 밝기

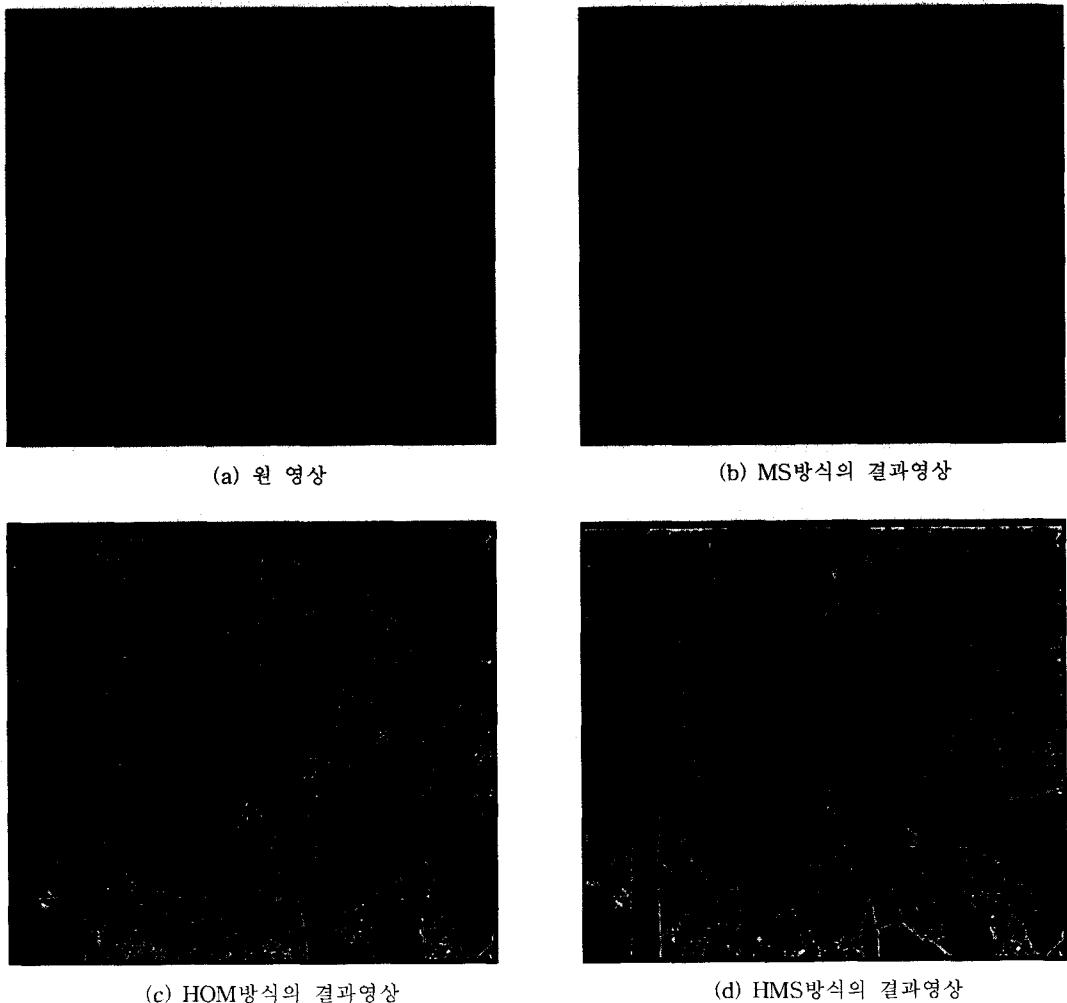


그림 8. LANDSAT영상에 대한 (a) 원 영상, (b) MS방식의 결과영상($c_1 = 3.0, c_2 = 1.5$), (c) HOM방식의 결과영상($d = 0.6, c_1 = 3.0, c_2 = 0.0, k = 1.0$) 및 (d) HMS방식의 결과영상($d = 0.6, c_1 = 3.0, c_2 = 1.5, k = 0.9$)

에 따른 평균명암대비를 구하였다. 5×5 의 창을 사용하여 식 (5) 및 식 (6)과 같이 각 화소 $x(i, j)$ 를 중심으로 국부평균 $lm_x(i, j)$ 과 국부편차 $ld_x(i, j)$ 를 구하여 명암대비 $C_x(i, j)$ 를 전체 영상에 대해 모두 구한다. 국부평균을 정수화한 정수값 L 은

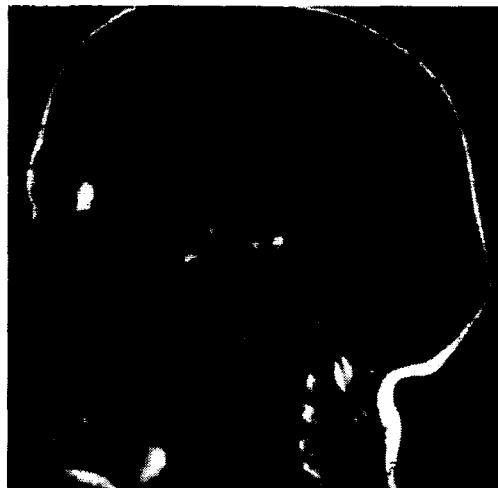
$$L = Int(lm_x(i, j)), \quad 0 \leq L \leq 255 \quad (18)$$

이다. 수식에서 Int 표기는 정수화를 뜻하며, 8비트의 영상일 경우 0에서 255까지의 정수값이 된다. 동일한 L 에 속하는 명암대비들의 평균은

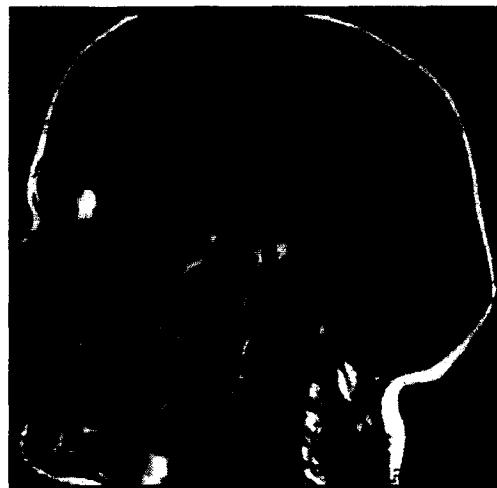
$$F(L) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M C_m(L) \quad (19)$$

이다. 여기서 $C_m(L)$ 은 국부평균의 정수값 L 에 속하는 m 번째의 명암대비이고, M 은 L 에 포함된 명암대비들의 총 개수이다.

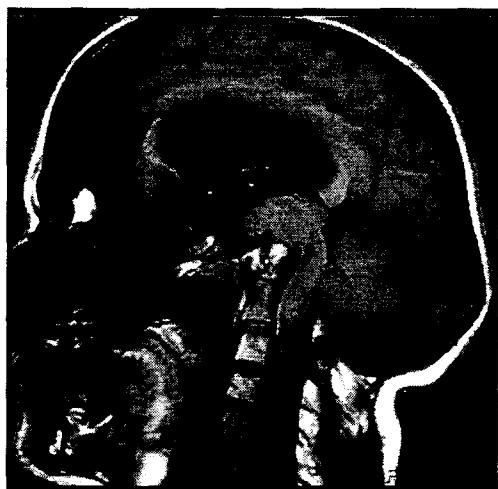
그림 11은 3종류 영상에 대한 밝기 L 에 대한 평균명암대비 $F(L)$ 을 조사한 결과이다. 인간이 영상식별을 쉽게 하기 위해서는 영상의 밝기에 관계없이 명암대비가 모두 커야만 한다. LANDSAT 위성영상은 전체적으로 어두운 분포를 가지고 있기 때문에 평균명암대비는 어두운 부분에 모여 있음을 볼 수 있다. MS방식은 원 영상에 비해 명암대비는 향상되었으나 밝기의 분포는 큰 변화가 없다. 그러나 HOM방식 및 HMS방식의 결과는 명암대비는 서로 유사하게 향상



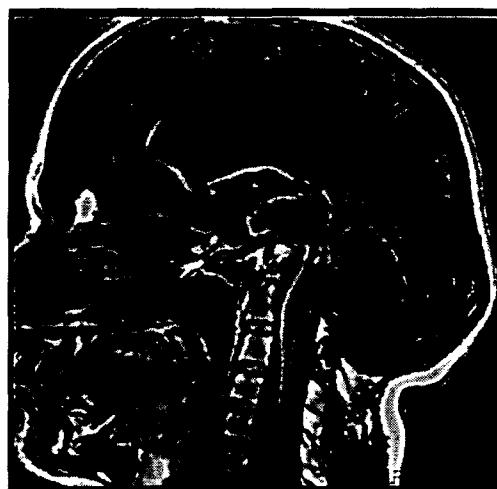
(a) 원 영상



(b) MS방식의 결과영상



(c) HOM방식의 결과영상



(d) HMS방식의 결과영상

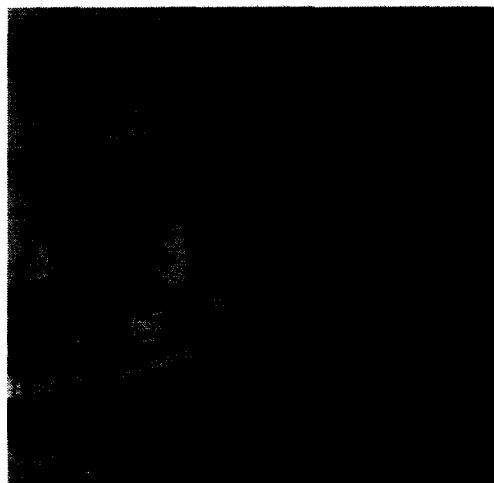
그림 9. MR영상에 대한 (a) 원 영상, (b) MS방식의 결과영상($c_1 = 3.0, c_2 = 3.0$), (c) HOM방식의 결과영상($d = 0.5, c_1 = 3.0, c_2 = 0.0, k = 0.7$) 및 (d) HMS방식의 결과영상($d = 0.5, c_1 = 3.0, c_2 = 3.0, k = 0.5$)

되었고, 생동폭변환도 이루어졌기 때문에 밝은 영역 까지 골고루 영상이 향상되었음을 알 수 있다. HOM 방식은 가중상수 c_1 만을 사용하여 미세한 에지성분 만이 강조되었으나, HMS방식은 c_1 및 c_2 를 모두 사용하였으므로 미세 에지성분 뿐만 아니라 큰 에지성 분도 중첩하여 강조되므로 명암대비가 더욱 향상되었다.

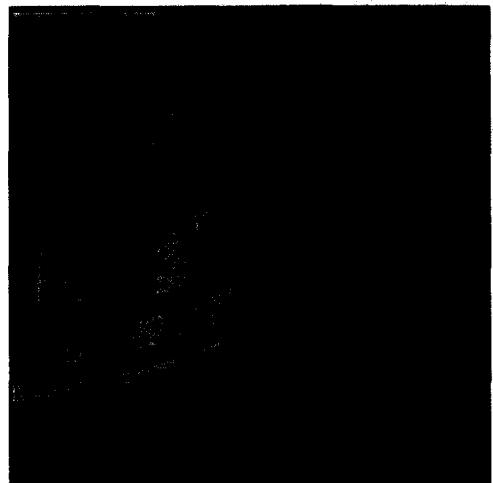
MR영상 및 BOAT영상은 비교적 영상밝기분포가 균일하고 명암대비도 양호한 영상이므로 LANDSAT 영상의 경우와 같은 큰 영상향상은 나타나지 않았지

만 LANDSAT의 결과와 유사한 결과를 가졌다. 각 방식이 원 영상에 비해 명암대비가 증가하였고, 명암 대비의 밝기분포는 HOM방식 및 HMS방식이 MS방식의 것에 비해 우측 즉, 밝은 쪽으로 이동했다는 것을 알 수 있다. 그림에서 명암대비의 크기는 0.5로 제한하여 나타내었다.

또한 영상전체의 평균 명암대비를 비교한 것을 표 1에 나타내었다. 이는 밝기분포와 관계없이 전체영상에 대한 명암대비의 평균을 한 것이다. 표에서 나타난 바와 같이 원 영상에 비해 모두 평균적으로 명



(a) 원 영상



(b) MS방식의 결과영상



(c) HOM방식의 결과영상



(d) HMS방식의 결과영상

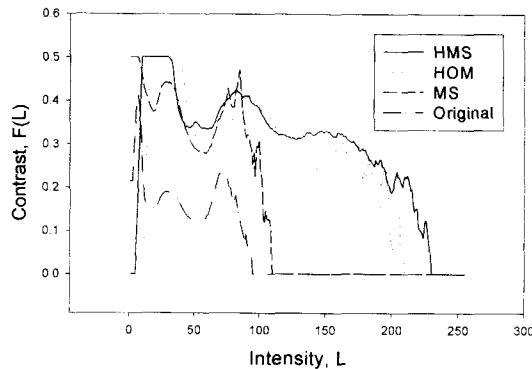
그림 10. BOAT영상에 대한 (a) 원 영상, (b) MS방식의 결과영상($c_1=2.0, c_2=2.0$), (c) HOM방식의 결과영상($d=0.7, c_1=2.0, c_2=0.0, k=1.0$) 및 (d) HMS방식의 결과영상($d=0.7, c_1=2.0, c_2=2.0, k=0.9$)

암대비가 정량적으로 증가하였다”는 것을 알 수 있다. MS방식과 HMS방식은 동일 가중상수를 사용하였기 때문에 서로 유사한 결과를 가지지만 LANDSAT 영상의 MS방식에서는 밝은 영역의 영상이 거의 없기 때문에 HMS방식보다 적게 나타났다. HOM방식은 1차 다중스케일 가중상수만을 사용하였기 때문에 MS방식 및 HMS방식보다 적게 나타났다.

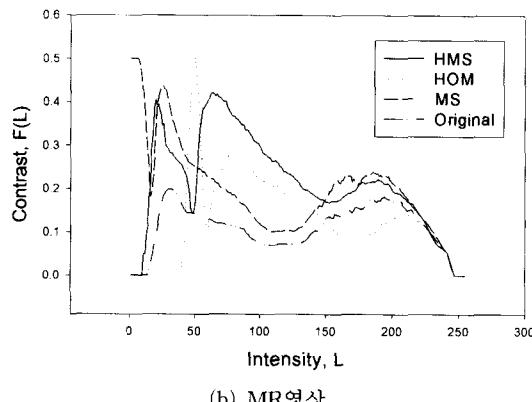
이상의 결과에서 알 수 있듯이 제안방식인 HMS 방식이 MS방식에 비해 명암대비의 평균이 유사하거나 증가할 뿐만 아니라 생동폭변환으로 인해 밝기에

대해 명암대비가 균등하여지는 특성을 가진다. 그리고 HMS방식은 HOM방식과 동일한 생동폭변환을 가지지만 다중스케일변환 가중상수를 사용하여 미세한 애지와 큰 애지를 모두 강조시킴으로써 명암대비를 HOM방식보다 더욱 향상시킴을 확인할 수 있다.

일반적인 영상은 이를 획득하기 위해 획득하고자 하는 사람의 의도가 포함되지만, 위성영상과 MR영상 또는 X선영상 등의 의료영상은 획득자의 의지와 관계없이 획득되기 때문에 얻고자하는 정보를 잘 인식시키기 위해서는 영상향상처리가 요구된다. 따라



(a) LANDSAT 영상



(b) MR 영상

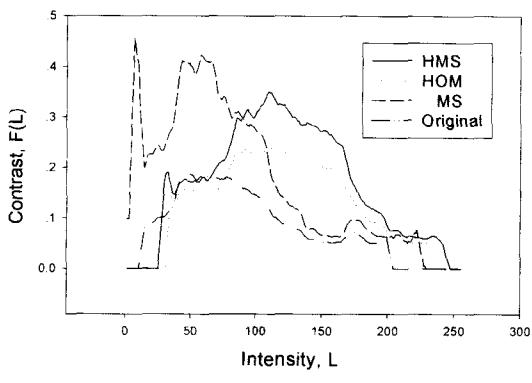


그림 11. 영상 밝기에 대한 명암대비의 비교

서 이와 같은 경우에는 본 방식이 효과적으로 이용될 수 있을 것이라 판단된다.

또한 호모모프필터는 실시간처리로 구현할 수 있는 구조를 가지고 있고[17,18] 본 논문에서 사용한 다중 스케일분해 방식인 A Trous 알고리듬도 연산이 매우 간단하기 때문에 전체적으로 실시간처리를

표 1. 각 방식들에 의한 결과영상의 평균 명암대비

Image Method	LANDSAT	MR	BOAT
Original	0.063	0.112	0.082
MS	0.150	0.217	0.176
HOM	0.245	0.135	0.129
HMS	0.285	0.221	0.170

위한 하드웨어 구현이 가능하다. 실시간 처리용 하드웨어가 구현되면 동영상에 대한 영상향상이 가능하게 되고 외부단자에서 생동폭조정상수 d 와 명암대비 가중상수 c_1 및 c_2 를 조정함으로써 입력 동영상의 생동폭변환 및 명암대비를 실시간으로 조정할 수가 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 생동폭과 명암대비를 동시에 향상시키기 위해 호모모프필터와 다중 스케일분해를 이용한 영상향상기법을 제안하였다. 다중 스케일분해는 계산이 간단하고 실시간 처리에 효율적인 구조를 가진 A Trous 알고리듬을 사용하였다. 이의 타당성을 조사하기 위해 위상영상인 부산지역의 LANDSAT 영상, 의료영상인 MR영상 및 일반영상인 BOAT영상에 대해 시뮬레이션을 하였고, 객관적 평가를 위해 밝기에 따른 평균명암대비를 조사하였다. 그 결과 HMS방식이 MS방식에 비해 평균적인 명암대비가 유사하거나 증가할 뿐만 아니라 생동폭변환으로 인해 밝기에 대해 명암대비가 균등하여지는 특성을 가졌다. 그리고 HMS방식은 HOM방식과 동일한 생동폭변환을 가지지만 다중스케일변환 가중상수를 사용하여 미세한 애지와 큰 애지를 모두 강조시킴으로써 명암대비를 HOM방식보다 더욱 향상시킬 수 확인 할 수 있었다. 또한 제안방식은 동영상의 실시간 처리가 가능한 구조를 가졌기 때문에 하드웨어로 구현되면 사용자가 외부의 가중상수들을 조정시켜 실시간으로 관측이 용이한 다양한 영상으로 변환시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital image processing*, Prentice-Hall, 2002.
- [2] A.K. Jain, *Fundamentals of digital image*

- processing*, Prentice-Hall, 1989.
- [3] J.S. Lim, *Two-dimensional signal and image processing*, Prentice-Hall, 1990.
- [4] S.M. Pizer, J.B. Zimmerman, and E. Staab, "Adaptive histogram equalization and its variations," *Computer Vision, Graphics, and Image processing*, Vol. 8, No. 1, pp. 300-305, 1984.
- [5] J.B. Zimmerman, S.M. Pizer, E.V. Staab, J.R. Perry, W. Mccartney, and B.C. Brenton, "An evaluation of the effectiveness of adaptive histogram equalization for contrast enhancement," *IEEE Trans. on Medical imaging*, Vol. 7, No. 4, pp. 304-312, 1988.
- [6] J.A. Stark and W.J. Fitzgerald, "An alternative algorithm for adaptive histogram equalization," *Graphical modelings and image processing*, Vol. 58, No. 2, pp. 180-185, 1996.
- [7] T.K. Kim, J.K. Paik, and B.S. Kang, "Contrast enhancement system using spatially adaptive histogram equalization with temporal filtering," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 1, pp. 82-87, 1998.
- [8] G. Boccignone, "A multiscale contrast enhancement method," *Proc. ICIP-97*, Vol. 1, pp. 26-29, 1997.
- [9] G. Boccignone, "Multiscale contrast enhancement of medical images," *Proc. ICASSP-97*, Vol. 4, pp. 21-24, 1997.
- [10] S. Dippel, M. Stahl, R. Wiemker, and T. Blaffert, "Multiscale contrast enhancement for radiographies: Laplacian pyramid versus fast wavelet transform," *IEEE Trans. on Medical imaging*, Vol. 21, No. 4, pp. 343-353, 2002.
- [11] C.S. Burrus, R.A. Gopinath, and H. Guo, *Introduction to wavelet and wavelet transforms*, Prentice-Hall, 1998.
- [12] W. Qian and L.P. Clarke, "Adaptive multiscale nonlinear filtering and wavelet for medical image enhancement," *Proc. ICIP-94*, Vol. 3, pp. 711-715, 1994.
- [13] J. Nunez, X. Otazu, O. Fors, A. Prades, V. Pala, and R. Arbiol, "Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition," *IEEE Trans. on Geoscience and remote sensing*, Vol. 37, No. 3, pp. 1204-1211, 1999.
- [14] M.J. Shensa, "The discrete wavelet transform: wedding the A trous and mallat algorithms," *IEEE Trans. on signal processing*, Vol. 40, No. 10, pp. 2464-2482, 1992.
- [15] S. Mallat, *A Wavelet tour of signal processing*, Academic Press, 1998.
- [16] De Vris, "Automatic adaptive, brightness independent contrast enhancement," *Signal processing*, Vol. 21, No. 2, pp. 169-182, 1990.
- [17] H.J. Kaufman and M.A. Sid-Ahmed, "Hardware realization of a 2-D IIR semisystolic filter with application to real-time homomorphic filtering," *IEEE Trans. on Circuits and systems for video technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 2-14, 1993.
- [18] 안상호, 권기룡, 송규익, 김덕규, 이건일, "실시간 2차원 디지털 호모모프필터의 하드웨어구현," 대한전자공학회, 제31권, 제4호, pp. 123-128, 1994.

안 상 호



1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 1993년 3월 ~ 현재 인제대학교 전자정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 영상공학, 실시간 영상처리, 스테레오비전



1989년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 3월 ~ 현재 국방과학연구소 연구원
 관심분야 : 영상처리, 열영상처리

김 기 흥

관심분야 : 영상처리, 열영상처리

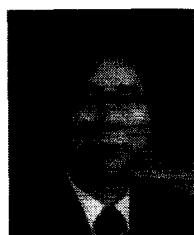


김 영 춘

1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1998년 3월 ~ 현재 영동대학교 정

보통신공학부 조교수

관심분야 : 영상처리, 영상통신



서 용 수

1975년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1982년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1994년 3월 ~ 현재 동서대학교 정

보시스템공학부 부교수.

관심 분야 : 영상처리, 패턴인식, Remote Sensing 등임.



권 기룡

1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1990년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1994년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2000년 7월 ~ 2001년 8월 Univ.

of Minnesota, Post-Doc. 과정

1996년 3월 ~ 현재 부산외국어대학교 디지털정보공학부 교수

2002년 ~ 현재 한국멀티미디어학회 총무이사
관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 멀티미디어 통신, 웨이브릿 변환