

# 국부 통계 특성을 이용한 적응 MAP 방식의 고해상도 영상 복원 방식

준회원 김 경 호\*, 준회원 송 원 선\*, 정회원 홍 민 철\*\*

## Adaptive MAP High-Resolution Image Reconstruction Algorithm Using Local Statistics

Kyung-Ho Kim\*, Wonseon Song\* Associate Member, Min-Cheol Hong\*\* Regular Member

요 약

본 논문에서는 국부 통계 특성을 이용한 적응 MAP 방식의 고해상도 영상 복원 알고리즘에 대해 제안한다. 고해상도 원 영상의 윤곽선을 보존하기 위해 저해상도 영상의 국부 특성을 이용하여 시각함수를 정의하였고, MAP(Maximum A Posteriori) 추정 방식을 이용하여 국부적인 열화 정도(smoothness)를 조절하였다. 또한 가중치가 부여된 함수를 이용하여 원 고해상도 영상에 가능한 가까운 최적의 해를 찾기 위하여 반복기법을 사용하였으며, 열화 요소는 매 반복 단계마다 부분적으로 복원된 고해상도 영상으로부터 이용하였다. 제안된 방식의 성능을 실험 결과를 통해 확인할 수 있었다.

**Key Words** : High-resolution, MAP, Local statistic, Visibility function, Iterative technique

ABSTRACT

In this paper, we propose an adaptive MAP (Maximum A Posteriori) high-resolution image reconstruction algorithm using local statistics. In order to preserve the edge information of an original high-resolution image, a visibility function defined by local statistics of the low-resolution image is incorporated into MAP estimation process, so that the local smoothness is adaptively controlled. The weighted non-quadratic convex functional is defined to obtain the optimal solution that is as close as possible to the original high-resolution image. An iterative algorithm is utilized for obtaining the solution, and the smoothing parameter is updated at each iteration step from the partially reconstructed high-resolution image is required. Experimental results demonstrate the capability of the proposed algorithm.

### I. 서 론

고해상도 영상 복원은 영상 분석, 영상 크기의 변환, 동영상 확대 등의 분야에서 중요한 분야이다. 예를 들어, 위성으로부터 지구의 날씨를 나타내거나

기상 예보는 날씨 예측을 위해 작은 부분의 지도를 세부적으로 크게 확대해야 한다. 고해상도 복원은 저해상도의 X-ray로부터 변이를 찾는 의료 영상, HDTV에서 차원 변환, 멀티미디어 영상, 동영상 프린팅에 적용할 수 있다.

\* 본 연구는 2단계 BK21 사업(차세대 이동통신 산학공동 협력팀) 및 서울시 미래형콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었음.

\* LG전자(hoya\_kim@lge.com)

\*\* 숭실대학교 정보통신전자공학부(won@vipl.ssu.ac.kr, mhong@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-04-182, 접수일자 : 2006년 4월 21일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 15일

고해상도 영상을 획득하기 위한 방식은 (1) 보간 기법과 (2) enhancement 기법으로 분류할 수 있다. 영상 확대는 지난 몇 년간 넓은 의미에서 연구 되어 왔다. 간단한 방법으로는 선형(bilinear) 보간 기법, zero-order hold 보간 기법, 그리고 스플라인(spline) 보간 방법이 있다. zero-order hold 보간 확대 방법은 영상의 블록화 현상으로 인해 시각적인 불편함을 초래한다. 반면에 선형 보간 방법과 스플라인 보간 기법은 원 영상이 열화 되어 나타나게 된다. 예지를 강조하고 혼성 국부 예지를 통합하는 다른 접근방식들은 국부 예지 방향의 통계 성과 저해상도 영상을 최적의 연속 공간으로 나타내었다.

고해상도 복원과 확대는 역변환 문제의 불량 조건(ill-posed problem)을 갖는다. 그러므로 저해상도로부터 처리된 고해상도 영상은 무한 집합의 임의의 해를 의미하므로 하나의 유일하고 안정적인 해를 관측된 데이터로부터 얻기 위하여 불량 조건을 양호 조건(well-posed problem)으로 만들어야 한다. 따라서 정규화 방법을 이용하여 주어진 불량조건의 해를 양호조건으로 대체하여 구하는 방식들이 제안되었다.

또한, 동영상 해상도를 개선 시키기 위하여 많은 기법들이 연구되어 왔다. 참고문헌<sup>[7]</sup>에서, POCS(projection onto convex set) 방식이 영상의 화질을 개선시키기 위하여 사용되었다. 또한 Nakazawa는 영상 분할을 이용한 방식을 제안하여 영상 시퀀스들의 해상도를 개선하였다<sup>[8]</sup>. 참고문헌 [9]에서 전체 최소자승(TLS) 기법은 조건부 형태를 더 정확하게 얻어 움직임 추정과 보상이 저해상도 동영상으로부터 해상도를 더 유용하게 개선시켰다<sup>[12-15]</sup>. 그러나 현재 영상과 참조 영상 사이의 움직임 예측 오류는 고해상도 동영상을 얻기 위해 적응적으로 조절할 수 없고 매우 비효율적인 비용을 가져오게 되었다.

MAP 추정방식은 영상 복원과 고해상도 복원에서 널리 쓰이는 방법이다<sup>[11]</sup>. 그러나 국부 통계 특성이 개선 과정에서 반영되지 않아 복원된 영상에서 예지 정보의 과도한 열화(smoothing) 현상이 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 MAP 추정 과정에 국부 정보를 이용하여 국부 열화의 정도를 조절하도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 MAP 추정 방식의 배경에 대해 간략히 설명하고, 3절에서는 제안한 적응적인 MAP 방식의 확대 알고리즘에 대해 설명한다. 시각 함수를 이용하여 가중치가 있는 비 2차 포물선 함수를 제안한다. 또한 4

절에서는 제안된 방식의 실험 결과를 기술하고 5절에서는 결론을 내고 끝을 맺는다.

## II. MAP 추정 방식

$z$ 와  $y$ 는 원 고해상도 영상과 대응되는  $q$ 의 승수에 의한 저해상도 영상이다. 이때, 두 영상 사이의 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$y(i,j) = \frac{1}{q} \sum_{k=qi}^{q(i+1)-1} \sum_{l=qj}^{q(j+1)-1} z(k,l) \quad (1)$$

식 (1)에서  $(i,j)$ 와  $(k,l)$ 은 고해상도 영상의 화소 위치와 저해상도 영상의 화소 위치를 나타낸다.

원 고해상도 영상이 노이즈에 영향을 받아 손상되었을 때,  $N_1 \times N_2$  크기의 저해상도 영상과  $qN_1 \times qN_2$  크기의 고해상도 영상 사이의 관계는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$y = Dz + n \quad (2)$$

위의 식 (2)에서  $y$ ,  $z$  그리고  $n$ 은 각각 사전적인 순서로 나열된 저해상도, 원 고해상도, 그리고 부가된 노이즈를 나타낸다. 행렬  $D$ 는 저해상도 영상 시스템에 의한 점 확산 함수(PSF)를 나타낸다. 따라서 복원된 고해상도 영상을 원 고해상도 영상과 가깝게 추정하는데 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 MAP 추정 방식을 이용하였으며 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\hat{z} = \arg \max [\log \Pr(y|z) + \log \Pr(z)] \quad (3)$$

식 (3)의 고해상도 영상 복원은 깃스 분포(Gibbs distribution) 함수와 가우시안 분포(Gaussian distribution) 함수에 기반을 둔 마코프랜덤 필드(Markov Random field)를 이용하여 얻을 수 있다. 식 (3)의 각 항은 다음과 같이 기술된다.

$$\Pr(z) = \frac{1}{Z} \exp \left[ -\frac{1}{\lambda} \sum_{c \in C} V_c(z) \right] \quad (4)$$

$$\Pr(y|z) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{M_1 M_2}{2}}} \exp \left( -\frac{\|y - Dz\|^2}{2\sigma^2} \right) \quad (5)$$

식 (4)에서  $Z$ 와  $\lambda$ 는 정규화 상수와 밀도의 온도 매개변수이며,  $V_c(\cdot)$ 는 클리크(clique)라는 국부 그룹  $c$ 에 대한 함수이다. 따라서 식 (3)은 다음과

같이 정리하여 나타낼 수 있다.

$$\hat{z} = \arg \max \left( \frac{\|y - Dz\|^2}{2\sigma^2} + \frac{1}{\lambda} \sum_{c \in C} V_c(z) \right) \quad (6)$$

### III. 적응적인 MAP 확장 알고리즘

2절에서 기술된 MAP 추정방식은 기존의 영상 보간 방식보다 개선된 결과를 나타내지만 국부 특성이 추정 방식 내에 포함되어 있지 않기 때문에 여전히 에지의 열화된 정도에 대한 문제가 남아있으므로 국부 활동성을 나타내는 함수를 정의할 필요가 있다. 본 논문에서 국부 평균과 국부 분산을 이용하여 국부 활동성을 나타내는 함수를 다음과 같은 식으로 정의하였다.

$$m_c(k,l) = \frac{1}{(2P+1)(2Q+1)} \sum_{m=k-P}^{k+P} \sum_{n=l-Q}^{l+Q} z(m,n) \quad (7)$$

$$\sigma^2(k,l) = \frac{1}{(2P+1)(2Q+1)} \sum_{m=k-P}^{k+P} \sum_{n=l-Q}^{l+Q} (z(m,n) - m_c(k,l))^2 \quad (8)$$

위의 식 (7)과 (8)에서  $(2P+1)(2Q+1)$ 은 분석 윈도우의 넓이이다. 또한 국부 활동성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$w(k,l) = \frac{1}{\sqrt{\sigma^2(k,l)+1}} \quad (9)$$

식 (9)는 0과 1사이의 값을 갖는다.  $w(k,l)$ 는 공간적으로 큰 활동성을 갖는 영역일수록 0에 가까운 값을 갖고, 평탄한 영역일수록 1에 가까운 값을 갖게 된다. 그러므로 고해상도 영상을 얻기 위한 부가 함수는 위의 국부 활동성과 Huber 함수에 따라 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M_\lambda [Wz, T] = \Omega [Wz, T] + \frac{\lambda}{2\sigma^2} \|y - Dz\|^2 \quad (10)$$

위의 식 (10)에서  $T$ 는 Huber 함수의 임계치를 나타내고,  $\Omega [Wz, T]$ 는 clique 함수의 합을 나타내어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Omega [Wz, T] = \sum_{c \in C} V_c(Wz) \quad (11)$$

$$= \sum_{k=0}^{qN_1-1} \sum_{l=0}^{qN_2-1} \sum_{m=0}^3 \rho_T(d^t(k,l,m)Wz)$$

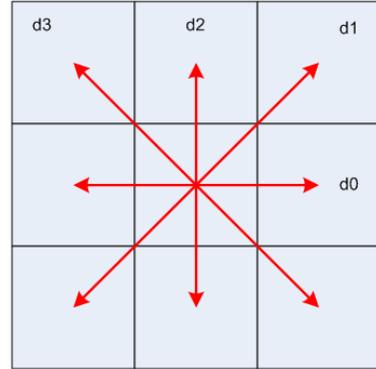


그림 1. 가중치 클리크(clique) 함수

위의 식 (11)에서 clique 함수는 다음과 같은 식으로 표현되어 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$d^t(k,l,0)Wz = w(k,l+1)z(k,l+1) - 2w(k,l)z(k,l) + w(k,l-1)z(k,l-1)$$

$$d^t(k,l,1)Wz = \frac{1}{2} [w(k-1,l+1)z(k-1,l+1) - [w(k,l)z(k,l)] + \frac{1}{2} [w(k+1,l-1)z(k+1,l-1)]]$$

$$d^t(k,l,2)Wz = w(k-1,l)z(k-1,l) - 2w(k-1,l)z(k,l) + w(k+1,l-1)z(k+1,l-1)$$

$$d^t(k,l,3)Wz = \frac{1}{2} [w(k-1,l-1)z(k-1,l-1) - [w(k-1,l-1)z(k-1,l-1)] + \frac{1}{2} [w(k+1,l+1)z(k+1,l+1)]] \quad (12)$$

본 논문에서 최적의 최소 해를 구하기 위하여 gradient descent 방식을 적용하였으며, 부가 함수에 대한 gradient는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$g_{(n)} = \nabla \Omega [Wz, T] + \frac{\lambda}{2\sigma^2} (2D^t Dz_{(n)} - 2D^t y) \quad (13)$$

또한 최소값을 구하기 위한 기울기의 방향은 다음과 같이 정의된다.

$$d_{(n)} = -[I - D^t(DD^t)^{-1}D]g_{(n)} \quad (14)$$

위의 식 (14)에서  $\nabla$ 는 gradient 연산자이고  $I$ 는 단위행렬(identity matrix)를 나타낸다. 따라서 연속된 반복 기법은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$z_{(n+1)} = z_{(n)} + \alpha_{(n)}d_{(n)} \quad (15)$$

위의 식 (15)에서  $z_{(n+1)}$ 은  $n+1$  번째 반복 후  $z$ 의 변경된 값이고  $\alpha_{(n)}$ 은 반복기법의 수렴율을 제어하는 완화 매개변수이다. 위의 식 (15)에서  $d_{(n)}$ 의 최대 감소는  $d_{(n)}$ 을 따라 함수의 최소값과 같아진다.

$$\alpha_{(n)} = \arg \min \Omega[z_{(n)} + \alpha_{(n)}d_{(n)}, T] \quad (16)$$

따라서  $\alpha_{(n)}$ 의  $n$ 번째 반복에 대한 스텝 크기는 다음과 같이 나타난다.

$$\alpha_{(n)} = \frac{-\nabla M_{\lambda}[(W\hat{z})_{(n)}, T]^t d_{(n)}}{d_{(n)}^t \nabla^2 M_{\lambda}[(W\hat{z})_{(n)}, T] d_{(n)}} \quad (17)$$

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안된 적응적인 MAP 고해상도 영상 개선 알고리즘을 다양한 영상의 해상도와 크기에 대해 실험하였다. 그 중  $128 \times 128$  크기의 "Lena", "Airfield", "Bird" 그리고 "Cameraman" 저해상도 영상이 다음 그림 2와 같이 나타내었다.

제안된 알고리즘의 객관적인 성능 평가를 위하여 PSNR을 사용하였다. PSNR은  $qN_1 \times qN_2$  크기의 고해상도 8bit 영상에 대하여 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2 \times qN_1 \times qN_2}{\|z - \hat{z}\|^2} \quad (18)$$

식 (18)에서  $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름 (Euclidean norm)을 나타내고,  $z$ 와  $\hat{z}$ 은 원 고해상도 영상과 복원된 고해상도 영상을 나타낸다. 그리고  $T=4$ 인 Huber 함수의 임계치를 사용하였으며,  $q=2$ ,  $q=4$ 를 이용하여 고해상도 영상을 획득하였다.

제안된 방식을 zero-order hold 보간 방법과 선형 보간 방법, 그리고 MAP 추정 방식과 비교하였다. 아래의 표 1로부터 MAP 고해상도 접근방식의 결과를 확인할 수 있고 제안된 방식이 다른 기존의 방식들보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 저해상도 영상의 매우 제한적인 정보 양으로 인해  $q$  값이 커질수록 PSNR 이득이 낮아졌다.

그림 2(a)의 복원된 고해상도 영상을 zero-order

hold 보간 방식, 선형 보간 방식, MAP 방식, 그리고 제안된 방법에 의한 결과영상을 다음 그림 3에 나타내었다. zero-order hold 보간 방법과 선형 보간 방법을 이용하여 복원된 영상은 Lena 영상의 "모자"와 "어깨" 부분에서 과도한 열화현상이 발생하였다. 반면에 MAP 방식과 제안된 방식은 열화현상이 감소함을 확인할 수 있었다. MAP 추정 방식과 제안된 방식 사이의 시각적 차이는 그림 4에 나타내었다.

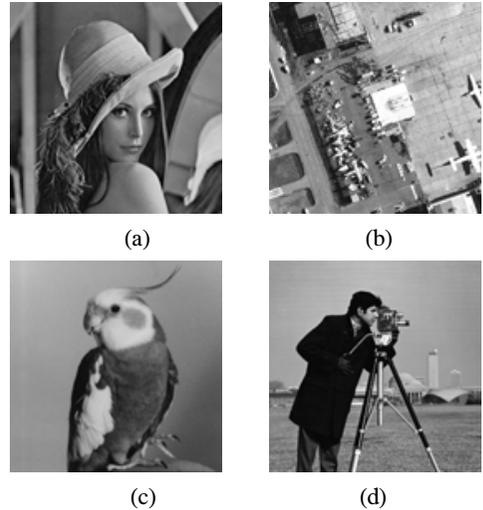


그림 2.  $128 \times 128$  크기의 저해상도 실험 영상 (a) Lena, (b) Airfield, (c) Bird, (d) Cameraman

표 1. 실험 영상의 PSNR 비교표

Images	Method	PSNR (dB)	
		q=2	q=4
Lena	Zero-order hold Interpolation	26.67	25.13
	Bilinear Interpolation	26.54	24.83
	MAP Estimation	28.68	25.53
	Proposed Algorithm	29.68	25.92
Airfield	Zero-order hold Interpolation	25.36	22.37
	Bilinear Interpolation	25.11	22.26
	MAP Estimation	26.50	22.53
	Proposed Algorithm	26.88	22.90
Bird	Zero-order hold Interpolation	33.51	27.99
	Bilinear Interpolation	33.45	27.88
	MAP Estimation	34.15	28.89
	Proposed Algorithm	35.83	29.04
Camera man	Zero-order hold Interpolation	24.42	23.26
	Bilinear Interpolation	24.23	23.13
	MAP Estimation	26.34	23.53
	Proposed Algorithm	26.76	23.84



(a)



(b)

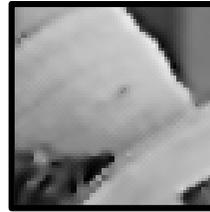


(c)



(d)

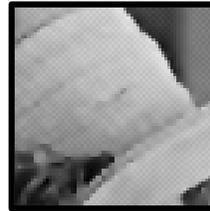
그림 3. 그림 2(a)의  $256 \times 256$  크기의 복원된 고해상도 영상의 결과 (a) zero-order hold 보간 방법, (b) 선형 보간 방법, (c) MAP 추정 방법, (d) 제안된 보간 방법



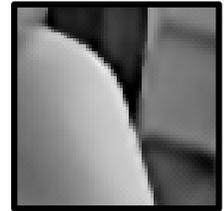
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 복원된 고해상도 Lena 영상의 시각적 비교 (a) MAP 추정 방식, (b) MAP 추정 방식, (c) 제안된 방식, (d) 제안된 방식

위의 결과에서 확인할 수 있듯이 윤곽선 부분과 같은 중요한 정보는 제안된 방식에 의해 더 효과적으로 복원되었음을 확인할 수 있다. 그림 5는 그림 2(b)의 영상에 대한 복원된 고해상도 영상을 나타낸다. 그림 5에서 “길”과 “작은 영역”에서 제안된 알고리즘이 효과적으로 복원되었음을 알 수 있다. 위의 그림 5의 한 부분을 크게 확대하여 다음 그림 6과 같이 나타내었다. 기타 영상에서도 유사한 성능 향상을 확인할 수 있었다.

### V. 결론

본 논문에서 적응적인 MAP 방식의 고해상도 영상 개선 알고리즘에 대해 설명하였다. 국부 통계특성을 국부 활동성을 결정하기 위하여 사용하였으며, 국부 열화(smoothness)의 정도를 적응적으로 제어하기 위하여 사용하였다. 제안된 부가 함수가 원 고해상도 영상과 가깝기 위한 최적의 해를 얻기 위하여 사용되었으며, 실험 결과를 통하여 제안된 방식이 기존의 MAP 추정 방식보다 PSNR과 화질 측면에서 더 우수하였다. 현재 새로운 robust 함수를 연구 중에 있으며 상기 방식을 이용할 경우 개선된 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.



(a)



(b)

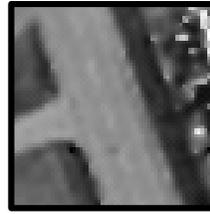


(c)

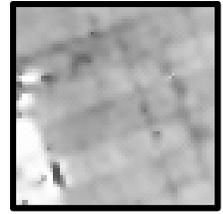


(d)

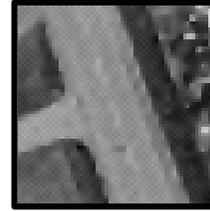
그림 5. 그림 2(b)의  $256 \times 256$  크기의 복원된 고해상도 영상 (a) zero-order hold 보간 방법, (b) 선형 보간 방법, (c) MAP 추정 방법, (d) 제안된 보간 방법



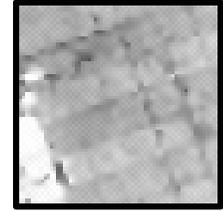
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 복원된 고해상도 Airfield 영상의 시각적 화질 비교 (a) MAP 추정 방식, (b) MAP 추정 방식, (c) 제안된 방식, (d) 제안된 방식

### 참 고 문 헌

- [1] T. S. Huang Ed., *Advances in Computer Vision and Image Processing*, JAI Press, 1984.
- [2] S. P. Kim, N. K. Bose, and H. M. Valenzuela, "Recursive Reconstruction of High Resolution Image From Noisy Undersampled Multiframe," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 38, pp. 1013-1027, June 1990.
- [3] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, New York: Prentice-Hall, 1989.
- [4] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-resolution image reconstruction: A Technical Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.20, no.3, pp.21-36, May 2003.
- [5] A. N. Tikhonov and A. V. Gonchrsky, eds., *Ill-Posed Problems in the Natural Science*, MIP Pub., 1987.
- [6] M. Bertero, T. A. Poggio, and V. Torre, "Ill-posed problems in early vision," *IEEE Proceeding*, vol.76, no.8, pp.869-889, Aug. 1988.
- [7] A. J. Patti, M. I. Sezan, and A. M. Tekalp, "High-Resolution Image Reconstruction from A Low-Resolution Image sequence in the Presence of Time-Varying Motion Blur," *IEEE Proceeding of International Conference on*

*Image Processing*, pp. 343-347, Nov. 1994.

- [8] Y. Nakazawa, T. Saito, T. Komatsu, T. Skimori, and K. Aizawa, "Two Approaches for Image Processing Based on High Resolution Image Acquisition," *IEEE Proceeding of International Conference on Image Processing*, pp. 147-151, Nov. 1994.
- [9] N. K. Bose, H. C. Kim, and N. Bose, "Constrained total least squares computations for high resolution image reconstruction with multisensors," *Int. J. Imaging Syst. Tech.*, vol. 12, pp. 35-42, 2002.
- [10] Michael Unser, Akram Aldroubi, and Murray Eden, "B-Spline Signal Processing : Part I-Theory," *IEEE Trans. ASSP*, vol. 41, no. 2, pp. 821-833, Feb. 1993.
- [11] B. R. Schultz and F. K. Stevenson, "A Bayesian Approach to Image Expansion for Improved Definition," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, no. 3, pp. 996-1011, May 1994.

**김 경 호** (Kyung-Ho Kim)

준회원



2003년 2월 관동대학교 정보통신공학과 졸업 (학사)  
 2005년 2월 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사)  
 2005년 3월~현재 LG전자기술원 이동통신기술 연구소 연구원  
 <주관심분야> 영상 개선, 영상 통신

**송 원 선** (Wonseon Song)

준회원



2001년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업 (학사)  
 2003년 2월 숭실대학교 대학원 정보통신학과 졸업 (석사)  
 2003년 3월~현재 숭실대학교 대학원 정보통신학과 박사과정 재학중

<주관심분야> 영상복원 및 개선, H.264/AVC, 정지 및 동영상 필터링

**홍 민 철** (Min-Cheol Hong)

정회원



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
 1990년 8월 연세대학교 전자공학과 졸업 (석사)  
 1990년 7월~1991년 8월 LG 정보통신 연구원  
 1997년 9월 Northwestern University,

전기및 컴퓨터 공학과 졸업 (박사)  
 1997년 9월~1998년 8월 Northwestern University, Research Fellow  
 1998년 9월~2000년 2월 LG 전자, 선임연구원  
 2000년 3월~현재 숭실대학교, 조교수  
 <주관심분야> 영상 복원 및 enhancement, 정지 및 동영상 필터링, 차세대 영상 부호화, 비선형 필터링, Image Deconvolution, Rate Control