

일반논문-10-15-3-05

## 이웃 픽셀 값을 고려한 적응적 3차 보간법

이 아 영<sup>a)‡</sup>, 김 희 창<sup>a)</sup>, 정 제 창<sup>a)</sup>

### An Adaptive Cubic Interpolation considering Neighbor Pixel Values

Ayeong Lee<sup>a)‡</sup>, HeeChang Kim<sup>a)</sup>, and Jechang Jeong<sup>a)</sup>

#### 요 약

영상 표시장치의 화소수가 다양화됨에 따라, 영상 보간법은 더욱 중요한 역할을 하게 되었다. 3차 콘볼루션 보간법(Cubic Convolution Interpolation)은 간단하지만, 적용하는데 제한이 없고, 좋은 성능을 보이기 때문에 널리 쓰이고 있다. 이 논문은 3차 콘볼루션 보간법을 이용한 적응적 방법을 제안한다. 예측하려는 픽셀의 이웃 화소 값의 차이를 고려해서, 3차 콘볼루션 보간법 커널에 있는 파라미터 값을 적응적으로 선택한다.

#### Abstract

As the resolution of the image display devices has been diversified, the image interpolation methods has played a more important role. The cubic convolution interpolation method has been widely used because it is simple but it has no limitation of using and a good performance. This paper suggests an adaptive method to the cubic convolution interpolation. Considering the difference of the neighbored pixels values to a prediction pixel, a parameter value in the cubic convolution interpolation kernel is chosen.

Keyword: interpolation, cubic convolution interpolation, adaptive interpolation

## 1. 서 론

영상보간법은 디지털 영상 처리에서 영상을 확대하거나 축소하기 위해 다양하게 쓰이고 있다. 여기서 영상보간법은 불연속 샘플로부터, 그것을 연속적인 이벤트로 생각해서 중간 값을 예측하는 것이라고 볼 수 있다<sup>[1]</sup>. 현재 다양한 영상 콘텐츠가 방송사나 사용자에게 의해서 제작되고, 영상물은 더욱 일상화되어가고 있다. 이에 따라

영상 표시장치의 종류도 다양해지고, 그것의 화소수도 더욱 다양화되어 가고 있다. 이에 따라 영상을 확대하거나 축소하는 영상보간법은 더욱 중요한 역할을 차지하게 되었다.

주관적인 화질을 향상시키고, 계산량을 줄이기 위해 많은 보간 방법들이 제안되었다. 가장 간단한 영상보간법은 영차보간법(nearest neighbor interpolation)이다. 이 방법은 간단하지만, 원하지 않는 체커보드 효과(checkerboard effect)가 나타나며, 이것은 확대 계수(magnification factor)가 클수록 두드러진다<sup>[2]</sup>. 이런 영차보간법의 약점을 극복하기 위해 더 높은 차수의 보간 커널을 기반으로 하는 선형보간법(bi-linear interpolation)과 3차보간법(bi-cubic interpo-

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부

Department of Electronics Computer Engineering, Hanyang University

‡ 교신저자 : 이아영(adolsa@naver.com)

· 접수일(2009년12월29일), 수정일(2010년3월9일), 게재확정일(2010년3월13일)

lation)방법이 제안되었다. 하지만 이 방법은 영상의 부분적 특질을 고려하지 않기 때문에, 흐려짐 효과(blurring effect)를 일으키게 된다. 구체적으로는 모서리와 평탄한 부분에 똑같은 알고리즘을 적용하기 때문에 이런 흐려짐 효과가 나타난다.

이런 흐려짐 효과를 줄이기 위해서 여러 가지 보간 방법이 제안되었다. 그중 한 가지는 멀티 해상도 피라미드(multi-resolution pyramid) 방법이다. 웨이블릿 구조(wavelet structure)등을 사용하는 방법이 이런 방법에 속한다<sup>[3]</sup>. 흐려짐 효과를 줄이기 위해 제안된 다른 방법은 지역적인 특질을 찾아, 모서리인지 아닌지 판별하여 그것에 따라 다른 알고리즘을 적용하는 방법이다<sup>[4]</sup>. 하지만 지금 언급한 방법들은 복잡도가 높은 단점을 가지고 있다.

최근에는 선형보간법이나 3차보간법을 기반으로 하여, 이것을 향상시킨 알고리즘들이 제안되고 있다<sup>[5][8]</sup>. 이런 방법들은 계산이 복잡하지 않으면서도, 좋은 주관적 화질을 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 특히 확대계수가 2의 거듭제곱이 아니어도 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 기존의 선형보간법이나 3차보간법에서 지역적인 영상의 특징에 따라 참조할 이웃화소의 위치를 변화를 주거나, 가중치를 변화시킴으로써 적응적 알고리즘을 얻을 수 있다. Mori는 기존의 3차보간법처럼 정사각형모양의 이웃의 16개의 화소를 이용하지 않고, 방향성을 고려하여 참조할 화소의 위치를 선택하는 알고리즘을 제안하였다<sup>[6]</sup>. 방향성을 고려하는 알고리즘 외에 흐려짐 효과를 줄이기 위해서 영상의 지역적인 특질 이용하여 가중치에 변화를 주는 여러 가지 방법이 제안되어왔다<sup>[5],[7][8]</sup>. Hwang과 Lee는 이웃화소의 그래디언트(gradient)를 이용하였고<sup>[5]</sup>, Hadhoud는 local activity model을 이용하였지만, 보간하고자 하는 화소의 위치가 원래 샘플링된 위치의 중간에 있지 않으면, 가중치의 합이 1이 되지 않는 문제점을 가지고 있다<sup>[7]</sup>. Han과 Baek는 이웃화소의 기울기값(gradient)과 오목함(concavity)의 연속성을 고려하였다<sup>[8]</sup>.

이 논문에서는 기존의 방법들 보다 간단하지만 활용성이 높은 3차 보간법을 기반으로 하는 보간 방법을 제안한다. 보간하고자 하는 픽셀의 이웃 픽셀 값의 차이를 고려하여 지역적인 특징을 얻고 이에 따라 다른 커널을 사용한다. 다

양한 커널은 3차 보간법 커널 함수의 파라미터 값을 다르게 하여 얻었다. 제안된 방법은 주관적 화질 면에서도, 객관적인 수치인 peak signal to noise ratio(PSNR)측면에서도 좋은 결과를 보여주었다.

## II. 이론

### 1. 3차 콘볼루션 보간법(Cubic convolution interpolation)

서론에서 설명한 것과 같이 영상보간법은 불연속적으로 샘플링된 픽셀 값으로부터 연속적인 이벤트를 얻어, 원 이미지에 없는 중간 값을 예측하는 것으로 볼 수 있다. 여기서 말하는 연속적인 이벤트는 보간 함수라 하고 그 보간 함수  $g(x)$ 는 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$g(x) = \sum_k c_k u\left(\frac{x-x_k}{h}\right). \quad (1)$$

여기서  $h$ 는 샘플링의 증가(sampling increment)이고,  $x_k$ 는 보간 노드(interpolation node)이고,  $u$ 는 보간 커널,  $c_k$ 는 원래 이미지가 가지고 있는 픽셀 값을 의미한다. 이처럼 콘볼루션과 비슷한 오퍼레이션을 사용하여, 불연속 값들로부터 연속적인 값을 얻는다.

3차 콘볼루션 보간법에서의 커널은 구간  $(-2, -1)$ ,  $(-1, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 2)$ 에서 '0'이 아닌 값으로 정의되며, 나머지 구간에서는 '0' 값을 가진다. 그것을 식으로 쓰면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$u(s) = \begin{cases} A_1|s|^3 + B_1|s|^2 + C_1|s| + D_1 & 0 < |s| < 1 \\ A_2|s|^3 + B_2|s|^2 + C_2|s| + D_2 & 1 < |s| < 2 \\ 0 & 2 < |s|. \end{cases} \quad (2)$$

정수  $s$ 에서의 커널값 ( $u(0) = 1$ ,  $u(n) = 0$ ,  $n \neq 0$ ), 커널의 연속성, 그리고 1차 미분 값의 연속성을 고려하면, 식(2)는 다음과 같이 하나의 미지수만 가진 식으로 쓸 수 있다.

$$u(s) = \begin{cases} (a+2)|s|^3 - (a+3)|s|^2 + 1 & 0 < |s| < 1 \\ a|s|^3 - 5a|s|^2 + 8a|s| - 4a & 1 < |s| < 2 \\ 0 & 2 < |s|. \end{cases} \quad (3)$$

보간 함수  $g(x)$ 를 테일러 시리즈(Taylor series)의 처음으로 나오는 3개의 항만 가진다고 가정하면, 식 (3)에 나오는  $a$ 는  $a = -\frac{1}{2}$ 로 선택함이 적절함을 알 수 있다.

### 2. 적응적 3차 보간법 개괄

영상의 지역적 특질을 고려하지 않고,  $a = -\frac{1}{2}$ 를 사용하는 것은 문제점이 있다. 값의 변화가 거의 없는 평탄한 지역은 낮은 주파수 성분만을 가진다는 것이고, 테일러 시리즈의 초기항만 고려해도 된다. 이에 반해 모서리 부분에서는 높은 주파수 성분도 가지는 것이므로, 테일러 시리즈의 많은 항까지 고려해야 한다. 따라서 테일러 시리즈의 세번째 항까지 고려해서 얻은 상수의  $a$  값을 사용하기 보다는 지역적인 특질을 찾아 그에 따라 적절한  $a$  값을 사용하는 것을 제안하고자 한다. 이 논문에서는 지역적 특질을 얻기 위해서, 단순히 보간하고자 하는 지점의 이웃한 픽셀의 값만 고려하였다. 이웃 픽셀 값의 차이에 따라 다음과 같은  $a$  값을 사용한다.

$$a = \begin{cases} 0 & diff \leq 2 \\ -\frac{1}{2} & 2 < diff \leq 4 \\ -\frac{3}{4} & 4 < diff \leq 16 \\ -1 & else. \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)에서  $diff$ 는 이웃한 픽셀 값의 차이를 뜻한다. 즉, 이웃 픽셀 값의 차이가 작은 평탄한 지역일 때는  $a$  값을 '0'으로 사용하고, 픽셀 값의 차이가 클수록 절대 값이 큰  $a$  값을 사용한다.

### 3. 적응적 3차 보간법 해석

앞에서 설명한대로 공간영역에서 보간함수는 다음과 같

이 쓸 수 있다.

$$g(x) = \sum_k c_k u\left(\frac{x-x_k}{h}\right). \quad (5)$$

식 (5)에 나와 있는 공간영역에서의 커널을 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용해서 주파수영역의 함수로 바꾸면 식 (6)과 같다.

$$G(\omega) = \sum_k c_k e^{-j\omega x_k} h U(\omega h). \quad (6)$$

여기서 식(7)과 같은 푸리에 변환을 이용하였다.

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-j\omega x} dx. \quad (7)$$

식 (6)에서  $U(\omega)$ 는 다음과 같다.

$$U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} u(x) e^{-j\omega x} dx. \quad (8)$$

식 (6)은 다음과 같이 해석될 수 있다.  $c_k e^{-j\omega x_k}$ 의 누적합은 보간 노드에 대한 불연속 푸리에 변환(discrete Fourier transform)으로 볼 수 있고 이것에 곱해져 있는  $U(\omega h)$ 는 저주파만 통과시키는 스무딩 필터(smoothing filter)로 생각할 수 있다. 따라서 보간 커널을 주파수 영역에서 보면, 그 보간법의 특징을 파악할 수 있다.

이상적인 보간 커널함수는 sinc 함수이다. 왜냐하면 이 sinc 함수를 주파수영역에서 보면, 주파수 구간 (-0.5,0.5)에서 '1'의 값을 가지고, 나머지 구간에서는 '0'의 값을 가지기 때문이다. 이상적이거나, 실제적으로 적용이 불가능하다. 하지만 실제로 적용하는 보간 커널이 얼마나 이 sinc 함수에 가까운지 살펴봄으로써, 적절한 보간을 하는지 따져 볼 수 있다.

그림 1은  $a$  값에 따른 커널을 공간영역과 주파수영역에서 보여주고 있다. 여기서 주파수의 단위는 각주파수,  $\omega$ 가 아닌 주파수,  $f$ 를 사용하였다. 그림에서 보면,  $a$  값의 절대

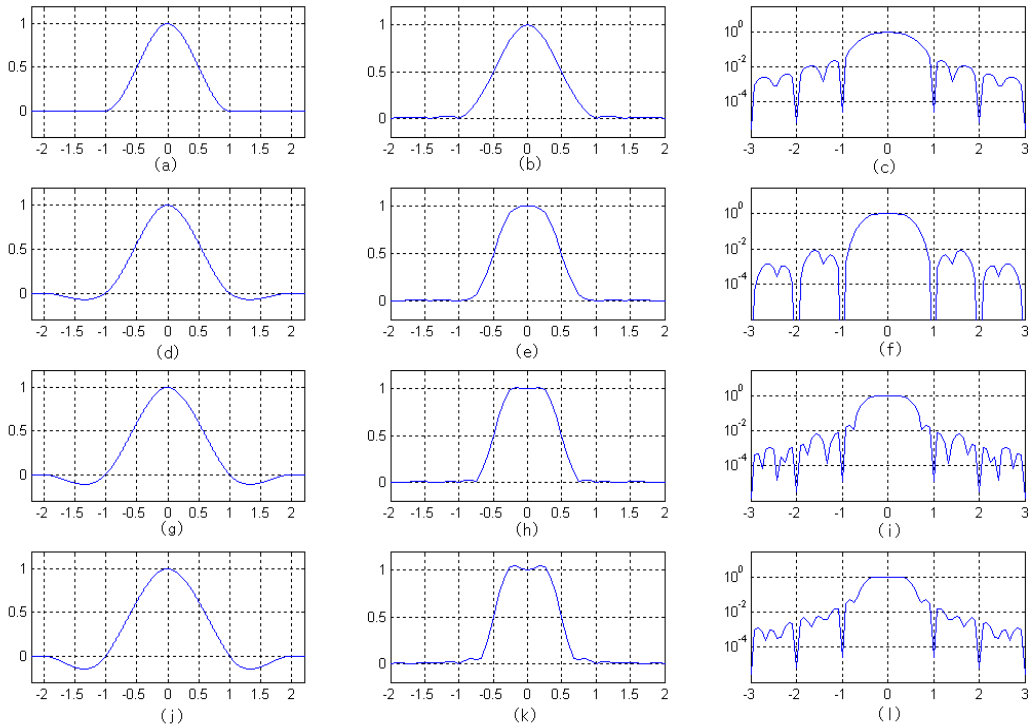


그림 1. 보간 커널  $a=0$ 일 때, (a)  $u(x)$  (b)  $U(f)$ 의 크기 (c) 로그스케일의  $U(f)$  크기  $a=-0.5$ 일 때, (d)  $u(x)$  (e)  $U(f)$ 의 크기 (f) 로그스케일의  $U(f)$ 의 크기  $a=-0.75$ 일 때, (g)  $u(x)$  (h)  $U(f)$ 의 크기 (i) 로그스케일의  $U(f)$ 의 크기  $a=-1$ 일 때, (j)  $u(x)$  (k)  $U(f)$ 의 크기 (l) 로그스케일의  $U(f)$ 의 크기  
 Fig. 1. Interpolation kernels, when  $a=0$  (a)  $u(x)$  (b) Magnitude of  $U(f)$  (c) Magnitude of  $U(f)$  in log scale, when  $a=-0.5$  (d)  $u(x)$  (e) Magnitude of  $U(f)$  (f) Magnitude of  $U(f)$  in log scale, when  $a=-0.75$  (g)  $u(x)$  (h) Magnitude of  $U(f)$  (i) Magnitude of  $U(f)$  in log scale, when  $a=-1$  (j)  $u(x)$  (k) Magnitude of  $U(f)$  (l) Magnitude of  $U(f)$  in log scale

값 크기가 클수록, 높은 주파수를 더 많이 통과시킨다는 것을 알 수 있다. 즉, 이웃 픽셀간의 차이가 클 때, 절대값 크기가 큰  $a$  값을 씌으로써 높은 주파수를 통과시키는 보간 필터를 사용하는 것이다.

### III. 결과

#### 1. 객관적 화질 비교

객관적인 화질 비교를 위해서 제안된 알고리즘을 사용하여 보간한 영상의 PSNR을 0차 보간, 선형보간, 3차보간,

Han의 3차보간[8], Mori의 3차보간[6]과 비교하였다. 512x512영상을 다운 샘플링하여, 170x170영상을 얻은 후, 그것을 보간하여 다시 512x512영상을 얻어, 원본과 비교하였다. 다운 샘플링 방법으로는 매트랩의 디폴트 설정으로 선형보간법을 사용하였다. 따라서, 11by11의 저역통과필터를 사용하였다. 결과는 표 1과 같다.

표 1에는 0차보간, 선형보간, 3차보간, Han의 3차보간, Mori의 3차보간, 제안된 3차보간의 PSNR이 차례로 나와 있다. 평균 PSNR을 보면, 다른 보간법보다 향상되었음을 알 수 있다. 기존의 3차 보간법보다는 0.25dB 상승했다. 그리고 9가지의 테스트 영상 모두에서 PSNR이 가장 좋은 것은 제안된 보간법임을 볼 수 있다. 특히, 모서리가 많은 영

표 1. PSNR 비교  
Table 1. PSNR Comparison

	nearest	bilinear	bicubic	Han's cubic[8]	Mori's cubic[6]	Proposed
airplane	25.09	27.26	28.08	28.18	27.97	28.39
boat	25.64	26.96	27.70	27.87	27.64	27.91
butterfly	23.54	25.29	26.28	26.42	26.29	26.69
couple	25.13	26.03	26.59	26.67	26.53	26.69
finger	21.67	22.89	23.97	24.28	23.70	24.31
girl	28.14	30.79	31.93	32.07	31.88	32.19
lena	27.48	29.38	30.31	30.43	30.30	30.56
peppers	26.19	28.94	29.62	29.60	29.61	29.87
zelda	30.77	33.59	34.51	34.58	34.42	34.69
평균	25.96	27.90	28.78	28.90	28.71	29.03

상에서 적응적 알고리즘이 더 좋은 성능을 보임도 알 수 있다.

2. 주관적 화질 비교

그림 2는 각각의 알고리즘으로 4배로 확대된 butterfly의 부분영상이다. 그림을 살펴보면 제안된 적응적 3차 보간법은 체커보드 효과도 없고, 모서리에서 흐려짐 현상도 적은 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

3차 보간법은 확대 계수의 제한이 없고, 간단하지만 좋은 성능을 보이므로, 여전히 많이 쓰이고 있다. 하지만, 이것의 문제점은 모서리에서의 흐려짐 현상이 발생한다는 것이다. 제안하는 적응적 3차 보간법은 영상의 지역적인 특질을 간단한 방법으로 고려해 커널을 선택함으로써 이런 문제점을 개선시켰다. 주관적으로도, 객관적인 수치로도 화질이 향상됨을 볼 수 있었다.

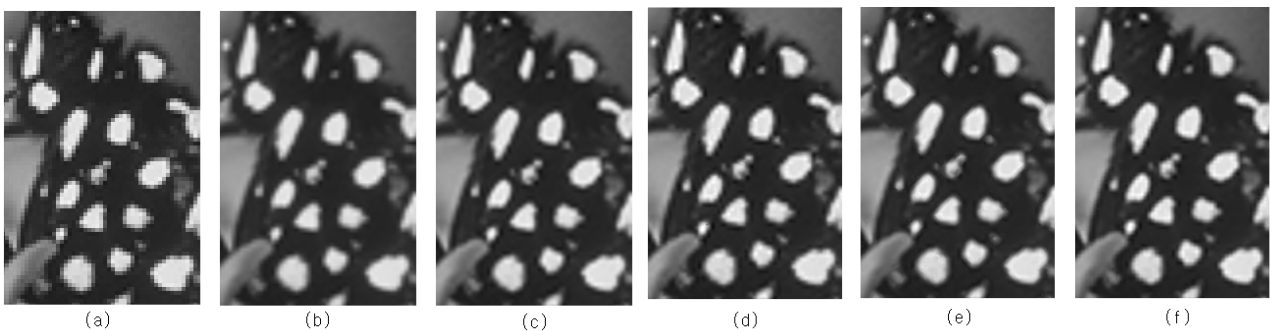


그림 2. (a) 0차 보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상, (b) 선형보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상, (c) 3차 보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상, (d)Han의 3차 보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상[8],(e) Mori의 3차 보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상[6], (f) 제안된 적응적 3차 보간법에 의해 4배 확대된 Butterfly 부분 영상  
Fig. 2. a part of the magnified butterfly image by (a) nearest, (b) bilinear, (c) bicubic, (d) Han's bicubic[8], (e)Mori's bicubic[6] and (f) proposed adaptive bicubic

참 고 문 헌

[1] R.G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process, ASSP-29, No. 6, pp. 1153-1160, Dec. 1981

[2] T. M. Lehmann, C. Gonner and K. Spitzer, "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing," IEEE Trans. Medical Imaging, Vol. 18, No. 11, pp. 1049-1073, Nov. 1999

[3] N. Nguyen and P. Milanfar, "A Wavelet-Based Interpolation-Restoration Method for Super-resolution," Circuits Systems Signal Process, Vol. 19, No. 4, pp. 321-338, 2000

[4] X. Li and M. T. Orchard, "New Edge-Directed Interpolation", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, 2001,

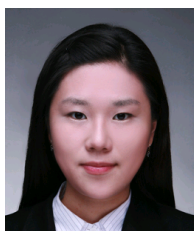
[5] J. W. Hwang and H. S. Lee. "Adaptive Image Interpolation Based on Local Gradient Features," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 11, No. 3, pp. 359-362, 2004

[6] T. Mori, K. Kameyama, Y. Ohmiya, J. Lee and K. Toraichi, "Image Resolution Conversion Based on an Edge-Adaptive Interpolation Kernel," IEEE Pacific Rim Conference on Digital Object Identifier, pp. 497-500, 2007

[7] Hadhoud, M. M., Dessouky, M. I., et al, "Adaptive Image Interpolation Based on Local Activity Levels," Proceedings of the 20th National Radio Science Conference, C4 1-8, 2003

[8] Jong-ki Han and Seung-Ung Baek, "Parametric cubic convolution scaler for enlargement and reduction of image," Consumer Electronics, IEEE Transactions, 46(2), pp. 247 - 256, 2000

저 자 소 개



이 아 영

- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업 (공학사)
- 2008년 8월 ~ 현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : Image processing, Image Enhancement



김 희 창

- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업 (공학사)
- 2010년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 졸업 (공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재: Chip&Media 연구원
- 주관심분야 : Image Processing, Image Enhancement



정 제 창

- 1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1982년 2월 : KAIST 전기전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1990년 3월 : 미국 Univ. of Michigan 전기공학과 졸업 (공학박사)
- 1982년 2월 ~ 1986년 7월 : KBS 기술연구소 연구원 (디지털 TV 및 뉴미디어 연구)
- 1990년 8월 ~ 1991년 1월 : 미국 Univ. of Michigan 전기공학과 연구교수
- 1991년 1월 ~ 1995년 2월 : 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG, HDTV 및 멀티미디어 연구)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수 (영상통신 및 신호처리 연구실)
- 1998년 11월 27일 : 과학기술자상 수상
- 1998년 12월 31일 : 정보통신부장관상 표창
- 주관심분야 : 영상처리 및 영상압축