

인간의 시각 특성을 이용한 이진 트리 벡터 양자화

유성필[†] · 광내정^{**} · 박원배^{***} · 안재형^{****}

요 약

본 논문에서는 인간의 시각 특성의 하나인 공간 지각 특성을 고려하여 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화를 하는 개선된 양자화 기법을 제안한다. 제안 방법은 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화의 두 노드로 분할하는 과정에 영상의 블록 내 칼라 변화에 따른 시각 시스템의 특성을 가중치로 결합하여 양자화를 하였다. 그리고 원영상의 밝기성분과 양자화영상의 밝기성분의 차영상을 이용해 MTF(modulation transfer function)를 고려하여 양자화 영상의 화질을 평가한다. 제안 방법은 적은 레벨의 양자화된 영상을 구할 수 있었으며, 영상이 차지하는 자원을 효과적으로 감소 시킬 수 있었다. 이는 기존의 방법보다 색상이 선명해지며 유사한 영역의 분할에 뛰어난 성능을 보여주었다.

The Binary Tree Vector Quantization Using Human Visual Properties

Soung-Pil Ryu[†], Nae-joung Kwak^{**}, Won-Bae Park^{***} and Jae-hyeong Ahn^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose improved binary tree vector quantization with consideration of spatial sensitivity which is one of the human visual properties. We combine weights in consideration with the responsibility of human visual system according to changes of three primary color in blocks of images with the process of splitting nodes using eigenvector in binary tree vector quantization. Also we propose the novel quality measure of the quantization images that applies MTF(modulation transfer function) to luminance value of quantization error of color image. The test results show that the proposed method generates the quantized images with fine color and performs better than the conventional method in terms of clustering the similar regions. Also the proposed method can get less quantized level images and can reduce the resource occupied by the quantized image.

Key words: vector quantization, binary tree, MTF

1. 서 론

칼라 카메라로부터 입력되는 자연색 영상은 한 화소를 표현하기 위하여 적색, 녹색 및 청색의 세 채널을 필요로 하며 각 채널에 대해 8비트로 2^8 가지의 색을 가진다. 그러나 사람의 눈은 일정한 크기의 화소

에 대하여 수십 가지의 휘도와 수 백 가지의 색상만을 느낄 수 있으며 실제 영상에 있어서도 사람이 느끼는 색상의 수는 표현할 수 있는 화소수보다 훨씬 적기 때문에 2^{24} 가지의 색을 수백가지의 색상으로 양자화 하더라도 인식되는 화질은 크게 변화하지 않는다. 이러한 특성으로 인해 영상을 다루는 대부분의 디지털기기는 영상 부호화를 하여 사용한다. 즉, 원영상의 화질을 충실히 보존하면서 그에 필요한 데이터양을 최대한 줄이는 것이다. 이러한 영상 부호화의 방법 중에 널리 사용되는 것이 벡터 양자화이다[1]. 벡터 양자화의 성능은 코드북을 얼마나 효율적으로

접수일 : 2002년 10월 21일, 완료일 : 2003년 1월 13일

[†] 준회원, 충북대학교 정보통신공학과(석사)

^{**} 준회원, 충북대학교 정보통신공학과 박사 과정

^{***} 준회원, 충북대학교 정보통신공학과 박사 과정

^{****} 정회원, 충북대학교 전기 전자공학부 교수

설계하느냐에 따라 결정된다. Linde, Buzo, Gray[2]는 양자화 오차가 최소가 될 때까지 알고리즘을 반복하면서 양자화 칼라 벡터를 개선시켜 주는데, 이 때문에 양자화 오차는 최소이지만 반복과정에 있어서 모든 입력 칼라 벡터를 탐색하여 양자화 칼라를 개선시키므로 양자화에 요구되는 시간이 매우 길다. 그 후 많은 연구자들에 의해 변형된 방법이 소개되었지만, 이 방법들은 한번에 하나의 벡터가 작용하므로 오랜 학습 시간이 걸리며, 영상의 특징에 기인하는 코드북의 크기를 미리 결정해야 하는 단점을 갖고 있다. 이를 개선하기 위해서 C.Chan[3]과 C.Ma[4]은 영상을 하나의 군집으로 시작하여 최적의 분할경계에 의해서 군집을 2개로 계속해서 분할해 나가는 것을 반복하는 최대 하강법(maximum decent method)을 제안하였다. 그러나 이 방법 역시 최적의 분할 경계를 설정하는 과정에서 많은 시간이 요구되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 Orchard와 Bouman[5]은 고유벡터를 이용한 이진 트리 기법에 의하여 벡터의 차원을 줄여서 계산하는 방법을 제안하였다. 이 양자화 방법은 속도가 빠른 장점이 있지만, 낮은 레벨로 양자화를 하였을 때 색상의 열화가 발생하는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 칼라별 인간의 시각 시스템(HVS : human visual system)의 특성의 하나인 공간 지각 특성을 고려하여 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터양자화의 분할 과정에 가중치를 부여함으로써 화질을 개선한다. 또한 인간의 시각 시스템의 파장과 밝기 성분에 따른 인지도를 MTF(modulation transfer function)를 적용하여 양자화 영상의 화질 평가 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화의 기법을 소개하고, 3장과 4장에서는 인간의 공간 지각 특성을 고려한 고유벡터를 이용한 벡터 양자화와 인간의 주파수 인식 특성을 이용한 양자화 영상의 화질 평가방법을 제안한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존방법과 제안한 방법을 비교하여 성능을 분석하였고, 6장에서 결론을 맺었다.

2. 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화

고유벡터를 이용한 벡터 양자화는 고유벡터를 이용해 영상을 이진 트리 구조의 노드로 분할하는 방법

이다[5]. 트리의 각 노드는 전체 영상의 분할된 클러스터로, 부모 노드는 고유벡터를 이용해 두 개의 자식 노드로 분할하게 되며 각 노드마다 각 노드에 속하는 모든 화소들을 대신할 하나의 대표값을 갖는다. 양자화 팔레트는 이진 트리의 종단노드의 각 대표값으로 구성된다. 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화는 TSE(Total Squared Error)를 최소화하는 방향으로 고유벡터를 이용하여 각 노드를 분할한다.

$$TSE = \sum_{n=1}^N \sum_{s \in C_n} \| \mathbf{x}_s - \mathbf{q}_n \|^2 \quad (1)$$

여기서 $s = (i, j)$ 로 화소 위치를 나타내고, x_s 는 s 에서의 각 칼라성분으로 구성된 벡터로

$x_s = [x_{s,0}, x_{s,1}, x_{s,2}]^t$ 이며 0,1,2는 각 칼라성분의 인덱스이다. C_n 은 n 번째 노드의 화소집합이고, q_n 은 n 번째 노드의 양자화 대표값이다. C_n 을 두개의 노드로 분할하기 위해서는 다음과 같은 통계값이 필요하다.

$$R_n = \sum_{s \in C_n} \mathbf{x}_s \mathbf{x}_s^t \quad (2a)$$

$$\mathbf{m}_n = \sum_{s \in C_n} \mathbf{x}_s \quad (2b)$$

$$N_n = |C_n| \quad (2c)$$

$$\mathbf{q}_n = \frac{\mathbf{m}_n}{N_n} \quad (2d)$$

여기서, R_n 은 3×3 행렬이고, \mathbf{m}_n 은 각 칼라성분의 합으로 구성된 벡터를 나타내며, N_n 은 노드에서 C_n 의 화소의 개수를 나타낸다. 그리고 노드의 대표값은 식(2d)로 구해진다.

하나의 노드를 두개의 노드로 분할하는 것은 두개의 새로운 양자화 레벨을 결정하는 것이다. 이때 부모노드의 화소들을 최적의 양자화 레벨을 갖는 두개의 노드로 분할하는 최적의 평면을 결정하는 것이 중요하다. 고유벡터를 이용한 양자화 방법은 클러스터의 분산이 최대인 방향을 결정하여 이 방향에 수직이 되고 노드의 평균을 지나는 평면을 최적의 분할 평면으로 결정한다. 이 방법은 Gaussian분포를 갖는 경우에 최적의 효율을 나타낸다[5]. 먼저 노드의 분산 \widehat{R}_n 을 식(2a)~식(2c)를 이용해 식(3)과 같이 구한다.

$$\widehat{R}_n = R_n - \frac{1}{N_n} \mathbf{m}_n \mathbf{m}_n^t \quad (3)$$

분산의 고유값을 구하기 위해, 식(4)를 이용한다.

$$\sum_{s \in C_n} (\mathbf{x}_s - \mathbf{q}_n)^t \mathbf{e}_n = \mathbf{e}^t \widehat{R}_n \mathbf{e} \quad (4)$$

여기서 e 는 식(4)을 최대화 하는 단위 벡터이며, 이 식의 해는 \widetilde{R}_n 의 가장 큰 고유값 λ_n 의 고유벡터 e_n 으로 다음식과 같이 결정된다.

$$\sum_{s \in C_n} ((x_s - q_n)^t e_n)^2 = \lambda_n \quad (5)$$

고유벡터 e_n 이 결정되었으므로 노드 C_n 의 화소들은 다음과 같은 방법으로 두 노드 C_{2n} 과 C_{2n+1} 으로 분할된다.

$$C_{2n} = \{s \in C_n : e_n^t x_s \leq e_n^t q_n\} \quad (6a)$$

$$C_{2n+1} = \{s \in C_n : e_n^t x_s > e_n^t q_n\} \quad (6b)$$

한 노드의 TSE는 식(7)과 같으며 분할할 노드는 이진 트리 구조의 중단 노드 중에서 TSE를 가장 많이 감소시킬 수 있도록 선택된다.

$$TSE_n = \sum_{s \in C_n} \|x_s - q_n\|^2 \quad (7)$$

그림 1은 이상의 설명에 대한 기하학적 해석의 2차원적인 예이다. 그림 1에서 A는 입력 벡터의 공분산이 최대가 되는 고유벡터 e_n 을 표시한 것이고, B는 A에 수직이고 입력 벡터의 평균을 지나는 분할축을 나타낸 것이다.

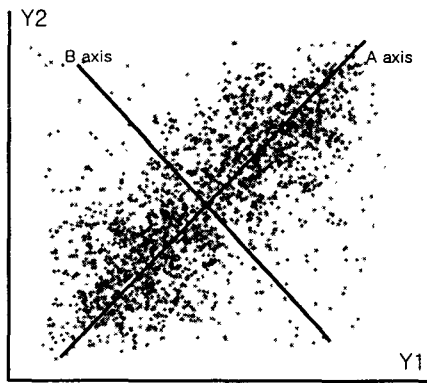


그림 1. 2차원의 경우 고유벡터 해석의 예

3. 인간의 공간 시각 특성을 고려한 이진 트리 벡터양자화

2절의 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터양자화는 속도가 빠르고 양자화시 어느정도 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법은 낮은 레벨의 양자화를 할 경우 색상의 열화가 발생하고, 인간의 시각 특성을 고려하지 않았다. 따라서 제안 알고리즘

은 벡터양자화의 분할과정에서 인간의 시각 특성의 하나인 공간 마스크 효과를 각 칼라 채널에 가중치로 결합한다. 먼저 영상을 각 칼라성분별로 밝기의 변화를 구하고 이를 $\nabla x_{s,k}$ 라 한다. $k=0,1,2$ 로 각 칼라 성분의 인덱스 값이고, 이를 이용해 식(8)과 같이 가중치를 구한다.

$$w_{s,k} = \frac{1}{f(\min\{|\nabla x_{s,k}|, 16\} + 2)} \quad (8)$$

여기서 f 는 3×3 블록의 평균필터를 나타낸다. 이 때 $\nabla x_{s,k}$ 의 값이 너무 작으면 밝기의 변화라 볼 수 없고, 너무 큰 값인 경우 마스크 효과가 과도하게 적용되어 화소값이 반영되지 않아 에지 성분이 사라지므로 2와 16사이값으로 제한하였다. 이 가중치는 인간의 시각 특성의 하나인 공간 마스크효과를 의미하는 것으로 영상의 명암이 심하게 변하는 곳이나 그 부근에서 발생하는 양자화 오차는 인간의 시각에 잘 띄지 않는 성질을 이용한 것이다.

고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터양자화는 입력 노드의 공분산 \widetilde{R}_n 의 최대의 고유값을 가지는 고유벡터를 이용하여 두 부공간으로 분할한다. 그러므로 식(8)의 가중치를 적용하여 공분산 \widetilde{R}_n 를 구하면 시각 효과를 가중치로 적용한 분할 고유벡터를 얻을 수 있다. 따라서 식(8a)와 같이 W_s 를 구하고 이를 2절의 식(2a)~식(2c)에 결합하여 식(9b)~식(9d)와 같이 나타낸다.

$$W_s = \begin{bmatrix} w_{s,0} & 0 & 0 \\ 0 & w_{s,1} & 0 \\ 0 & 0 & w_{s,2} \end{bmatrix} \quad (9a)$$

$$R_n = \sum_{s \in C_n} (W_s x_s)(W_s x_s)^t \quad (9b)$$

$$m_n = \sum_{s \in C_n} W_s x_s \quad (9c)$$

$$N_n = \sum_{s \in C_n} W_s \quad (9d)$$

위 식들을 식(3)에 적용하여 W_s 가 적용된 공분산 \widetilde{R}_n 를 구할수 있고 노드의 대표값인 q_n 을 구한다. 이것은 식(8)의 각 칼라별 가중치를 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터양자화의 노드의 분할과정에 결합한 것이다. 이는 그림 1에서 A가 가중치의 영향을 받아 달라지게 되고 따라서 이에 수직인 분할축 B가 달라진다. 즉, 각 노드를 두 노드로 분할하는 과정에 인간의 공간 시각 특성을 고려한 칼라 코드북을 생성하는 것을 의미한다.

4. 인간의 주파수 인식 특성을 이용한 양자화 영상의 화질 평가

일정한 거리에서 원영상과 양자화 영상을 관측하였을 때 인간의 시각 시스템은 양자화 영상과 원영상과의 차이를 느끼지 못한다. 이것은 인간의 시각 시스템이 양자화 오차를 인식하지 못하기 때문이다. 또한 영상의 칼라 분포의 특성에 따라 원영상과 유사하게 보여지는 양자화 레벨도 서로 다르다. 그러나 Orchard와 Bouman의 고유벡터를 이용한 이진 트리 벡터 양자화는 사용자가 제시하는 레벨로 영상의 양자화 레벨을 결정하게 되므로 자원의 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 인간의 시각이 양자화 영상의 에러를 공간 주파수 영역에서 인지하는 정도로 양자화의 레벨을 조사하여 화질을 평가한다.

제안 방법은 먼저 칼라 영상을 밝기 영상으로 변환한다. 이것은 칼라 영상으로 처리할 경우 계산량이 과다해지므로 부하를 피하기 위해, 또한 CIE(International Commission On Illumination) 표준에서 볼 수 있듯이 인간 시각 시스템이 밝기와 파장에 따라 인식율의 차이를 보이며 칼라의 인지도 각 파장의 밝기 값의 합산[7]으로 처리 하기 때문이다. 원영상의 밝기 성분과 양자화 영상의 밝기 성분의 차이로 차영상을 구하고, 이 차영상을 0과 1사이의 값으로 정규화 하여 이차원 이산 푸리에 변환으로

$E(u, v)$, $u = 1, 2, \dots, N-1$, $v = 1, 2, \dots, M-1$ 를 얻는다. 이에 인간의 시각 시스템이 공간 주파수에 따라서 감도가 변하는 정도를 특성화한 MTF함수를 결합하였으며 전달 함수로는 다음의 함수를 이용했다[8].

$$H(f_r) = \begin{cases} 2.2(0.19 + 0.114f_r) \exp(-(0.114f_r)^{1.1}), & \text{if } f_r > f_{max} \\ 1.0 & \text{if } f_r \leq f_{max} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 f_r 는 원형 주파수(radial frequency)로 수평 주파수 $u = 1, 2, \dots, N-1$,와 수직 주파수 $v = 1, 2, \dots, M-1$ 로부터 $f_r = \sqrt{u^2 + v^2}$ 와 같이 계산되며 f_{max} 는 $H(f_r)$ 의 값이 최대값을 갖는 주파수이다. 식(10)에서 f_r 은 주파수영역에서 수직, 수평 주파수로 변환하면 저역 통과 필터인 $H(u, v)$ 를 얻게 된다. 이 $H(u, v)$ 에 차영상을 이산 푸리에 변환한 $E(u, v)$ 을 결합하여 식(11)과 같이 SMSE(Subjective Mean Squared Error)를 구한다.

$$SMSE = \frac{1}{NM} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} |E(u, v)H(\sqrt{u^2 + v^2})|^2 \quad (11)$$

여기서 $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$, $v = 0, 1, 2, \dots, M-1$ 이다. 이때 SMSE는 원영상과 양자화 영상의 변화를 주파수 영역에서 인간의 시각이 얼마나 인지하는가의 척도를 의미한다. 따라서 이를 양자화 영상의 화질평가의 기준으로 삼는다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안된 방법의 평가를 위해서 다양한 화소 분포 특성을 가지는 256×256 크기의 1600만 칼라 정지 영상을 대상으로 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용해 시뮬레이션을 하였다.

그림 2의 (a)(d)는 Girl과 Lena의 원영상을 나타내고 (b)(e)는 양자화 레벨수 $L = 25$ 인 이진 트리 벡터 양자화 영상을 나타내며 (c)(f)는 동일한 양자화 레벨을 갖는 제안방법의 결과 영상이다. 그림2의 (c)와 (f)에서 볼 수 있는 바와 같이 전체 영상의 색상이 강조되어 보다 선명하게 보이고, (c)의 꽃부분과 유사색상의 어깨 부분을 살펴보면 색상의 구분이 명확해졌음을 알 수 있다. 즉, 양자화에서 발생하는 열화현상을 인간의 공간 지각 특성으로 강조하게 되어 선명한 색상의 영상을 얻을 수 있었으며, 유사색상 영역 분할에서 더 좋은 성능을 보여주었다.

표 1은 SMSE = 6.5일 때의 양자화 레벨을 조사한 것으로 결정된 양자화 영상의 레벨은 SMSE의 값과 가장 근사한 값을 보여주는 양자화 레벨을 정리한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이 제안한 양자화는 평균 20%의 레벨 감소 효과를 보였다. 특히 유사색상 영역이 많이 분포하는 lena영상의 경우에는 44%의 레벨 감소를 보였다. 이것은 제안방법이 유사색상

표 1. SMSE=6.5 일 경우 양자화 영상의 레벨수

영상 \ 양자화	BTVQ	제안방법
tiffany	33	28
girl	30	25
lena	42	29
pepper	32	27
candy	38	35
평균	35	29



그림 2. 원영상과 $L=25$ 인 양자화 영상

영역을 BTVQ보다 더 잘 분할 할 수 있음을 보여 준다. 또한 SMSE는 원영상과 양자화 영상의 변화를 주파수 영역에서 인간의 시각이 얼마나 인지하는가를 보여주는 기준으로써 제안방법이 BTVQ보다 더 낮은 레벨로 양자화 된다는 것은 인간의 주파수 인식 특성을 반영한 양자화 방법이라는 근거가 된다.

MSE는 인간의 시각을 고려한 척도가 아니며 양자화 레벨수가 증가함에 따라 일정한 비율로 감소한다. 본 논문이 제안한 SMSE는 인간의 시각이 저주파에 민감함을 고려한 화질 척도이다. SMSE가 인간의 시각을 고려한 화질 척도임을 보이기 위해 다음과 같이 표 1의 BTVQ와 제안방법으로 결정한 양자화 레벨수의 영상에 대한 주관적 화질평가를 실시하였다. 주관적 화질 평가는 비전문가 6인을 대상으로 화질 개선 정도를 5단계로 나누어 화질을 평가하였다 [9]. 표 2에서와 같이 SMSE로 결정한 적은 양자화 레벨수를 가지는 제안 방법과 기존방법과 양자화 영상의 화질이 비슷한 결과를 보임을 알 수 있다. 이는

표 2. 표 1의 양자화 레벨수에 따른 주관적 화질평가 결과

영상 \ 양자화	BTVQ	제안방법
tiffany	2.8	3.1
girl	3.0	2.9
lena	3.7	3.8
pepper	3.1	3.3

제안한 SMSE의 방법이 인간의 시각 특성을 고려한 평가 방법임을 보인다.

6. 결 론

본 논문에서는 인간의 공간 지각 특성을 결합한 고유벡터를 이용한 이진트리 벡터양자화를 제안한다. 그리고 인간의 주파수 인식 특성을 이용하여 양자화 영상의 화질을 평가하였다.

제안한 방법은 양자화 과정에서 시각 효과를 고려하여 영상의 칼라 성분이 강조된 양자화영상을 얻을

수 있었다. 이는 영상의 색상이 보다 더 선명하고, 유사색상의 영역분할에서 더 좋은 성능을 보여 결과 영상의 화질이 향상되었다. 또한 인간의 주파수 인식 특성을 이용하여 양자화된 영상의 화질을 평가해 보았다. 제안 방법을 적용 할 경우 기존의 방법 보다 양자화의 레벨을 감소시킬 수 있었다. 이는 용량이 적고, 색상의 표현에 한계가 있는 휴대용기기에 적용할 경우에 저용량 영상의 화질 향상, 자원의 감소 및 전송 효율면에서 유용할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] N.M. Nasrbadi and R.A. King, "Image coding using vector quantization: A Review," *IEEE Transaction on Communication*, Vol. 36, No. 8, pp. 604-619, 1988.

[2] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Transaction on Communication*, Vol. 28, No. 1, pp. 84-95, 1980.

[3] Chok-Ki Ma and Chi-Kit Chan, "Maximum descent method for image vector quantization," *Electronic Letters*, Vol. 27, pp. 1772-1773, 1991.

[4] Chok-Ki Chan and Chi-Kit Ma, "A fast method of designing better codebooks for image vector quantization," *IEEE Transactions on Communication*, Vol. 42, No. 2/3/4, pp. 237-242, 1994.

[5] M.T. Orchard and C.A. Bouman, "Color Quantization of Images", *IEEE Transaction on signal processing*, Vol. 39, No. 12, pp. 2677-2690, 1991.

[6] 강대성, 서석배, "주축의 연속적 분할을 통한 고속 벡터 양자화 코드북 설계," *정보과학회논문지*, 제27권, 제4호, pp. 422-431, 2000.

[7] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley Longman Inc., 1998.

[8] 김용관, 박세형, "인간의 시각 특성을 고려한 Sub-Band 부호화에서 MTF 비교에 관한 연구," *전자*

공학회논문지, 제27권, 제5호, pp. 140-148, 1990.

[9] Recommendation ITU-R BT. 500-6, "Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures," ITU-R 1974-1994.

[10] 김경만, 이은주, "인간 시각의 칼라 활성 왜곡 척도를 이용한 칼라 영상 양자화," *전자공학회 논문지*, 제33권, 제4호, pp. 101-109, 1996.

[11] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing 2nd*, PrenticeHall Publishing Company, 2001.



유 성 필

2000년 2월 충북대학교 정보통신공학과(학사)
2003년 2월 충북대학교 정보통신공학과(석사)

관심분야 : 영상통신, 영상정보처리
E-mail: cucus@chollian.net



곽 내 정

1993년 2월 충북대학교 정보통신공학과(학사)
1995년 2월 충북대학교 정보통신공학과(석사)
1997년 9월~현재 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : 영상통신, 영상정보처리
E-mail: knj0125@hanmail.net



박 원 배

1996년 충북대학교 정보통신공학과 공학사
1998년 충북대학교 정보통신공학과 공학석사
1998년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : 영상처리
E-mail: nte92@hanmail.net



안 재 형

1981년 충북대학교 전기공학과
(학사)

1983년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과(석사)

1992년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과(박사)

1987년 ~ 현재 충북대학교 전기 전
자공학부 교수

관심분야 : 영상 통신 및 영상정보처리, 멀티미디어 제
작 및 정보제공, 인터넷 통신 및 프로그래밍

E-mail: jhahn@cbucc.chungbuk.ac.kr

교 신 저 자

유 성 필 361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 충북대학교
정보통신공학과 영상통신연구실 46동 357호