

論文2003-40SP-1-15

Radon 변환을 이용한 주기적인 워터마크 패턴의 동기 복원 방법

(Robust Synchronization Recovery of a Periodic Watermark Using Radon Transform)

徐 鎮 淳 * , 柳 昌 東 **

(Jin S. Seo and Chang D. Yoo)

요 약

주기적인 워터마크 패턴에 적용할 수 있는 새로운 워터마크의 동기 복원 방법이 제안되었다. 주기적인 워터마크 패턴을 이용해서 워터마크의 동기를 찾는 방법은 널리 알려져 있지만, 직접적으로 동기 복원을 위한 파라미터를 추정하지 않고 대부분이 피크를 검출하는 과정에 의지하고 있어 그 성능에 있어 한계가 있었다. 제안된 동기 복원을 위한 파라미터 추정 방법은 Radon 변환을 이용하여 손실 압축이나 의도적으로 동기 복원을 방해하려는 공격 하에서도 동기를 복원하는 능력이 탁월한 성능을 보였다.

Abstract

A novel watermark registration method based on Radon transform for self-referencing watermark is presented. The novel method was successful in registering the watermark of the image that has undergone affine transformations and severe lossy compression, whereas the conventional method based on peak detection failed to register the watermark.

Keyword : watermarking, affine transformation, Radon transform, self reference, parameter estimation

I. 서 론

워터마크는 저작권 보호, 방송 감시, 복사 방지 등을 위해 오디오, 영상 등에 삽입되는 인간이 지각할 수 없는 신호이다. 워터마크는 인간이 지각할 수 없어야 하며, 권한이 없는 사람이 인지, 수정 할 수 없어야 하며,

일반적인 신호처리 과정 및 의도적인 공격에 대해 강인해야 한다. 압축, 잡음 첨가, 저주파 대역 필터링 등의 워터마크에 대한 공격은 워터마크 신호를 약하게 만들지만, affine 변환과 같은 기하적인 변형은 워터마크의 동기를 깨어서 워터마크가 검출되지 못하게 만든다^[1]. 특히 affine 변환은 영상을 사용하는 사람들이 쉽게 적용하여 영상의 화질을 떨어뜨리지 않고 워터마크를 검출하지 못하도록 만들 수가 있으므로 이에 대한 대응방법들이 많이 연구되어 왔다. 대응방법은 크게 3 가지 대표적인 방법으로 나눌 수 있다. Affine 변환에 대해 변하지 않는 변환을 이용하는 방법^[3], 부가 템플릿 (template) 신호를 추가하는 방법^[4,5], 주기신호를 이용한 자기 참조 방법^[6]들이 있다. 이 중에서 자기 참조 방법이 가장 좋은 성능을 가지는 것으로 알려져 있다^[2]. Affine 변환에 변하지 않는 변환은 실제 구현하기 힘든 문제가 있고, 부가 템플릿 신호는 추가적인 원본 손상

* 學生會員, 韓國科學技術院 電子電算學科

(Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

** 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科

(Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

接受日字:2002年月日, 수정완료일:2002年月日

을 가져올 수 있으므로 바람직하지 못하다. 그러나 자기참조 방법 또한 영상 신호의 간섭으로 인해 동기 복원이 어려운 경우가 많고, 이 현상은 손실 압축 정도가 커질수록 그 효과가 더욱 커진다. 이것을 극복하기 위해선 신뢰성 있는 동기 복원 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Radon 변환에 기반 하여 신뢰도를 높인 워터마크 동기 복원 방법을 제안하였다.

II. 영상에 대한 Affine 변환

영상에 대한 affine 변환의 예로는 cropping, 회전, scaling, aspect-ratio 변환 등이 대표적인 예들이다. 영상에 대한 affine 변환은 간단히 2차 정사각 행렬과 평행 이동으로 나타낼 수 있다. 원래 영상의 위치가 (x, y) , 그리고 변환후의 좌표가 (x', y') 이라면, 식 (1)과 같이 6개의 affine 파라미터들을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} \\ a_{10} & a_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x \\ s_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

영상을 cropping하는 것은 s_x 와 s_y 를 변화 시키며, 회전, scaling, aspect-ratio 변환 등은 위 행렬의 원소인 a_{00} , a_{01} , a_{10} , a_{11} 의 값을 변화시키게 된다. 많이 쓰이고 있는 대역확산 방식에 기반한 워터마킹 방법의 경우에는 위의 affine 파라미터들을 구해서 동기를 복원해 줘야 워터마크를 검출할 수 있다. 일반적으로 평행 이동 성분인 s_x 와 s_y 는 워터마크 패턴의 cross-correlation을 구하여 쉽게 찾을 수 있으므로^[19], 이 논문에서는 회전과 scaling에 관련된 파라미터를 추정하는 방법에 대해 논하도록 하겠다.

III. 주기적인 워터마크의 동기 복원

주기적인 워터마크 신호를 이용한 동기 복원 방법은 M. Kutter에 의해 제안되었고^[6], 그 이후로도 많은 연구가 이루어지고 있다^[7,8]. 주기적인 워터마크 신호는 하나의 워터마크 패턴을 <그림 1>과 같이 영상 전체에 걸쳐서 타일링(tiling)하여 만들어진다. 타일링된 워터마크 신호의 자기 상관(autocorrelation)을 구하면 주기 신호의 성질에 의해 <그림 2(a)>와 같이 피크들의 격자 형태를 이루게 된다. 그리고 이 타일링된 패턴이 회

전되면 격자의 방향도 회전되고, scaling되면 격자 내의 피크들의 주기도 같은 크기만큼 scaling되게 된다. 따라서 격자의 방향과 주기를 구하면 영상에 가해진 affine 변환을 알아낼 수 있게 된다. 구해진 affine 변환 파라미터를 이용해서 역변환 시키면 워터마크 패턴의 동기를 복원할 수 있게 된다.

일반적으로 기존의 논문들은 affine 변환 파라미터를 알아내기 위해 자기 상관 신호에서 피크들의 위치를 찾아내어 two-point matching^[8]이나 exhaustive search^[7]를 통해 affine 변환 파라미터들을 추정하였다. 그러나 이들 방법들은 피크를 검출하는 과정에서 계산량이 크고, 검출된 피크들의 정확도가 영상 신호의 간섭, 손실 압축 및 의도적으로 피크를 제거하는 공격에 의해 손상될 수 있다는 약점이 있다^[11]. 또한 검출된 피크들을 이용하여 affine 파라미터를 추정하는 과정이 어떠한 의미에서도 최적화 되어 있지 않다. 이에 반해 Radon 변환을 이용하는 방법은 maximum likelihood 파라미터 추정 방법을 근사한 것으로 그 의미가 있다^[13].

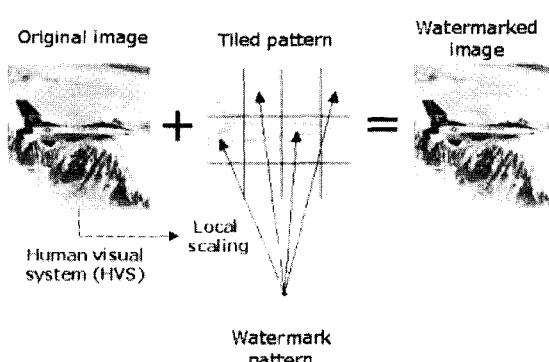


그림 1. 타일링된 워터마크 삽입
Fig. 1. Embedding of tiled watermark pattern.

기존의 방법들^[7,8]을 개선하기 위한 노력으로, SPIE EI 2002 학회에 본 논문의 저자들이 Hough 변환을 이용하는 방법을 발표한 바 있으며^[11], 동시에 F. Deguillanme의 저자들에 의해 Hough 변환을 이용하는 유사한 방법이 같은 학회에서 발표되었다^[13]. 본 논문에서는 특히 계산량을 더욱 줄이기 위해 이전 논문들^[13,14]이 Hough 변환 이전에 피크 검출을 하던 과정을 없애고, Radon 변환 후 큰 값을 추출하는 것으로 바꾸었다. 계산량이 줄어드는 것 이외에도 Radon 변환에 의해 자기 상관 도메인의 피크들이 합쳐져 큰 값을 가지게 되므로, Radon 변환 도메인에서 큰 값을 추출하여 affine

파라미터를 추정하면 그 추정값이 자기상관 도메인에서의 부정확한 피크 검출의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 자세한 내용은 IV절에서 다루겠다.

Radon 변환을 이진 영상에 적용할 경우 특히 Hough 변환이라 하며, Hough 변환은 영상내의 직선의 인식에 큰 효과가 있음이 알려져 있고 널리 사용되어 왔다 [10,11]. 자기상관 신호를 Radon 변환을 통해 투사하게 되면, 방향에 따라 워터마크 피크들이 합쳐져서 큰 신호를 이루게 되어 자기상관의 부분적인 특성에 좌우되지 않고 affine 파라미터들을 추정할 수 있게 되는 장점이 있다. 손실 압축 및 의도적인 공격을 겪은 후에는 워터마크 신호의 에너지가 줄어들어 워터마크 신호에 의한 피크와 영상 자체의 자기상관에 의한 피크와 구분이 모호해지므로 피크 검출의 정확도가 현저히 떨어지게 된다. 이 경우 기존의 방법은 피크 검출의 정확도에만 의존하고 있으므로 취약하다. 제안된 방법은 피크 검출 없이 Radon 변환을 직접 자기상관에 적용하여 affine 파라미터를 추정하여 부정확한 피크 검출의 영향을 받지 않는다.

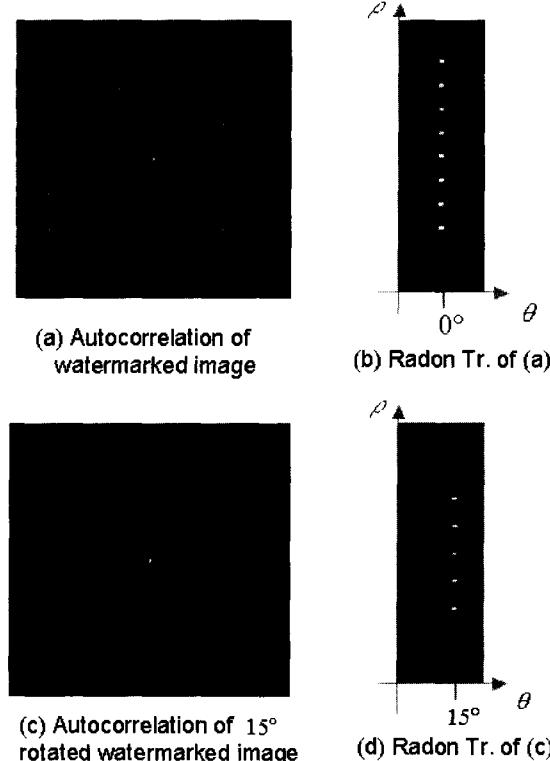


그림 2. 추출된 워터마크의 자기상관과 자기상관의 Radon 변환

Fig. 2. Autocorrelation of watermarked image and its Radon transform.

직선의 방정식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = x\cos(\theta) + y\sin(\theta) \quad (2)$$

여기서 θ 와 ρ 는 각각 직선의 법선 방향을 나타내고 원점으로부터의 거리를 나타낸다. Radon 변환은 영상 공간의 (x, y) 를 (ρ, θ) 의 파라미터 공간으로 변환해 주는 역할을 하게 된다. 그리고 이 변환에서 영상 공간의 각각의 위치의 기여가 Radon 변환된 공간에서 축적되어 나타나므로, Radon 변환의 결과를 직선의 방향과 원점으로부터의 거리에 대한 상대적인 likelihood를 나타내는 함수로 생각할 수 있다. 이렇게 2차원 공간에 흘러져 있는 특성을 1차원으로 축적시켜 변환해 주기 때문에, Radon 변환을 이용하면 일부의 피크 크기가 작거나 의도적으로 제거되거나^[12] 침가되어도 affine 파라미터를 정확히 구해낼 수 있게 된다.

<그림 2(a)>는 기하적인 변형을 겪지 않은 영상에서 추출된 워터마크의 자기상관을 보여 준다. <그림 2(c)>는 회전을 겪은 영상에서 추출된 워터마크의 자기상관을 보여 준다. <그림 2(b), (d)>는 각각 <그림 2(a), (c)>의 Radon 변환 결과로서 affine 파라미터를 쉽게 구할 수 있음을 알 수 있다.

IV. Affine 파라미터 추정

affine 변환을 겪은 영상에서 워터마크의 동기를 복원하기 위해서는 앞장에서 살펴본 바와 같이 영상이 겪은 회전각과 scaling factor를 추정해야 한다. 2차원 자기상관 함수에서 피크들의 위치를 찾아서 피크간의 상대 정보를 이용하여 affine 파라미터들을 추정하는 기존의 방법과 다르게, 제안된 방법은 피크 검출 없이 Radon 변환을 이용하여 직접 회전각과 scaling factor를 추정하는 것이다. 이는 3장에서 기술한 바와 같이 피크 검출의 약점을 보완하기 위한 것이다.

추출된 워터마크의 자기상관 함수의 Radon 변환한 결과를 $H(\theta, \rho)$ 라고 하자. Radon 변환을 구할 때 자기상관 함수의 $(0, 0)$ 부근은 영상의 구조에 의해 많이 좌우되는 부분이므로 그 부분의 자기상관 값은 0으로 만든 후 구해야 한다. 먼저 피크들의 기여를 고려하기 위해 $H(\theta, \rho)$ 의 값 중에서 가장 큰 값을 M 개 (보통 M 은 64 정도) 선택하여 그 큰 값이 나타나는 위치들의 집합을 $D = \{(\theta, \rho)\}$ 라고 나타내자. 추출된 워터마크

의 자기상관 함수는 피크의 격자 형태로 나타나고 영상이 회전하면 격자의 방향도 같이 회전하므로, 영상의 회전 방향에서 Radon 변환을 구하면 피크들의 크기가 축적되어 Radon 변환 값이 크게 나타나게 된다. 따라서 회전각을 구하기 위해 각각의 θ 에 대해 피크들의 기여를 나타내는 함수를 아래와 같이 생각할 수 있다.

$$N(\theta) = \sum_{(\theta, \rho) \in D} H(\theta, \rho) \quad (3)$$

위의 함수 $N(\theta)$ 를 최대로 하는 θ 값이 가장 가능성성이 높은 회전각이 된다. $N(\theta)$ 를 최대로 하는 회전각 $\hat{\theta}$ 에 대해서 scaling factor를 구하기 위해서는 $\hat{\theta}$ 방향의 Radon 변환에서 가장 가능성성이 높은 주기를 찾아야 한다. 주기는 식 (4)의 자기상관 함수를 이용하여 구할 수 있다.

$$A_\theta(T) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\hat{\theta}, \rho) H(\hat{\theta}, \rho - T) d\rho \quad (4)$$

$A_\theta(T)$ 를 최대로 하는 T 를 이용해서 scaling factor를 추정할 수 있다. 그러나 제로 영상의 에너지가 워터마크에 비해 크고, 압축을 많이 하면 할수록 워터마크 에너지는 급속히 작아지게 된다. 그에 비례하여 추정 자체의 신뢰도 역시 떨어지게 된다. 이에 대한 대응 방법으로는 식 (3)과 (4)를 가장 크게 하는 하나의 $\hat{\theta}$ 와 T 값을 찾을 것이 아니라 $N(\theta)$ 의 값을 크게 만드는 여러 개의 $\hat{\theta}$ 값을 찾고, 각각의 $\hat{\theta}$ 에 대해 $A_\theta(T)$ 를 크게 만드는 여러 개의 T 값을 찾아서 여러 번 워터마크 검출을 수행한다면, 계산량이나 시간은 오래 걸릴 수 있지만 워터마크 검출 성능을 높일 수 있다. 얼마나 여러 번 검출을 시도할 것인지는 워터마크 시스템 설계자가 계산량과 워터마크 검출의 정확도 사이에서 선택할 문제이다. 다음 장에서 실험적으로 시도의 횟수와 정확도와의 관계를 실험적으로 알아보겠다.

V. 실험 결과

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해, 여러 가지 다양한 영상 (512x512 크기)에 대해 검증하였다. 워터마크 패턴은 64x64 크기를 가지고 전체 영상에 대해 <그림 1>과 같이 타일링 하였다. 워터마크를 넣은 후 영상의

Peak signal-to-noise ratio (PSNR)은 38dB이상으로 유지하였다. 검증을 위해서 영상은 회전 후에 원래 크기로 cropping한 후 scaling 되었다. 즉, 모든 affine 변환을 겪은 후 IV장에 제시된 방법으로 회전각과 scaling factor 순으로 찾아가게 된다. 실험에 사용된 회전각은 $1^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 이고, 사용된 scaling factor는 0.75, 0.95, 1.05, 1.25, 1.5였다. Radon 변환의 해상도는 0.25° 의 회전각과 $1/64$ 의 scaling factor였다. 이 때 Radon 변환의 해상도는 사용하는 워터마크 자체가 얼마나 회전과 scaling에 강인한 가에 좌우된다. 예를 들어 워터마크 패턴이 0.25° 의 회전각과, $1/64$ 의 scaling에 대해 강인하다면 Radon 변환이 해상도는 그에 맞추게 된다. 워터마크 패턴과 Radon 변환의 해상도의 관계는 참고 문헌^[14]에 자세히 기술되어 있다.

<표 1>은 affine 변환을 겪은 워터마킹된 영상을 JPEG 압축하면서 회전각을 추정해 본 결과이다. $N(\theta)$ 의 값을 크게 하는 순서로 최대 9가지의 회전각을 찾았다. 영상에 실제로 가해진 회전각과 추정된 9가지의 회전각들을 비교하여, 실제의 회전각을 몇 번째 추정이내에서 찾았는지에 따라 아래 <표 1>에 추정 성공 확률을 구하였다. 압축률이 낮은 경우 (quality factor가 높은 경우)는 $N(\theta)$ 를 최대로 하는 하나의 회전각만을 찾아도 충분하지만 압축률이 높아질수록 (quality factor가 낮은 경우) 여러 번 워터마크 검출을 시도해야 함을 알 수 있다.

표 1. JPEG 압축을 겪은 후에 회전각을 정확히 추정할 확률

Table. 1. The probability (%) of correct rotation angle estimation after JPEG compression.

Number of candidates \ JPEG quality factor	JPEG 90%	JPEG 70%	JPEG 50%	JPEG 30%
1	82.7	90.7	77.3	39.3
3	97.3	97.3	97.3	86.7
5	100	98.7	99.3	94
7	100	98.7	99.3	98.7
9	100	100	100	99.3

<표 2>는 회전각을 맞게 찾았을 때, scaling factor

를 추정한 결과를 보인 것이다. 이번에도 마찬가지로 $A_\theta(T)$ 를 크게 하는 순서로 최대 9가지의 scaling factor를 추정하였다. 추정 결과를 실제 가해진 scaling factor와 비교하여, 가해진 scaling factor를 몇 번째 추정이내에서 찾았는지에 따라 아래 <표 2>에 추정 성공 확률을 구하였다. 회전각과 마찬가지로 압축률이 높아 질수록 여러 번 워터마크 검출을 시도해야 함을 알 수 있었다. <표 1>과 비교할 때 scaling factor를 추정하는 것이 더 힘든 것을 알 수 있다. 즉, scaling factor 추정 결과가 전체 워터마크 검출 성능에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

표 2. JPEG 압축을 겪은 후에 scaling factor를 정확히 추정할 확률

Table. 2. The probability (%) of correct scaling factor estimation after JPEG compression.

Number of candidates \ JPEG quality factor	JPEG 90%	JPEG 70%	JPEG 50%	JPEG 30%
1	92	70.7	52.7	6.7
3	99.3	90	83.3	15.4
5	100	96	94	28.9
7	100	98.7	96.7	46.3
9	100	99.3	97.3	61.7

그 밖에 영상의 화질을 크게 떨어뜨리지 않는 범위 내에서 의도적인 방법으로 피크를 삽입하거나 피크를 제거 하더라도^[12] 제안된 affine 파라미터 추정 방법은 큰 성능의 저하를 보이지 않았다.

VI. 결 론

Radon 변환 방법에 기반 하여 주기적인 워터마크 패턴에 적용할 수 있는 새로운 워터마크의 동기 복원 방법이 제안되었다. 주기적인 워터마크 패턴을 이용해서 워터마크의 동기를 찾는 방법은 널리 알려져 있지만, 직접적으로 동기 복원을 위한 파라미터를 추정하지 않고 대부분이 피크를 검출하는 과정에 의지하고 있어 그 성능에 있어 한계가 있었다. 제안된 동기 복원을 위한 파라미터 추정 방법은 피크 검출 없이 Radon 변환

을 이용하여 직접 회전각과 scaling factor를 추정하는 것이다. 이것은 기존의 방법이 영상이 손실 압축을 겪거나 피크를 의도적으로 제거 또는 첨가하는 공격에 취약하므로 이를 개선하기 위해 제안되었다. 실험적으로 제안된 방법이 손실 압축과 의도적인 피크 삽입이나 제거에 강인함을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Voloshynovskiy, S. Pereira, V. Iquise and T. Pun, "Attack modeling: towards a second generation watermarking benchmark," *Signal Processing*, Vol. 81, pp. 1177~1214, June 2001.
- [2] J. Hernandez and M. Kutter, "Information retrieval in digital watermarking," *IEEE Commun Mag.*, Vol. 39, pp. 110~116, August 2001.
- [3] J.J.K. O Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," in *Proc. of Inter. conf. on image processing (ICIP)*, Vol. 9, No. 6, pp. 1123~1129, 2000.
- [4] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 9, No. 6, pp. 1123~1129, 2000.
- [5] 홍수기, 조상현, 최홍문, "유손실 압축, 잘라내기 및 신축에 대해 견고한 HVS 모델 기반 워터마킹," 전자공학회 논문지, 제 38권 SP편, 제 5호, 2001년 9월
- [6] M. Kutter, "Watermarking resisting to translation, rotation and scaling," in *Proc. SPIE Int. Symp. on Voice, Video, and Data commun.*, 1998.
- [7] C. W. Honsiner and S. J. Daly, "Method for detecting rotation and magnification in images," *US patent 5835639*, 1998.
- [8] P.-C. Su and C.-C. J. Kuo, "Synchronized detection of the block-based watermark with invisible grid embedding," in *Proc. SPIE Electron imaging*, 2001.

- [9] M. Maes, T. Kalker, J.P. Linnartz, J. Talstra, G. Depovere, and J. Haitsma, "Digital watermarking for DVD video copy protection," *IEEE Signal Processing Mag.*, pp. 48~57, Sept. 2000.
- [10] J. Illingworth and J. Kittler, "A survey of the Hough transform," *Comput. Vis., Graphics, and Image Processing*, Vol. 44, pp. 87~116, 1988.
- [11] 구하성, 고형화, "한글 특징점 추출을 위한 일반화된 표본화 알고리즘을 이용한 수정된 Hough transform에 관한 연구," *전자공학회 논문지*, 제31권 B편, 제9호, 142~149쪽, 1994년 9월
- [12] A. Herrigel, S. Voloshynovskiy and Y. Rytzar, "The watermark template attack," in *Proc SPIE Electron imaging*, 2001.
- [13] F. Deguillaume, S. Voloshynovskiy, and T. Pun, "A method for the estimation and recovering from general affine transforms in digital watermarking applications," in *Proc. SPIE Electron imaging*, pp. 313~322, 2002.
- [14] J. S. Seo and C. D. Yoo, "On the design of template in the autocorrelation domain," in *Proc. SPIE Electron imaging*, pp. 305~312, 2002.

저자 소개

徐 鎮 洙(學生會員)

1998년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 학사, 2000년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사, 2000년 3월~현재 : 한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공 박사 과정, 2002년 4월~2002년 10월 : 네델란드 Philips Research 방문 연구원, <주관심분야 : 워터마킹, 영상 및 오디오 신호처리, 적응 신호처리>

柳 昌 東(正會員)

1986년 California Institute of Technology 학사, 1988년 Cornell University 석사, 1996년 MIT 박사, 1997년 1월~1999년 3월: KT Senior Researcher, 1999년 3월~현재: 한국과학기술원 전자전산학과 조교수, <주관심분야 : 디지털 신호처리, 음성 및 오디오 신호처리, 음성 인식, 적응 신호처리>