

웨이블릿 변환을 이용한 정보은닉 방법

• 안일영(서정대학교 인터넷정보과)

I. 서론

JPEG, MPEG 등의 이미지와 동영상 압축 표준과 같은 압축 기술의 발전에 따라 멀티미디어 데이터의 응용 범위가 확대되었다. 또한 빠르고 신뢰성있는 정보 통신망 구축으로 인하여 데이터의 왜곡없이 고속으로 수신자에게 전달되며 낮은 가격으로 배포될 수 있다[1-3].

여러 가지 이미지 변환 방법 중에서 이미지와 동영상 압축 표준으로 사용되는 DCT(discrete cosine transform)이 널리 사용되어 왔다. 따라서 많은 워터마킹 방법들이 DCT를 기반으로 연구되었다[4,5]. JPEG2000의 표준으로 웨이블릿 변환(wavelet transform)이 채택되므로써 이에 대응하는 DWT(discrete wavelet transform)을 기반으로 하는 워터마킹 방법이 많이 연구되고 있다[6]. DWT은 낮은 비트율 전송이나 관심 영역 코딩 등이 더욱 효율적이다. 워터마킹에 있어서 DWT는 다음과 같은 특징이 있다[7,8].

- 여러 개의 부대역으로 나타내는 다해상도 표현이 가능하고 각각의 부대역에 다른 종류의 정보를 삽입할 수 있다.

- 국부적인 공간-주파수 특성을 가진다. 이것은 워터마크가 삽입되더라도 이미지 일부에만 영향을 준다는 의미이다.

- 웨이블릿 압축에 의해 생기는 아티팩트(artefacts)는 웨이블릿 변환이 이미지를 블록으로 나누지 않기 때문에 DCT에 비하여 적다. 높은 압축율로 인해 발생하는 블록킹 아티팩트는 웨이블릿 변환 이미지보다도 DCT에 있어서 뚜렷하게 나타난다.

- 주파수 영역 변환인 DCT나 DFT(discrete fourier transform)보다도 HVS(human visual system)를 잘 적용할 수 있다. HVS가 덜 민감한 영역에 좀 더 강한 에너지를 가진 워터마크를 삽입한다. 이 영역에 강한 워터마크를 삽입하는 것은 화질의 왜곡없이 워터마크의 강인성을 높일도록 할 수 있다.

- DWT 계수의 크기는 가장 낮은 주파수 대역에서 크고 다른 대역에서는 비교적 작다. 상위 분해 레벨에서 임의의 위치에서 웨이블릿 계수가 0에 가깝다면 동일 위치의 모든 하위 분해레벨에서의 계수들도 0에 근접한 값을 가진다.

- 간단한 필터 연산을 사용하여 계산이 효율적이고 구현하기 쉽다.

여러 가지 워터마킹 방법은 응용에 따라 특정한 속성을 가지므로 모든 워터마킹 시스템을 만족하는 속성은 유일하지 않다. 일반적으로 대부분의 실제적인 응용에서 고려해야 할 사항은 다음과 같다[9].

비가시성은 디지털 워터마킹에 대한 필수적인 조건이다. 즉, 원 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지 사이 시각적으로 동일해야 하며 워터마크 삽입에 의해 원 이미지의 화질이 변형되지 않아야 한다. 대부분의 알려진 워터마킹 시스템의 요구사항 중에 하나는 워터마크가 여러 가지 공격과 통상적인 신호처리 공격에 상당히 강인해야 한다는 것이다. 이미지에 대한 디지털 워터마킹은 필터링 처리, 크기변경, 회전 등의 기하학적 변환, JPEG 압축 등에 강인하게 설계되는 것이 일반적이다.

멀티미디어 데이터 내부에 삽입된 워터마크의 용량을 결정하는 것은 얼마나 많은 워터마크를 원본 데이터에 눈에 보이지 않도록 숨길 수 있는지를 알아내는 것이다[10]. 워터마크 용량을 결정하는 선행조건은 워터마킹의 응용 분야에 따라 다르다. 워터마크의 비가시성, 강인성과 워터마크의 최대 용량에 대한 요구조건은 충돌된다. 어떤 워터마킹 방법도 이러한 3가지 요구사항을 만족하지 못한다. 따라서 이러한 요구 조건사이에 적절한 균형을 유지해야 한다.

안전하지 않은 워터마킹 방법은 저작권 보호나 데이터 인증, 디지털 콘텐츠의 불법적 배포를 추적하는데 사용될 수 없다. 그래서 워터마킹 방법과 지식을 사용하는 공격자가 디지털 콘텐츠 워터마킹을 위해 사용한 키를 모른다면 워터마킹 방법은 안전하고 강인하다. 따라서 숨겨진 워터마크 정보는 파괴될 수 없다.

II장에서는 웨이블릿 기반의 워터마킹 방법에 대하여 기술하고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 저작권 보호를 위한 웨이블릿 기반의 이미지 워터마킹 방법을 기술한다. 원 이미지를 웨이블릿 변환한 계수를 미리 정한 구간으로 나눈다. 웨이블릿 계수 값을 워터마크 비트가 1이면 경계 값이 홀수인 구간의 계수의 중간 값으로, 0이면 경계 값이 짝수 구간의 웨이블릿 계수 중간 값으로 변경한다. IV장에서는 제안한 방법에 대하여 실험 결과에 대하여 고찰한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

신뢰할 수 없는 네트워크의 전송 채널 때문에 전송된 이미지가 비인가자에 의해 변경될 수 있다. 이미지의 무결성을 입증하기 위한 인증 기술이 없이는 이러한 이미지를 신뢰하기 어렵다[11]. 따라서 이미지의 무결성 입증과 인증이 필수적인 응용에서 안전한 이미지 인증 기술에 대한 필요가 대두되었다. 연성 워터마킹 기술은 이미지가 변경되었는지 판단하는 효과적인 기술이 될 수 있으며 부분적 변경 정보를 제공할 수 있다. 또한 컴퓨팅 기술의 발달과 멀티미디어 콘텐츠의 소유권의 중요성에 대한 인식의 미흡으로 인하여 저작권 보호가 사회적 이슈가 되어 왔다. 이 이미지나 동영상 등에 고의적인 조작에 강인해야 하고 불법적인 배포자를 추적할 수 있어야 한다. 이러한 요구사항을 만족하는 디지털 워터마킹 기술은 공간영역 워터마킹과 주파수 영역 워터마킹 방법으로 분류할 수 있다. 주파수 영역 워터마킹 방법 중의 하나인 웨이블릿 기반의 워터마킹 방법들이 연구되고 있다.

M. Barni 등은 DWT 영역에서 인간시각 시스템의 특성을 이용한 워터마크 삽입 방법을 제안하였다[12]. 워터마크를 검출하기 위해 원 이미지가 필요 없는 방법이다. 또한 워터마크 세기는 이미지 픽셀 값의 변화에 대한 인간의 눈의 민감도를 척도로 각 픽셀마다 정해진다. 부대역

과 블록 기반으로 하는 다른 DWT 워터마킹 방법에 비하여 워터마크 세기가 픽셀 단위로 조절된다. 워터마크는 2진 의사랜덤 시퀀스로 구성되며 가중치를 곱한 값을 3개의 가장 큰 고주파 부대역의 DWT 계수에 더한다. 워터마크 검출은 워터마크와 워터마크가 삽입된 계수사이의 상관관계를 계산한다. 워터마크가 유무를 미리 정한 임계값과 비교하여 결정하는데, 이것은 이미지에 따라 다르다. 이미지의 cropping, JPEG에 의한 압축, 메디안 필터링, morphing 공격 등에 강인하다.

Houssein 등은 AES(advanced encryption standard)를 적용하여 워터마크를 암호화시킨 후 Haar DWT 방법을 사용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다[13]. 원본 이미지를 DWT한 후 암호화된 3비트의 워터마크 메시지를 HL, LH, HH 영역의 각 계수의 LSB에 1비트씩 배분한다. 워터마크 메시지가 각 부대역에서 주어진 계수의 비트 수보다 더 크면 3개의 부대역에 있어서 각 계수의 두 번째 LSB에 워터마크 메시지를 삽입한다. 이 방법은 픽셀 값에 영향을 미치지 않고 워터마크 메시지의 용량을 증가시킬 수 있다. 워터마크 검출시에는 워터마크 삽입시에 생성한 픽셀의 실수값 정보를 워터마크가 삽입된 이미지에 더하여 DWT를 계산한다. 이 계수의 LSB에서 암호화된 워터마크를 생성한 후 복호화하여 원래의 워터마크 메시지를 추출할 수 있다.

이미지에 대한 다해상도 분해에 있어서 웨이블릿 변환은 인간 시각의 특성과 유사하게 거의 로그 스케일의 대역폭으로 분해된다[14]. 분해된 대역은 시각적인 상호 작용없이 서로 독립적으로 처리되므로 워터마크의 비가시성을 높일 수 있다. Kundur 등은 2진 워터마크를 고주파 영역 웨이블릿 계수에 키를 사용하여 워터마크를 삽입한다[15]. 이 키는 무작위로 생성하고 웨이블릿 영역에서 삽입할 계수를 선택한다. 원 이미지를 DWT한 후, HL, LH, HH 영역의 계수를 오름차순으로 정렬한다. 워터마크가 1인 경우는 미리 정한 값을 더하고 -1인 경우는 빼는 방법으로 워터마크를 삽입하였다. 여기서 더해주는 값이 크면 이미지가 왜곡될 가능성이 줄어들지만 여러 가지 공격에 워터마크 검출이 부정확하게 된다. 공격자는 워터마크가 삽입된 이미지에서 워터마크가 삽입된 계수와 계수값에 더해진 값도 알 수 없다. 워터마크를 없애기 위해 모든 계수 값을 변경하면 이미지의 화질이 현저히 떨어지게 된다.

더하거나 빼는 Haar 웨이블릿 변환(HDWT)을 적용하여 이미지의 픽셀에서 주파수 영역의 웨이블릿 계수를 얻는다. 필터연산의 덧셈에 있어서 이미지의 중요한 정보를 표현하는 저주파 통과 웨이블릿 계수는 커진다. 뺄셈 연산에서는 픽셀사이 차를 나타낸다. 이미지의 에지 사이의 픽셀 값 차이는 크고, 변화가 적은 부분은 비교적 작다. Yen 등은 그레이 레벨로 이루어진 워터마크의 특정 픽셀을 16으로 나누어 몫과 나머지를 계산하여 이것을 키로 하는 랜덤 그레이 레벨 픽셀을 생성한다. 이 픽셀 값을 2개의 블록에 각각 채운다. 첫 번째 블록에 HDWT를 적용하여 원 이미지에 삽입한다. 두 번째 부분은 워터마크 추출을 위한 비밀 키로 사용하는 방법을 제안하였다[16]. 워터마크 검출은 워터마크가 삽입된 이미지에서 워터마크 삽입 방법의 역순으로 계산한다.

인간의 눈은 명도가 낮거나 높은 곳에서 덜 민감하다. 고주파 부대역과 대각선 방향을 가지는 대역, 텍스처 영역, 에지 부근에 있는 잡음에 덜 민감하다. Reddy 등은 HVS 특성을 이용하여 계산한 가중치에 기반하여 선택된 원 이미지의 웨이블릿 계수에 워터마크인 그레이 레벨 로고 이미지를 삽입하였다[17]. 원 이미지와 로고에 대하여 각각 L레벨과 1레벨 DWT 하고 각 계수에 대하여 가중치를 구한다. 임계값이상인 가중치를 가지는 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이러한 가중치는 저주파 부대역에 비하여 고주파 부대역의 값이 매우 크다. 워터마크 추출은 워터마크 삽입시에 적용한 가중치와 주위 픽셀의 왜곡에 따른 가중치를 사용하여 워터마크 비트를 검출하였다. 이 방법은 워터마크가 삽입된 이미지에서 워터마크를 추출하기 위해 원 이미지와 워터마크 이미지가 필요하다.

Wang과 Lin은 저작권 보호를 위해 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다[18]. 원 이미지를 4레벨 웨이블릿 분해하여 LH4, HL4, HH4 부대역의 각 계수에서부터 LH2, HL2, HH2 부대역까지 대응되는 계수들을 그룹화하는 수퍼트리를 생성한다. 이 그룹의 번호로 워터마크를 생성하는 랜덤 시퀀스를 생성하고 양자화된 2개의 수퍼트리에 1개의 워터마크 비트를 삽입하였다.

III. 제안한 방법

1. 워터마크 삽입

본 연구에서는 원 이미지를 3레벨 HDWT한 후, 32비트

의 2진 워터마크를 반복적으로 원 이미지에 삽입한다(그림1). 2차원 이미지를 행 방향으로 Haar 웨이블릿 필터링한 후, 다운 샘플링한다. 이것을 다시 열 방향으로 Haar 웨이블릿 필터링하면 원 이미지의 반으로 해상도가 줄어드는 저주파 성분(LL 영역)과 3개의 고주파 성분(HL, LH, HH 영역)으로 분할된다. 이것은 이미지에

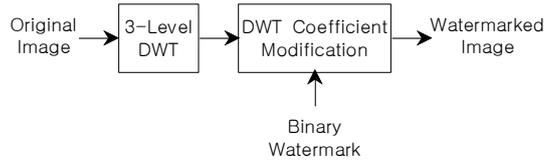


Fig. 1. 워터마크 삽입

서 수평, 수직, 대각선 방향의 에지 성분을 나타낸다. 다시 LL 영역을 같은 방법으로 HDWT를 수행한다. 이런 방법으로 그림2와 같이 LL 영역을 3레벨로 단계 분해한다. 웨이블릿 계수는 실수값을 가지며, 상위 분해레벨에서 웨이블릿 계수가 0에 가깝다면 모든 하위 분해레벨에서의 계수들도 0에 근접한 값을 가진다. 또한

LL3	HL3	HL2	HL1
LH3	HH3		
LH2		HH2	
LH1		HH1	

Fig. 2. 3레벨 HDWT

고주파 영역의 부대역의 웨이블릿 계수 값은 대부분 0에 가까운 값을 가지며 이미지의 에지 성분에서 웨이블릿 계수 값이 비교적 큰 값을 가진다. 워터마크를 저주파 대역에 삽입하면 워터마크가 눈에 띄 수 있으며 고주파 대역에 삽입하면 이미지 압축 등의 공격에 워터마크가 손상될

수 있다. 따라서 본 연구에서는 워터마크의 강인성과 비가시성의 조건을 어느 정도 충족하기 위해 HL3, LH3, HH3 영역의 웨이블릿 계수를 변경하는 방법으로 워터마크를 삽입한다.

그림3과 같이 웨이블릿 계수를 미리 정한 구간 $t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n$ 으로 나누고 HL3, LH3, HH3 영역의 모든 웨이블릿 계수에 대하여 계수 값을 변경한다. 여기서 t_n 은 웨이블릿 계수의 구간 경계 값이며 $t_{n-1} \sim t_n$ 사이에 포함되는 웨이블릿 계수의 개수는 일정하다. 실수인 웨이블릿 계수를 정수로 변환하여 해당 구간의 왼쪽 경계 값과 오른쪽 경계 값을 계산한다. 워터마크가 0이면 왼쪽 경계 값이 짝수인 구간의 중간 값으로 웨이블릿 계수를 변경하고 워터마크가 1이면 왼쪽 경계 값이 홀수인 구간의 중간 값으로 변경한다. 구간의 크기를 너무 크게 설정하면 웨이블릿 계수의 크기의 변경이 심해 화질이 손상되며 작게 설정하면 워터마크 검출율이 낮아진다. 본 연구에서는 구간의 크기를 3으로 설정하였다. 웨이블릿 계수 값을 변경하는 식은 다음과 같다.

$$C_{i,j}^{\theta} = \begin{cases} C_{i,j}^{\theta} + \frac{t_{n+1} - t_n}{2}, & \text{if } wm = 1 \\ C_{i,j}^{\theta} + \frac{t_n - t_{n-1}}{2}, & \text{if } wm = 0 \end{cases}$$

여기서 θ 는 웨이블릿 분해 레벨, i, j 는 웨이블릿 계수의 위치, wm 은 워터마크 비트를 나타낸다.

2. 워터마크 검출

워터마크 검출은 워터마크 삽입 과정의 역순으로 행한다. 워터마크가 삽입된 이미지를 3레벨 DWT한다. HL3, LH3, HH3 영역의 각 계수를 정수화하고 해당 계수 값이 속하는 구간의 왼쪽 경계 값을 구한다. 이 구간의 왼쪽 경계 값이 홀수이면 워터마크 비트가 1이고 짝수이면 0으로 설정한다. 모든 웨이블릿 계수에 대하여 추출된 모든 워터마크 비트에서

1의 개수와 0의 개수를 계산한다. 여기서 워터마크 비트 0의 개수가 평균 이상이면 최종 워터마크 비트는 0, 평균 미만이면 워터마크 비트는 1로 결정한다.

IV. 실험 및 고찰

512×512 크기의 Lena, Baboon, Airplane 이미지를 사용하여 웨이블릿 변환하여 HL3, LH3, HH3 영역의 고주파 성분은 모든 계수에 32비트의 2진 워터마크를 삽입하였다.

그림4(a)는 원 이미지이고 그림4(b)는 워터마크가 삽입된 이미지이다.



(a)



(b)

Fig. 4. (a) 원 이미지 (b) 워터마크 삽입 이미지

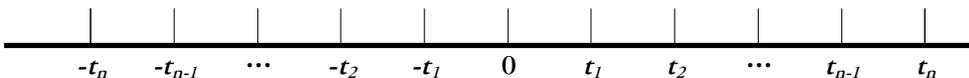


Fig. 3. 웨이블릿 계수의 구간 경계값

구간의 크기를 3으로 설정하였을 때 화질 차이를 나타내는 PSNR(peak signal to noise ratio) 값[19]은 Lena, Baboon, Airplane 이미지 각각에 대하여 50.2, 50.3, 50.1dB를 나타내었다. 구간의 크기를 5로 설정하였을 때 PSNR 값은 48.3, 48.4, 48.3의 값을 나타내었다. 구간의 크기를 9이상으로 설정하면, 이미지의 변화가 적은 부분부터 화질이 눈에 띄게 왜곡되어 워터마크의 비가시성의 조건을 만족하지 못한다. 구간의 크기가 증가하면 워터마크 검출율이 증가하지만 화질의 왜곡이 발생하는 것이다. 구간의 크기를 3으로 설정하고 워터마크를 삽입한 이미지를 37.1, 24.2, 21.5, 16.4, 13.3%로 압축한 후 워터마크를 검출하였다. 워터마크 비트의 에러율을 그림5에 나타내었다. 3개의 이미지 모두에서 16.4%까지의 압축율에서는 비트 에러율이 허용치 0.2이내의 값을 보이거나 13.3%의 압축율에서 0.3이상의 비트 에러율을 보인다. HL3, LH3, HH3 영역에다 HL2, LH2, HH2 영역에 추가로 워터마크를 삽입하면 워터마크의 비가시성을 유지하면서 JPEG 압축에 강한 방법이 될 수 있다.



Fig. 5. 이미지 압축시의 워터마크 비트 에러율

V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 정보 은닉 방법을 고찰한다. 원 이미지를 웨이블릿 변환한 계수를 변경하는데, 계수 값의 하위 비트 변경, 계수에 비례하여 정보를 삽입하는 방법, 실수인 웨이블릿 계수를 양자화하여 정보를 삽입하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 웨이블릿 계수를 정수화하여 구간으로 나눈다. 이 구간의 왼쪽 경계 값이 짝수와 홀수에 따라 워터마크 0 또는 1을 삽입한다.

이 방법은 구간의 간격이 넓어지면 워터마크의 검출율이 높아지지만 이미지의 변화가 적은 부분부터 화질이 왜곡되는 것이 눈에 띄게 된다. 또한 이미지 압축율에 따른 워터마크 비트 에러율은 테스트 이미지 모두에 대하여 13.3%의 압축율에서 0.2를 초과한다. 향후 인간시각 시스템을 적용한 웨이블릿 계수의 변환 방법과 LPF, HPF와 같은 표준 영상처리와 절단, 평균화 공격과 같은 고의적 공격에 워터마크를 검출할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] P. Meerwald and A. Uhl, "A Survey of Wavelet-domain Watermarking Algorithms", Security and watermarking of multimedia contents III, Proceedings of SPIE vol.4314, pp.505-516, 2001.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [3] M. Al-Mohimeed, "Wavelet-based Digital Watermarking", Security and watermarking of multimedia contents III, Proceedings of SPIE vol.4314, pp.418-423, 2001.
- [4] Chien Chang Chen and De-Sheng Kao, "DCT Based Reversible Image Watermarking Approach", Third IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp.482-492, 2007.
- [5] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shanon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol.6 no.12, pp.1673-1687, Dec 1997.
- [6] Y. Yang, X. Sun, H. Yang, and C.T. Li, "A Removable Visible Image Watermarking Algorithm in DCT Domain," Journal of Electronic Imaging, Vol. 17, No. 3, pp.033008-1~033008-11, July-September, 2008.
- [7] V. S. Jabede, S. R. Gengaje, "Literature Review of Wavelet based Digital Image Watermarking

- Techniques,” International Journal of Computer Applications, Vol.31, No.1, pp.28-35 Oct. 2011.
- [8] A. S. Lewis, G. Knowles, “Image Compression using the 2-D Wavelet Transform,” IEEE Transactions on image Processing, pp.244-250, Apr. 1992.
- [9] Hai Tao, Li Chongmin, Jasni Mohamad Zain, Ahmed N. Abdalla, “Robust Image Watermarking Theories and Techniques: A Review,” Journal of Applied Research and Technology, vol.12 pp.122-136, Feb. 2014.
- [10] M. Barni, F. Bartolini, A. De Rosa, Piva A, “Capacity of the Watermark Channel: How many bits can be hidden within a digital image?,” Security and Watermarking of Multimedia Contents, 1999, Proceedings of SPIE 3657, pp.437-448.
- [11] W. C. Ku, T. C. Chou, H. L. Wu, J. C. Chang, “A fragile watermarking scheme for Image Authentication with Tamper Detection and Localization,” 2010 Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, Dec. 2010, pp.638-641
- [12] M. Barni, F. Bartolini and A. Piva, “Improved Wavelet-based Watermarking Through Pixel-wise Masking”, IEEE Trans. on Image Processing, Vol.10, No.5, pp.783-791, May 2001.
- [13] E. Houssein, M. Ali and A. E. Hassanien, “An Image Steganography Algorithm using Haar Discrete Wavelet Transform with Advanced Encryption System”, Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information System pp.641-644, 2016.
- [14] M. Antonini, M. Barlaud, “Image Coding Using Wavelet Transform”, IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 1, No. 2, pp.205-220, April 1992.
- [15] D. Kundur and D. Hatzinakos, “Digital Watermarking using Multiresolution Wavelet Decomposition”, Proceedings of the 1998 IEEE International Conference Acoustic, Speech, Signal Processing, Vol. 5, pp.2969-2972.
- [16] Ester Yen, Kai-Shiang Tsai, “HDWT-based Grayscale Watermark For Copyright Protection”, Expert Systems with Applications 35, Elsevier, pp.301 - 306, 2008, .
- [17] A. A. Reddy, B. N. Chatterji, “A new Wavelet based Logo-watermarking Scheme”, Pattern Recognition Letters, Vol.26, Issue7, pp.1019-1027, May 2005.
- [18] S. H. Wang and Y. P. Lin, “Wavelet Tree Quantization for Copyright Protection Watermarking”, IEEE Trans. On Image Processing, Vol.13, No.2, pp.154-165, Feb. 2004.
- [19] Z. Yuefeng and L. Li, “Digital Image Watermarking Algorithms Based on Dual Transform Domain and Self-recovery”, International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems, Vol.8 Issue 1, pp.199-219, Mar. 2015.

저 자 소 개



안일영

1983년 한양대 전자공학과 졸업

1988년 한양대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2004년 한양대 대학원 전자계산학과 졸업
(공학박사)

2009년 ~ 현재 서정대학교 인터넷정보과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 영상압축