

의료영상에서 Polar 변환을 적용한 강인한 블라인드 워터마킹 기법

김태호* · 남기철** · 박무훈*

*창원대학교 전자공학과 · **NetCreav Corp

Robust Blind Watermarking in Medical Images Using by Polar Transformation

Tae-Ho Kim* · Gi-Chul Nam** · Mu-Hun Park*

*Changwon National University, **NetCreav Corp

E-mail : taerojang@hotmail.com

요 약

일반 의료기관에서의 PACS를 이용한 효율적인 환자 영상의 관리가 늘어가고 있다. 그런 환경 하에서 환자의 사생활 보호와 의료영상 자체의 소유권, 재산권의 여부 및 데이터 변형 여부의 판별이 중요시된다. 의료데이터의 보호를 위해 디지털 워터마킹이 사용되며, 본 논문에서는 RST공격에 강인한 워터마킹 기법을 제안한다. 기존에 제안된 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법 중에서 Log-Polar변환과 Fourier-Mellin 변환을 이용한 방법은 영상에 가해진 RST공격을 영상의 좌표변환과 DFT의 순환적 이동 특성을 이용하여 강인성을 확보한다. 하지만 실제적 구현에서 원영상과 워터마크의 손실이 문제 시 된다.

본 논문에서는 반지름-위상 Look Up Table을 이용하여 좌표변환 시 발생하는 손실을 없애고, 각종 공격에 강인한 블라인드 워터마킹 기법을 제안한다.

ABSTRACT

Medical images are being managed more by PACS in general medical institutions. It is important to protect patients from being invaded their privacy related to the images. It is also necessary to confirm the ownership, the right of property of the medical images and notice whether the data are modified.

In this paper, we propose a robust watermarking against RST attacks in medical images on the PACS. The proposed scheme modifies and improves Log-Polar Mapping and Fourier Mellin Transform in order to realize and recover serious image degradation and watermark data loss caused by the conversion between cartesian coordinate and log-polar coordinate. We used the radius and theta Look Up Table to solve the realization of the Fourier Mellin Transform, and inserted a watermark into 2D-DFT magnitudes using Spread Spectrum. Experimental results shows that this method are robust to several attack.

키워드

Robust Watermarking, RST, DFT, LPM, Look Up Table

1. 서 론

전자기술의 발달과 함께 멀티미디어, 정보통신의 발전은 의료장비의 디지털화 및 의료 진단 시스템 분야에서 괄목할 만한 발전을 보여 주고 있다. 기존의 RIS(Radiology Information System), HIS(H-

ospital Information System)의 Text 중심의 의료진단 시스템은 병원업무의 효율성을 높이고 있으나, 필름형태의 의료영상에 대한 관리는 효율적이지 못하다. 기존의 필름 중심 시스템에서는 의료영상의 동시사용과 복사의 한계, 필름 보관에 따른 비용과 인력, 저장공간의 확보, 고가의 필름의 가격,

필름 손상에 따른 재촬영과 소각에 따른 환경문제 등이 발생되고 있다. 이러한 물리적 문제를 해결하며 환자 정보의 편리성과 유용성을 확보하기 위해서, 의료영상의 통합적이고 효율적인 획득과 전송, 저장, 관리를 할 수 있는 의료영상 시스템인 PACS(Picture Archiving & Communication System)가 등장하고 있다[1][2].

PACS환경 하에서의 디지털 의료영상은 필름영상에 비해 획득, 전송, 복사, 저장의 편리성과 효율성을 가지며, 그로 인해 인터넷을 기반으로 하는 Medical Image System, 환자정보의 원격지 전송, 데이터베이스를 이용한 교육 및 정보이용의 활용을 가능하게 하고 있다[3][4][5]. 하지만 이러한 디지털 환경의 편리성과 함께 멀티미디어 콘텐츠의 디지털 정보에 대한 지적 재산권, 소유권, 데이터 인증 등의 문제가 의료영상 시스템에서도 발생할 수 있게 되었다. 이에 의료영상의 불법적인 사용의 제한과 환자 정보의 보안 및 인증을 위한 방법으로 디지털 워터마킹이 제안되고 있다[1][2][6][7].

일반적인 워터마킹 시스템은 공격에 대한 강인성(Robustness)과 영상 화질에 관련된 시각적 인지(Visibility)가 중요한 요구사항이다. 두 요소간의 Trade-Off를 통해 워터마크의 강인성과 영상의 화질손실 범위를 조정한다. 워터마크의 삽입 영역에 따라서 공간영역과 주파수영역의 워터마킹으로 분류되며, 공격에 대한 강인성과 효율적인 워터마크의 삽입과 검출을 위해서 영상의 주파수 변환을 통한 Frequency Watermarking이 주를 이룬다[5][8].

기하학적 변환과 압축 등의 영상 변형에 강인한 워터마킹 방법은 여러 가지 알고리즘으로 제안되어 왔다[5][9]. 그러한 공격 중 영상에 대한 RST(Rotation, Scale, Translation)의 기하학적 변형 공격은 삽입 워터마크와 추출 워터마크간의 동기(Synchronization)문제를 발생시켜 워터마크 추출에서 큰 문제점으로 인식되고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 제시된 Geometrical Invariant Watermarking 방식은 다음과 같다.

먼저 Template삽입을 통해 영상의 변환 여부를 측정하고 변형정도만큼의 역변환을 통해 워터마크의 동기를 맞추어 추출하는 방식[10][11], 두 번째는 영상의 특징점(feature)을 추출하여 그 특징점의 기하학적 특성을 이용하는 SGW(Second Generation Watermarking)방식[12][13], 마지막으로 좌표 변환인 Log-Polar 변환과 DFT의 순환적 이동특성을 이용한 방식이 있다.[6][7][14].

워터마크이외의 Template삽입방식은 워터마크 시스템의 Payload문제와 보간법 사용에 따른 Blurring현상으로 Template의 손실을 보이며, 특징점 추출방식은 특징점에 따라 워터마크 시스템의 성능이 결정되는 문제가 있다. O'Ruanaidh에 의해 제안된 LPM(Log-Polar Mapping)과 FMT(Fourier-Mellin Transformation)를 이용하는 마지막 방식은 RST변형영상이 LPM을 통해 새로운 좌표로 변환되며, 새 좌표에서 RS변형여부가 좌표축의 이동으로 표현되는 것을 DFT하여 RST변환에 불변한 영

역을 생성하는 방식이다. 하지만 실질적인 구현에서는 DFT진폭성분이 DC성분을 중심으로 비선형적인 분포를 가지고 있어 영상의 좌표변환 시 보간법을 사용하여도 데이터의 손실이 발생한다. 이러한 손실은 결국 영상의 화질과 워터마크의 손실과 연관되어 구현에 어려움을 주고 있다.

본 논문에서는 O'Ruanaidh가 제안한 방식에서의 원영상과 워터마크의 손실의 문제를 방지름- 위상 LUT(Look Up Table)를 이용하여 해결하며 의료영상에서의 각종 공격에 강인한 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 본 론

영상의 RST변환에 대한 푸리에 변환의 특성과 Log-Polar 변환의 특징, 이론적 모델, 실제 구현 모델의 차이를 알아보겠다.

2.1 푸리에 변환

$I(x,y)$ 의 8비트 화소의 강도(intensity)를 가지는 $N \times M$ 크기의 그레이 영상에서 Discrete Fourier 변환은 식(1)과 같다.

$$F(u,v) = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} I(x,y) \exp\left(-\frac{j2\pi ux}{N}\right) \exp\left(-\frac{j2\pi vy}{M}\right) \quad (1)$$

영상에 대한 푸리에 변환은 진폭(magnitude), 위상(phase)성분으로 나뉘며, 공간주파수 에너지인 진폭성분의 RST변환에 대한 특성은 다음과 같다[16].

$$f(x+a, y+b) \leftrightarrow F(u,v) \exp[-j(au+bv)] \quad (2)$$

$$f(\sigma x, \sigma y) \leftrightarrow \frac{1}{\sigma} F\left(\frac{u}{\sigma}, \frac{v}{\sigma}\right) \quad (3)$$

$$f(x \cos \theta - y \sin \theta, x \sin \theta + y \cos \theta) \leftrightarrow F(u \cos \theta - v \sin \theta, u \sin \theta + v \cos \theta) \quad (4)$$

영상에 대한 회전(식(4))은 DFT진폭성분에서도 회전각만큼 변하며, 크기변환(식(3))에서는 크기성분만큼의 좌표축의 감소와 진폭성분크기에서의 축소가 일어난다. 영상의 좌표축 이동(식(2))은 결과 영상의 DFT위상성분에만 영향을 미친다. 진폭성분에는 영향을 미치지 않으며, 그런 특징은 RST변환에 강인한 알고리즘에서 중요한 요소가 된다.

2.2 Log-Polar 변환

LPM은 영상의 좌표변환이다[10][12][17]. Log-Polar좌표계의 좌표축 (μ, ξ) 는 직각좌표상의 화소가 가지는 영상의 중심점으로부터 반지름을 \log 화하고 수평 x 축에 대한 각도를 측정하여 식(5)과 같

이 변형한다. 식(5)는 직각좌표상의 영상의 강도 $I(x,y)$ 를 샘플 되는 각 화소에 대한 반지름의 \log 값과 위상 값의 새로운 변환좌표로 표시한다.

$$\begin{aligned} \text{Log-Polar}(\mu, \xi) &= f(\log(r), \theta) \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2} \quad \theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

영상에 대한 RS변환은 Log-Polar좌표에서는 식(6)과 같이 크기변환에 $\log\sigma$, 회전변환에 α 의 크기만큼 좌표축의 이동의 형태로 표현되며, 변형된 DFT진폭성분에서도 순환이동(circular shift)특성이 적용된다.

$$\begin{aligned} \text{scale} : I(\mu + \log \sigma, \xi) \\ \text{rotation} : I(\mu, \xi + \alpha) \end{aligned} \quad (6)$$

LP좌표상의 화소를 DFT 하면 식(2)과 같이 좌표축의 이동은 진폭성분에는 영향을 미치지 않게 된다. 앞서의 과정이 식(7)과 같이 나타나며, 이러한 과정을 Fourier Mellin 변환이라 한다[10][12][17]. 식(7)과정 이전에 DFT를 삽입하면 RST변환에 강인한 영역의 생성과정이 된다.

$$Fm(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} LP(\mu, \xi) \exp[-j2\pi(u\mu + v\xi)] d\mu d\xi \quad (7)$$

2.3 Look Up Table

기존의 LPM은 실제적인 구현과정에서 푸리에 진폭성분을 이용하기에 진폭성분의 비선형적인 분포로 인해 보간법을 사용하여도 데이터의 손실이 크다.

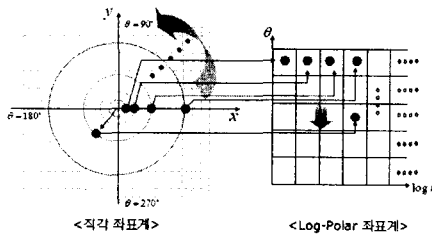


그림. 1 Log-Polar 변환

그림. 1과 같이 LP좌표상의 화소를 기준으로 역사상 방식을 이용하기 때문에 1:1변환이 아닌 1:N, N:1의 변환이 일어나며, 보간법 사용에 의한 영상의 Blurring효과는 DFT진폭계수에 직접적인 영향을 미쳐 실제 워터마크의 추출 및 검출을 어렵게 한다.

또한 256x256영상의 반지름 샘플이 256개일 때

그림. 2와 같이 샘플 되는 화소의 반지름이 지수함수의 성질에 따라서 중심점에서 멀어질수록 샘플링 간격이 성기게 되어 보간법의 사용이 불가피하다.

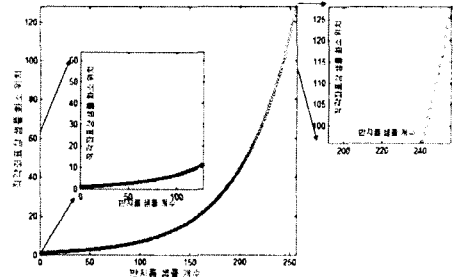


그림. 2 지수함수 형태의 반지름 샘플 간격

따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 일정한 영역 내에서 샘플 되는 각 화소의 반지름과 위상을 따로 보관하여 계산 시 이용할 수 있는 반지름-위상 Look Up Table방식을 제안한다.

Feng의 각 화소별 반지름 정보의 LUT에서는 동일 원주상의 화소를 일정 각도로 나누기 때문에 화소의 위상에 따른 손실이 발생한다[18]. 이에 화소 위치에 대한 위상정보를 합친 2차원 집합으로 반지름-위상 LUT를 사용하였다.

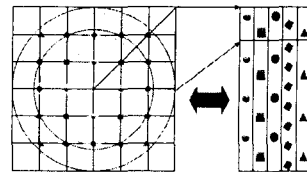


그림. 3 Look Up Table 개념도

그림. 3은 반지름-위상 LUT의 개념적인 그림으로 영상의 중심을 기준으로 45도 이내의 화소를 정하고 반지름을 구하며, 대칭성을 이용하여 각 화소의 위상을 구한 뒤 중복 없이 정렬하여 작성하였다.

III. 결과 및 고찰

512x512 의료영상에 가우시안 분포를 가지는 난수형태의 워터마크를 블라인드 방식으로 삽입한다.

3.1 실험 방법

양극 워터마크를 Polar 좌표영역 $PM(r, \theta)$ 에 그림 4와 같이 생성하고 반지름-위상 LUT를 이용하여 손실없이 직각좌표 $R(x, y)$ 로 변환하였다. 그리고 원영상의 DFT 진폭성분 $M(u, v)$ 에 식(8)과 같이 삽입영역의 진폭의 크기에 비례하여 삽입되는

Multiplicative 방식을 사용하였다[5]. 그리고 워터마크 삽입으로 인한 시각적 손실을 막고, 압축 및 필터링 공격에 강인하기 위해서 그림 5와 같이 중간 주파수대를 선택하여 삽입하였다.

$$I_w = I \times (1 + aW) \quad (8)$$

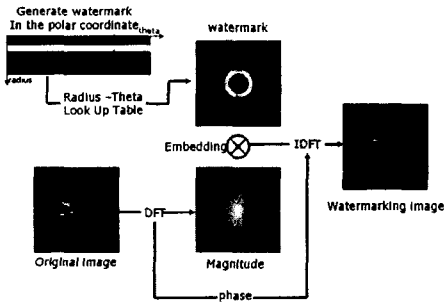


그림. 4 워터마크 삽입 과정

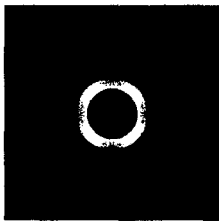


그림. 5 워터마크 삽입 영역

3.2 검출 방식

Blind 방식의 삽입과정의 역과정을 통해서 워터마크가 삽입된 진폭성분 $M'(u,v)$ 와 사용자에 정한 초기 값에 의해서 생성되는 워터마크와의 상관성을 통해서 워터마크의 존재여부를 판별하게 된다. 식(9)를 이용하여 검출하며, 경계치는 경험적으로 얻은 값을 사용하였다[12][13][19].

$$C = \frac{w(r, \phi) \cdot M'(r, \phi)}{\sqrt{M'(r, \phi)^2}} \quad (9)$$

3.3 실험 결과 및 고찰

의료영상에 대하여 실험하였으며 Blind 검출방식을 기준으로 그림 4의 과정을 따른다. 각각 공격이 없는 경우, 회전, 크기 변환, 이동, JPEG압축, 필터링 공격에 대해서 실험하였다.

먼저 공격이 없는 경우에 워터마크를 삽입하는 영역이 원영상의 푸리에 진폭성분이므로, 워터마크의 삽입으로 영상의 화질에 영향을 줄 수 있지만, 본 실험에서의 삽입 조건에서는 시각적 손상을

주지 않으며, 0.7 이상의 높은 corr값을 유지하였다. (그림 6 참조)

(a)Spine	(b)Abdomen	(c)Head
corr1 : 0.87	corr1 : 0.75	corr1 : 0.76
corr2 : 0.29	corr2 : 0.34	corr2 : 0.2

*corr1 : watermarking image detection result

*corr2 : original image detection result

그림. 6 공격이 없을 시의 상관도

회전공격에 대해서는 45도까지 1도씩 증가시키며 결과를 관찰하였다. Spine과 Kidney 영상은 다른 영상보다 높은 상관도를 보이지만 실험영상 모두 일정 상관도를 유지하면서 회전에 대한 강인성을 그림 7에서 확인하였다.

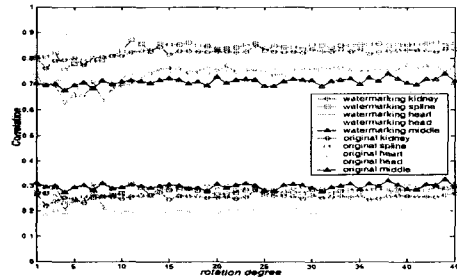


그림. 7 회전 공격에 대한 결과

Blind 방식으로 삽입된 워터마크는 영상의 진폭성분의 크기에 비례하기 때문에 크기변환에 따른 진폭성분의 변화는 워터마크의 검출에 영향을 미치지 않는다. 실험영상 모두에서 0.7이상의 상관도를 가지며, 크기변환 공격에 대해 강인성을 그림 8에서 확인하였다.

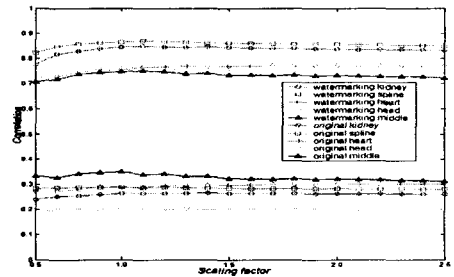


그림. 8 크기 변환 공격에 대한 결과

영상의 좌표축에 대한 이동은 푸리에 변환의 진폭성분에 영향을 미치지 않으므로 그 결과는 그림 9와 같이 일정한 상관도를 보이게 된다.

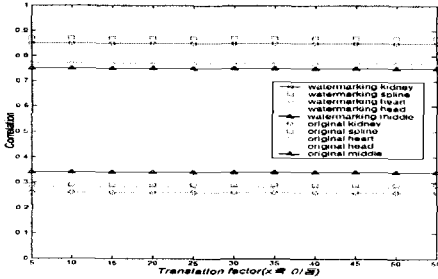


그림. 9 이동 공격에 대한 결과

의료영상은 병변이 일정기간 저장이 되어야 하므로 압축에 대해서도 워터마크의 강인성을 유지하여야 하며 결과치는 그림10과 같다. 전체적으로는 30까지는 0.65이상의 상관도를 보이며, 압축률이 최고인 10에서도 경계치 이상으로 상관도가 계산되어 워터마크의 존재여부를 압축의 장도에 상관없이 확인할 수 있었다. 압축률 80%(20 factor)에서의 급격한 변화는 압축자체의 손실에 기인한 것이다.

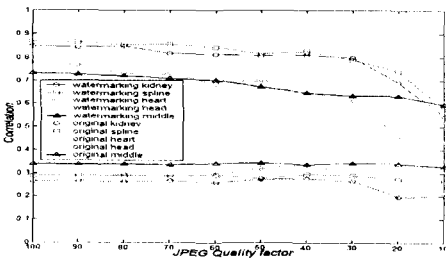


그림. 10 JPEG 압축 공격에 대한 결과

의료영상에서 병변 확인과 잡음 제거를 위한 필터링, 그리고 잡음이 가해졌을 때의 상황을 가정하여 실험하였다. 실험 결과 각 영상별로 0.72이상의 상관도를 보이며 여러 가지의 필터링 처리에도 강인함을 확인하였다. 다음 표1은 각종 필터링 공격을 다른 의료영상에 대해서 실험한 결과이며 모든 조건에서 워터마크를 확인할 수 있었다.

표 1. 필터링 공격에 대한 실험영상의 상관도

	상관도	Heart	Head	Abdomen	Spine	Kidney
밝기 (+150)	corr1	0.77	0.76	0.75	0.87	0.85
	corr2	0.29	0.2	0.33	0.29	0.26
메디안 필터	corr1	0.69	0.66	0.64	0.8	0.81
	corr2	0.28	0.18	0.33	0.28	0.27
평균값 필터	corr1	0.75	0.73	0.73	0.84	0.82
	corr2	0.29	0.21	0.32	0.28	0.26
선명화 필터	corr1	0.79	0.78	0.76	0.9	0.86
	corr2	0.28	0.19	0.32	0.29	0.24
소금 후추	corr1	0.47	0.63	0.75	0.78	0.62
	corr2	0.11	0.14	0.32	0.24	0.18
가우 시안	corr1	0.5	0.57	0.67	0.72	0.55
	corr2	0.00	0.17	0.32	0.25	0.05

*corr1 : watermarking image detection result

*corr2 : original image detection result

IV. 결론

본 논문에서는 PACS 환경하에서의 의료영상에서 발생하는 회전 공격에 대해 새롭게 제안한 반지름-위상 LUT를 이용한 Polar변환과 DFT의 워터마킹 기법으로 강인성을 확인하였다. 기존의 O'Ruanaidh방식의 실제 구현에서의 문제점을 샘플화소 마다의 반지름과 위상에 대한 LUT를 생성시켜 영상의 좌표변환에 따른 영상과 워터마크의 손실을 해소하였다.

원영상의 조회, 검색과정을 줄이며 신속한 워터마크의 검출을 위해서 Blind 방식을 사용하였으며 의료영상이 필요한 어디에서나 워터마크의 검출을 통해 영상의 정보와 데이터 인증을 가능하게 하였다. 원영상에 대한 Polar변환으로 발생하는 많은 계산량과 시간의 증가를 줄이기 위해서 polar 좌표계에서 생성된 워터마크를 반지름-위상 LUT를 이용하여 직각좌표계로 변환하여 원영상의 푸리에 진폭성분에 Multiplicative방식으로 삽입하였다. 반지름-위상 LUT를 사용함으로써, 워터마크가 삽입되는 정수화소의 위치를 기억하여 좌표변환에 따른 손실을 최소화하였다. 기존의 동일한 반지름, 위상 샘플간격을 이용한 변환에서 발생하는 좌표변환에 따른 워터마크 삽입 화소의 불일치에 따른 손실을 보완할 수 있었다. 그리고 RST변환에 대한 실험결과에서 실험영상에 대해서 각각 0.7이상의 상관도를 가지며, 공격에 대한 강인성을 확인하였다. JPEG 압축과 영상처리를 위한 필터링 공격에서도 경계치 이상의 상관도로 워터마크의 강인성을 확인하였다.

향후 잘라내기 공격과 좌우 좌표축의 크기변환을 다르게 하는 공격에 대한 강인성을 확인할 것이며, 또한 이진워터마크를 이용하여 시각적 인지성을 높이는 방식을 연구하며 의료영상의 무결성 특성을 살린 Fragile방식, 워터마크의 검출 이후에 삽입 마크를 제거하는 Reversible방식에 대한 연구를 하고자 한다.

참고문헌

- [1] 朴玄旭, "Picture Archiving and Communication System(PACS) and Teleradiology", 電子工學會誌 第23卷 第3號 pp313-323, 1996
- [2] C.Coatrieux, H.Maitre, B.Sankur, YRolland, R.Collorec, "Relevance of watermarking in Medical Imaging", IEEE EMBS Conf. On Information, 2000
- [3] Weidong Cai, Dagan Feng, R.Fulton, "Web-based digital medical images", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.01, pp44~47, 2001
- [4] 김현규, "www 기반의 원격 PACS의 기초연

구, 창원대학교 졸업논문, 2002. 6

[5] Ingemar J.Cox, Joe Kilian, Tom Leighton, Talal Shamoon, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia", IEEE, ICIP 96, 1996

[6] 남기철, 박무훈, "의료영상에서의 워터마킹 기법에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 추계 학술발표논문집, pp348-351, Vol.6, NO.2, 2002. 11

[7] 남기철, 박무훈, "Polar 변환기법을 이용한 의료 영상 워터마킹", 부산, 경남전자공학회 춘계 학술발표논문집, 제 12권, pp87-90, 2003. 6

[8] R. G. Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," ICIP 94, vol. 2, pp.86-90, Austin, TX, Nov. 1994

[9] Ingemar J.Cox, M.L.Miller and J.A PBloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2001

[10] 김형림, 이경무, □□블럭기반의 log-polar mapping을 이용한 견고한 워터마킹에 대한 연구 □□, 제 12회 신호처리합동학술대회, 제12권, 제1호, 포항공과대학, 1999

[11] C-Y. Lin, M. Wu, J.A. Bloom, M.L. Miller, I.J. Cox, and Y-M. Lui: "Rotation, Scale, and Translation Resilient Public Watermarking for Images," IEEE Transactions on Image Processing, vol.10, no.5, 2001

[12] B.S Kim, Robust digital image watermarking method against geometrical attacks, Real Time Imaging, Vol.9, No.2, pp.139-149, 2003

[13] 추현곤, □□RST변환에 강인한 이미지 워터마킹 방법 □□, 제 15회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, 2003

[14] Shelby Pereira, Joe J. K. O'Ruanaidh, Frederic Deguillaume, Gabriella Csurka and Thierry Pun, "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps", In IEEE Multimedia Systems 99, Vol. 1, pp. 870-874, Florence,

Italy, 1999

[15] M. Kutter, "Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling," in Proc. of SPIE, Boston, USA, 1998

[16] 하영호 외 3명, □□디지털 영상 처리 □□, 그린출판사, pp 80-127

[17] Joseph J.K.O'Ruanaidh and Trierry Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", IEEE ICIP, pp 536-539, Santa Barbara, 1998

[18] M.Kutter, S.K.Bhattacharjee, T.Ebrahimi, "Towards Second Generation Watermarking Schemes", Image Processing, 1999, ICIP99, Proceedings, 1999 International Conference on, Volume 1, 1999 pp 320-323

[19] M.L.Miller, J.A PBloom, "Computing the Probability of False Watermark Detection", Proceeding of the Third International Workshop on Information Hiding, pp 146-158, 1999

저자소개

김태호(Tae-Ho Kim)
 2004. 2 : 창원대학교 전자공학과 졸업
 2004. 3.~현재 : 창원대학교 전자공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 영상처리, 워터마킹, 가상현실

남기철(Gi-Chul Nam)
 2004. 2 : 창원대학교 전자공학과 석사과정 졸업
 2004. 3.~현재 : (주)넵크레이브 주임 연구원
 ※ 관심분야 : 영상처리, 홈네트워크

박무훈(Mu-Hun Park)
 현재 창원대학교 전자공학과 조교수
 ※ 관심분야 : 신호처리