
의료영상에서 Polar 변환을 적용한 강인한 워터마킹 기법

남기철* · 박무훈*

Robust Watermarking in Medical Images Using by Polar Transformation

Gi-Chul Nam* · Mu-Hun Park*

요 약

일반 의료기관에서의 PACS를 이용한 효율적인 환자 영상의 관리가 늘어가고 있다. 그런 환경하에서 환자의 사생활 보호와 의료영상 자체의 소유권, 재산권의 여부 및 데이터 변형 여부의 판별이 중요시 된다. 의료데이터의 보호를 위해 디지털 워터마킹이 사용되며, 본 논문에서는 RST공격에 강인한 워터마킹 기법을 제안한다. 기존에 제안된 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법중에서 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 막으면서 회전에 강인한 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 rotation attack.

키워드

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

1. 서 론

전자기술과 정보통신분야의 발전으로 의료장비와 의료정보의 관리체계에 많은 변화가 있다. 효율적인 의료영상의 관리를 위해서 기존의 필름기

반의 관리시스템을 디지털 데이터로 변환하여 물리적, 경제적 효율성을 얻고 있으며, 기존의 RIS (Radiology Information System), HIS(Hospital Information System)를 환자 데이터와 결합한

* 창원대학교
접수일자 : 2003. 10. 18

DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)표준을 따르는 PACS(Picture Archiving and Communication System)가 많은 의료기관에 보급되고 있다[1][2].

의료영상은 인체의 이상 유무의 판별과 개인의 사생활 보호를 위해서 보안의 중요성이 인식되고 있다. 그리고 의사의 진단이 있기 전에는 데이터의 무결성이 확인돼야 하며, 진단이 완료된 뒤에는 법적으로 일정기간 이상 보관해야 한다. 건강에 대한 관심과 수요의 증가로 인터넷을 이용한 의료정보서비스가 개설되며, 그에 따라 PACS를 이용한 원격진료와 인터넷 기반의 PACS에 대한 연구가 진행중이다[3][4].

방화벽이나 사용자에 따른 아이디와 비밀번호의 사용은 불손하고 의도적인 접근을 원천적으로 차단하며, 데이터의 전송 시에는 암호화 방식을 이용하여 보호하고 있다. 하지만 이런 방식은 의료영상의 유출이나 불법복사, 유통에 대한 사후 데이터 보호에는 미흡하기에 사용자 및 소유권자를 식별할 수 있는 워터마크(watermark)를 삽입하여 데이터를 보호하는 워터마킹이 제안되고 있다[5][6].

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[7][8].

기존에 제안된 워터마킹 알고리즘들은 압축, 필터링, 노이징, 스캐닝, 영상처리 등의 다양한 환경에서도 워터마크를 추출할 수 있지만, 영상의 기하학적 변환에서는 워터마크 간의 동기추출(synchronization)문제가 있다.

일반적으로 기하학적 변환을 RST(Rotation, Scaling, Translation)변환이라 칭한다. 기존에 제안된 RST변환에 강인한 워터마킹 알고리즘들은 크게 세가지로 분류된다. 먼저 Template삽입을

통해 영상의 변환 여부를 측정하고 변형정도만큼의 역변환을 통해 워터마크의 동기를 맞추어 추출하는 방식[9][10], 두 번째는 영상의 특징점(feature)을 추출하여 그 특징점의 기하학적 특성을 이용하는 SGW(Second Generation Watermarking)방식[11][12], 마지막으로 좌표변환인 Log-Polar 변환과 DFT의 순환적 이동특성을 이용한 방식이 있다.[13]-[15].

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 영역을 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 반지름-위상 LUT(Look Up Table)를 이용하여 해결한다. Feng이 사용한 반지름 LUT 방식과 본 논문에서 제안한 반지름-위상 LUT의 성능을 비교하고, 의료영상에서의 회전변환에 대한 강인한 워터마킹 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 본 론

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

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 결과영상의 DFT위상성분에만 영향을 미친다. 진폭성분에는 영향을 미치지 않으며, 그런 특징은 RST변환에 강인한 알고리즘에서 중요한 요소가 된다.

2.2 Log-Polar 변환

LPM은 영상의 좌표변환이다[13]-[15]. Log-Polar좌표계의 좌표축 (μ, ξ)는 직각좌표상의 화소가 가지는 영상의 중심점으로부터 반지름을 log화하고 수평 x축에 대한 각도를 측정하여 식(5)과 같이 변형한다. 식(5)는 직각좌표상의 영상의 강도 $I(x,y)$ 를 샘플되는 각 화소에 대한 반지름의 log값과 위상값의 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.

$$\text{scale} : I(\mu + \log \sigma, \xi) \quad (6)$$

$$\text{rotation} : I(\mu, \xi + \alpha)$$

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[13]-[15]. 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.

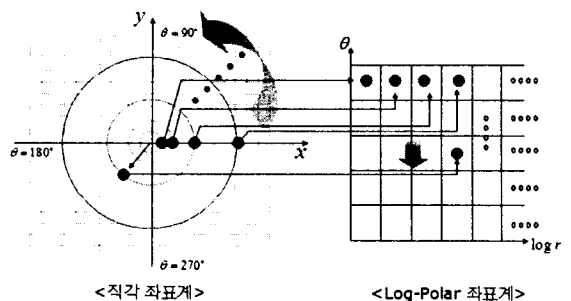


그림. 1 Log-Polar 변환
Fig. 1 Log-Polar Transformation

그림. 1과 같이 LP좌표상의 화소를 기준으로 역사상(寫像)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 256×256영상의 반지름 샘플이 256개일 때 그림. 2와 같이 샘플되는 화소의 반지름이 지수함수의 성질에 따라서 중심점에서 멀어질수록 샘플링 간격이 성기게 되어 보간법의 사용이 불가피하다.

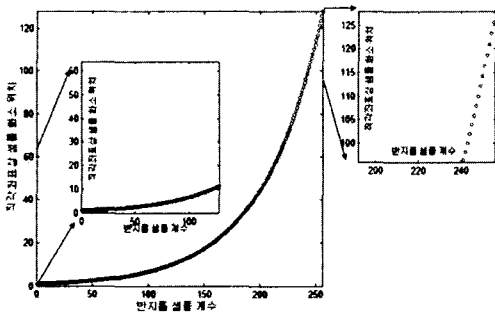


그림. 2 지수함수 형태의 반지름 샘플 간격
Fig. 2 Exponential function type's radius sampling distance

따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 일정한 영역 내에서 샘플되는 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[11]. 이에 화소 위치에 대한 위상정보를 합친 2차원 집합으로 반지름-위상 LUT를 사용하였다.

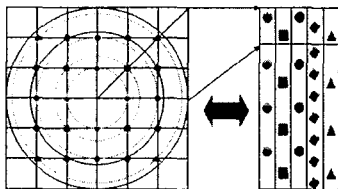


그림. 3 Look Up Table 개념도
Fig. 3 Concept of the Look Up Table

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

III. 결과 및 고찰

512×512 의료영상인 혈관조영영상, 초음파영상, 자기공명영상에 가우시안 분포를 가지는 난수형태의 워터마크와 이진 워터마크를 삽입한다.

3.1 실험 방법

원영상의 중심점을 기준으로 LUT를 사용하여 Polar 변환을 한다. Polar 변환된 새로운 좌표계에서는 영상의 회전이 좌표축의 이동으로 표현되며, DFT하여 진폭성분만을 추출한다. 여기에 사용자 key에 의해 난수화 된 워터마크를 주파수 대역 확산 방식을 이용하여 진폭성분의 저주파 영역에 가중치를 곱하여 additive 방식으로 삽입한다.

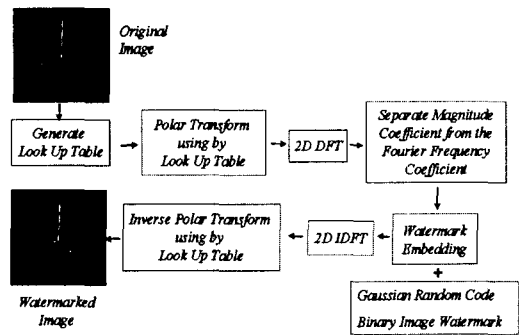


그림. 4 워터마크 삽입 과정
Fig. 4 Watermarking embedding process

3.2 검출 방식

원영상을 이용하는 Non-Blind 방식으로 삽입 방식의 역과정을 통해서 삽입 당시와 동일한 상태에서 워터마크를 검출하여 CC(Correlation Coefficient)와 NC(Normalized Correlation)를 사용하여 강인성 여부를 판별하였다[17]. 임계치는 Cox의 0.2를 기준으로 하였다[7].

13.3 실험 결과 및 고찰

먼저 Feng이 제안한 반지름 LUT와 본 논문에서 제안하는 반지름-위상 LUT의 성능을 그림. 4의 알고리즘으로 비교하였다. 가로축은 반지름 샘플개수이며, 반지름 LUT에서 위상은 512개로 고정하였다. 그림. 5에서 샘플개수가 64개일 때 반지름-위상 LUT와 반지름 LUT의 추출 워터마크의 상관도의 차이가 크다. 반지름 LUT는 위상 샘플이 512개로 반지름-위상 LUT의 304개보다 많지만, 각 화소에 따른 정확한 위상을 사용하지 않기 때문에 차이가 난다. 반지름 샘플이 커질수록 워터마크의 수용능력(Capacity)이 커지므로, 두 LUT방식에 의한 차이는 줄어들는다.

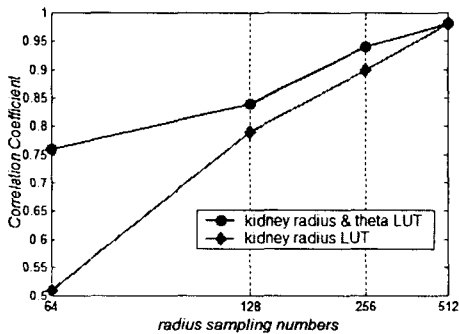


그림. 5 제안된 방식과 Feng 방식의 비교
Fig. 5 Comparison between proposed method and Feng method

그림. 5의 결과를 바탕으로 반지름 샘플의 개수가 64개인 조건으로 그림. 4의 알고리즘을 적용했다. 그림. 6은 실험영상에 1024비트의 Pseudo random watermark를 삽입한 워터마킹 영상을 45도까지 1도씩 회전시키면서 검출한 상관도이다. 0.4~0.5의 상관도를 일정하게 유지하면서 회전에 강인함을 보였다. LUT 생성시 영상의 45도 각도 이내의 화소를 기준으로 작성하기 때문에 45도 내의 결과는 전체 회전에 대한 결과가 된다. 그림. 7은 영상의 미세회전에 대한 결과로 영상마다 약간의 차이는 있지만, 상관도 0.5의 일정한 결과를 보였다. 그리고 영상의 중심을 이용한 워터마킹 방식이기에, 잘라내기 공격에도 강인함을 보일 수 있을 것이다.

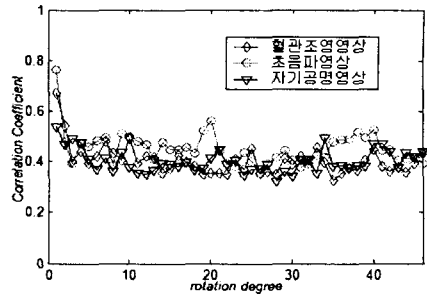


그림. 6 45°이내 회전 결과
Fig. 6 Within 45°rotation result

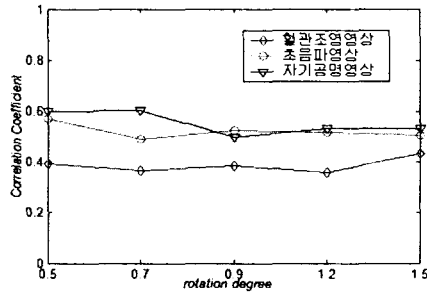


그림. 7 1.5°이내의 회전 결과
Fig. 7 Within 1.5°rotation result

마지막으로 32×32 이진워터마크를 삽입, 검출하였다. 그림. 8과 같이 원영상의 손실은 없으면서 시각적으로 높은 인지성을 보이는 워터마크를 추출할 수 있었으며, 공격에 대한 강인성을 연구중이다.

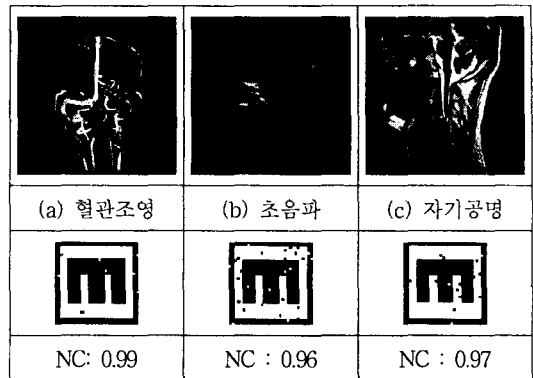


그림. 8 32×32 이진워터마크 결과
Fig. 8 32×32 Binary watermark result

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 샘플화소마다의 반지름과 위상에 대한 LUT를 생성시켜 영상의 좌표변환에 따른 영상과 워터마크의 손실을 해소하였다. 그리고 Feng의 연구에서 제안된 반지름 LUT과의 비교실험을 통하여 본 논문에서 제안한 반지름-위상 LUT를 이용한 영상의 좌표변환과 삽입된 워터마크의 손실이 최소화됨을 확인하였다.

의료영상의 1도씩의 회전에 대해 0.4~0.5의 상관도로 강인성을 확인했으며, 미세회전공격에서도 0.5이상의 상관도를 보였다. 또한 워터마크의 시각적 인지성을 높이기 위해서 이진워터마크를 삽입하여 높은 상관도의 결과를 검출하였다.

앞으로 크기변환과 이동공격에 대한 강인성 확보를 위해서 원영상을 이용하지 않는 Blind 검출 방식에 대한 연구와 함께 의료영상의 무결성 특성을 살린 Fragile방식, 워터마크의 검출 이후에 삽입 마크를 제거하는 Reversible방식에 대한 연구를 하고자 한다.

참고 문헌

- [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 기초연구, 창원대학교 졸업논문, 2002. 6
- [5] Akiyoshi Wakatani, "Digital Watermarking for ROI Medical Images by Using Compressed Signature Image", HICSS-35, 2002
- [6] Ingemar J.Cox, M.L.Miller and J.A PBloom, "Digital Watermarking",Morgan Kaufmann Publishers, 2001
- [7] R. G. Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, " A digital watermark," ICIP 94, vol. 2, pp.86-90, Austin, TX, Nov. 1994
- [8] Ingemar J.Cox, Joe Kilian, Tom Leighton, Talal Shamoon, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia", IEEE, ICIP 96, 1996
- [9] Shelby Pereira, Joe J. K. O Ruanaidh, Frederic Deguillaume, "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
- [10] M. Kutter, "Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling," in Proc. of SPIE, Boston, USA, 1998
- [11] 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
- [12] Yi Feng, Ebroul Izquierdo: "Robust Local Watermarking on Salient Image Areas". IWDW 2002.; pp 189-201, 2002
- [13] Joseph J.K.Ruanaidh and Trierry Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", IEEE ICIP, pp536-539, Santa Barbara, 1998
- [14] 김형립, 이경무, "블럭기반의 log-polar mapping을 이용한 견고한 워터마킹에 대한연구", 제 12회 신호처리합동학술대회, 제12권, 제1호, 포항공과대학, 1999
- [15] B.S Kim, Robust digital image watermarking method against geometrical attacks, Real Time Imaging, Vol.9, No.2, pp.139-149, 2003
- [16] 하영호 외 3명, "디지털 영상 처리", 그린출판사, pp 80-127
- [17] 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

저자 소개

남기철(Gi-Chul Nam)

2004. 2 : 창원대학교 전자공학과 석사과정졸업

2004. 3.~현재 : (주)넷크레이브 주임 연구원

※ 관심분야 : 영상처리, 홈네트워크

박무훈(Mu-Hun Park)

현재 창원대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 신호처리