

신원 은닉을 위한 두뇌 영상의 무손실 변경

이 효 종[†] · Du Ruo Yu^{††}

요 약

디지털 형태로 저장된 의료정보가 네트워크를 통하여 제약 없이 전송될 수 있게 되면서, 환자의 개인정보 관리는 의료 업계에서 중요한 주제로 부각되었다. 현재 두뇌 영상의 의료정보를 보호하는 방법은 환자의 신원을 은닉시키기 위하여 얼굴을 절삭하는 것이다. 그러나 절삭 과정에서 간혹 중요한 두뇌 조직부가 함께 절단되어 탈면 두뇌 영상은 의료 용도로 활용될 수 없게 손상을 입게 된다. 실린더 모양의 마스크를 덧붙임으로써 두뇌 영상의 중요한 모든 정보를 유지하면서 환자의 신원 정보를 은닉시키는 직접적인 방법을 제안하였다. 제안하는 두뇌 영상의 무손실 변경 방법은 중요한 영상정보가 손상되지 않음을 확인하였다. 또한 마스크로 입혀진 두뇌영상의 신원을 확인할 수 없는 사실도 증명되었다.

키워드 : 자기공명영상, 얼굴 마스크, 익명얼굴모델, 실린더 마스크

Lossless Deformation of Brain Images for Concealing Identification

Hyo Jong Lee[†] · Du Ruo Yu^{††}

ABSTRACT

Patients' privacy protection is a heated issue in medical business, as medical information in digital format transmit everywhere through networks without any limitation. A current protection method for brain images is to deface from the brain image for patient's privacy. However, the defacing process often removes important brain voxels so that the defaced brain image is damaged for medical analysis. An ad-hoc method is proposed to conceal patient's identification by adding cylindrical mask, while the brain keep all important brain voxels. The proposed lossless deformation of brain image is verified not to lose any important voxels. Furthermore, the masked brain image is proved not to be recognized by others.

Keywords : MRI, Facial Mask, Anonymous Facial Model, Cylinder Mask

1. 서 론

개인의 정보보호는 컴퓨터 네트워크로 세계가 연결되고 디지털정보가 손쉽게 전송되는 요즘 더욱 중요한 주제로 떠오르고 있다. 의료정보 시스템도 예외는 아니어서 PACS (Picture Archiving and Communication Systems)[1]가 활성화되고 X-ray, CT(Computerized Tomography), PET (Positron Emission Tomography), 자기공명영상 (magnetic resonance image, MRI)과 같은 의료 영상이 디지털 형태로 저장되고 네트워크를 통하여 전송되고 있다.

대부분의 의료영상시스템은 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)[2]을 표준 영상 형태로

지정하여 호환성을 보장하고 있다. DICOM 자료 형태는 의료 영상 자료 이외에도 내장형 태그를 적용하여 환자의 개인 정보 및 의료정보를 포함하고 있다. 의료 영상을 외부로 유출할 경우 태그정보는 쉽게 제거할 수 있으나 영상정보는 핵심정보이기 때문에 제거할 수 없다. 의료 영상이 관절이나 장기와 같이 신원을 파악할 수 없는 부위를 촬영한 경우에는 큰 문제가 없으나, 두뇌 영상의 경우에는 개인의 신원이 그대로 노출될 수 있다.

의료 영상자료를 취급할 때에 환자의 개인 정보가 누출되지 않도록 미국 국회에서는 건강보험 변경 및 보장법 (Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA)을 통과시켰다. 이에 근거하여 사적인 의료정보는 필요한 경우에만 열람할 수 있도록 하고, 2003년에는 HIPAA 사생활 보장법[3]을 시행하여 환자의 개인 정보, 건강상태, 치료방법 및 의료비 등에 관한 내용은 규정에 따라 엄격하게 취급하도록 명시하였다. 국내에서도 의사 윤리강령 및 의사 윤리지침을 규정하여 환자의 개인적인 신상정보

[†] 종신회원 : 전북대학교 컴퓨터공학부 영상정보신기술연구소 교수
^{††} 준 회원 : 전북대학교 컴퓨터공학부 박사과정
논문접수 : 2011년 7월 11일
수정일 : 1차 2011년 9월 29일
심사완료 : 2011년 10월 5일

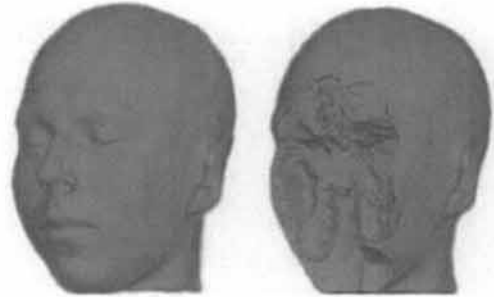
나 관련 의료정보를 보호하도록 하고 있으며, 의료법 제정으로 의사의 환자에 대한 비밀 누설금지 조항을 제정하여 위반 시 형사법적 처벌을 받도록 하고 있다.

신상정보의 보호를 위해서 두뇌 영상과 같이 영상 자체에 의하여 환자의 신원이 노출될 수 있는 경우에는 영상자료를 외부로 유출하기 전에 일련의 조치를 취할 필요가 있다. 기능적 자기공명영상분석에서는 두개골보다도 두뇌 조직의 보존이 중요하다. 따라서 현재 사용되는 신원은닉 방법은 두뇌 사진에서 안면의 두개골 부위를 절단하여 환자의 신원을 은닉하고 있다. 그러나 절단 과정에서 자칫 두뇌 조직 자체를 손상시킬 수 있는 위험이 있다. 본 논문에서는 안면부를 절단하는 대신 마스크와 같이 덧붙이는 방식을 통하여 신원을 은닉하는 방법에 대한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 현재 방법의 문제점을, 3장에서는 제안하는 신원은닉 방법으로 실린더 마스크 알고리즘을, 4장에서는 결론을 기술하기로 한다.

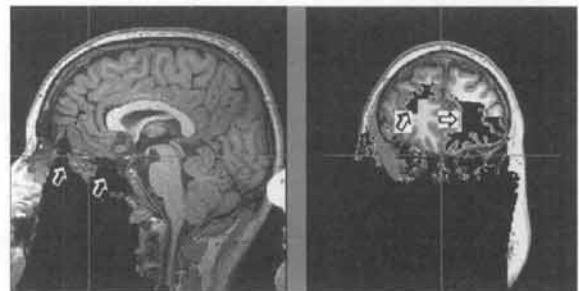
2. 안면 절삭 방법

두뇌 영상의 문제점은 앞서 언급한 바와 같이 환자의 눈, 코, 입과 같은 안면부와 두형이 그대로 노출되어 신원정보가 유출될 수 있다는 것이다. 이에 대한 직접적인 해결책은 안면부를 절삭하여 신원을 은닉하는 것이다. 두뇌 조직의 손상이 없이 안면부만을 절삭하기 위해서는 두뇌와 두뇌를 둘러싸고 있는 두개골 및 두피부위에 대한 영역분할이 정확하게 이루어져야 한다. 영역분할은 밝기의 차이에 의하여 표면 영역을 분할하는 방법[4]과 두개골 면을 구분하여 찾아내는 방법[5]이 소개되었다. 최근에는 퍼지기법을 응용하여 두뇌의 영역을 구체적으로 세분화하는 알고리즘[6]도 발표되었다. 이와 같이 두개골 영역이 결정되면, 비두뇌 영역을 절단하여 환자의 신원을 감출 수 있다.

이러한 원리를 적용하여 Bischoff-Grethe 등[7][8]은 mBIRN (Mouse Biomedical Informatics Research Network [9] 프로젝트에서 처음으로 안면 절삭방법을 활용하여 (그림 1)에 보이는 것처럼 환자의 신원을 은닉하였다. 이와 같은 안면 절삭방법은 두 가지 문제점을 내포하고 있다. 첫째는 안면부가 제거되어도 전체적인 두형을 근거로 환자의 신원이 파악 될 수 있다. 둘째, 안면부를 제거할 때 두뇌 조직의 일부가 함께 제거될 수 있다. 자기공명영상의 경우 두뇌 조직의 경계가 모호하여 두개골 부위와 비교하여 유사할 수가 있다. (그림 2)는 과도하게 절삭된 두뇌 영상의 시상면(sagittal plane)과 관상면(coronal plane)의 슬라이스를 보여주고 있다. 화살표로 나타난 부분은 두뇌 조직이 있어야 할 부분이 절삭되어 공동화 된 영역을 나타내고 있다. (그림 2)와 같이 안면부의 과도한 절삭으로 두뇌조직이 손상을 입은 두뇌 영상은 두뇌의 이상 유무를 판단하기가 어려우며 영상 처리를 통하여 정확한 분석결과를 유도할 수 없어 사용할 수 없게 된다.



(그림 1) 안면 절삭 방법의 예



(그림 2) 과도하게 절삭된 두뇌 영상의 시상면과 관상면의 예. 화살표 영역은 두뇌 조직이 절삭되어 공동화된 부분

3. 실린더 마스크

3.1 배경

안면 절삭 방법의 문제점은 환자의 얼굴 정보가 노출되는 것을 방지하기 위하여 안면부를 제거하는 방법에서 기인하고 있다. 두뇌조직의 손실을 방지하면서 환자의 얼굴을 인식하지 못하도록 하기위해서, 제거하는 방법대신에 임의의 표면을 안면부에 덧대어서 가리는 방법을 고려할 수 있다. 피의자들이 얼굴을 통하여 신상정보가 노출되는 것을 원하지 않을 때에 마스크를 착용하여 위장하는 경우와 동일한 원리를 적용하는 것이다. 안면부를 위장하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 예를 들어 가상 인물의 마스크로 덮을 수도 있다. 본 논문에서는 구현이 간단하면서도 신원 정보를 확인할 수 없는 실린더 마스크 방법을 구현하였다. 실린더 마스크 방법은 절삭을 피하고 실린더 형태로 360° 영역을 채워 나가기 때문에, 두뇌 조직부에서는 정보의 무손실을 보장하면서 신원 은닉이 이루어질 수 있다.

3.2 마스크 알고리즘

실린더 마스크 알고리즘의 진행과정을 (그림 3)의 유사코드에 요약하여 기술하였다.

먼저 3차원 두뇌 영상을 외접하는 육면체(bounding box)를 구한 후에, 축상면(axial plane) 상의 정 중앙점을 생성하고 자하는 실린더의 중심점으로 결정하고, 실린더의 반지름 r 을 결정한다. (그림 3)의 09-10행에서처럼 2차원 슬라이스 전체 화소를 검사하여 두뇌 영상이 아닌 배경 입자인지를 확인하고, 그 입자의 위치가 생성하고자하는 실린더의 내부에 존재하는지 외부에 존재하는지를 결정한다(12행).

```

01 procedure CylinderMasking
02 input: 3D brain image
03 output: CylinderMask
04 begin
05 Find a bounding box of 3D brain
06 Find a center point (x0, y0) on axial plane
07 Find a radius r of cylinder
08 for(i=1; i<=number_of_slice; i++) {
09   for(x=1; x<=width; x++)
10     for(y=1; y<=height; y++) {
11       if( voxel(x, y, i)==background+4 )
12         if( (x-x0)2 + (y-y0)2 < r2 )
13           assign a random intensity to voxel
14     }
15 }
16 end

```

(그림 3) 실린더 마스크를 생성하는 유사코드

두뇌영상의 구성은 두피와 두개골이 있으며, 두뇌는 두개골과 일정 간격으로 격리되어 분포하고 있다. 또한 두피층 영역에서부터 4~8개의 화소거리를 두고 두뇌조직이 위치하는 것을 파악하였다. 따라서 검색하고자하는 화소가 만일 실린더의 내부이면서 두뇌 영역의 외부, 또는 경계지역의 4개 화소 내부에 존재한다면 (그림 3)의 13행에서 지정한 바와 같이 식 (1)에 의하여 입자의 밝기를 무작위 밝기 값으로 할당하여 준다.

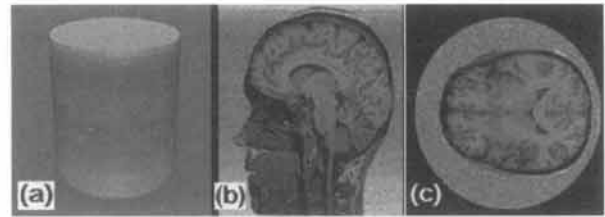
$$Voxel\ intensity = m \pm rand() \% 8 \times S.E. \quad (1)$$

식 (1)에서 m 은 두뇌영상의 해당 슬라이스 중앙부위의 평균 밝기 이며, S.E.(standard error)는 표준 오차를 나타낸다. 표준오차의 8배의 범위 내에 분포하는 잡음을 발생시킴으로써 실린더 마스크를 제거할 수 없도록 하는 것이다. 실린더의 밝기를 지정된 범위 내에 분포하는 난수로 지정하기 때문에 임펄스 잡음이 발생하였다. 따라서 실린더 영역이 두개골 부위와 자연스럽게 조화를 이루기 위하여 가우시안 필터를 실린더 내부에 적용하여 평탄화 작업을 수행하였다. 이와 같은 과정을 모든 슬라이스에 동일하게 적용하여(08행) 실린더 마스크 볼륨을 구성할 수 있다.

3.3 구현 결과

제안 알고리즘을 실험하기 위하여 Siemens사의 Trio 모델 3T MR 촬영기로 T1 펄스시퀀스 방식에 의하여 촬영한 데이터를 사용하였다. 촬영시 설정된 주요 변수는 다음과 같다. FOV(촬영범위) = 220x220 mm; matrix = 256x256x160; 촬영면 및 방향 = 시상면(sagittal) S->I; 두께 = 1.2mm; TR = 2300ms; TE = 2.94ms.

(그림 4)는 제안 알고리즘에 의하여 생성된 실린더 마스크와 마스크의 시상면 및 축상면의 예를 보여주고 있다. 실린더 마스크는 안면부를 완전히 둘러싸고 있기 때문에 환자의 신원을 전혀 알아볼 수가 없다. 그러나 시상면과 축상면을 통하여 확인하면 내부 영상정보는 그대로 보존되어있는 것을 확인할 수 있다.



(그림 4) 생성된 실린더 마스크와 85번째 시상면과 100번째 축상면



(그림 5) 실린더의 배경부분을 인위적으로 제거하여 복원된 두뇌영상

(그림 5)는 인위적으로 실린더의 배경부위를 제거하여 3차원 두뇌영상을 복원한 영상을 보여주고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 두개골 부위의 일부는 마스크과정에서 배경으로 포함시켰기 때문에 소실이 되어서 신원을 알아볼 수 없음을 알 수 있다.

실린더로 변형된 영상의 의학적 타당성은 두뇌 영상을 전문으로 분석하는 전문가의 검증을 통하여 조사하였다. 검증은 은닉성 여부와 두뇌 조직의 손실 상태를 실험에 사용된 12명의 두뇌영상을 슬라이스별로 조사하였다. 검증을 통하여 신원의 은닉성을 보장하면서 두뇌 상태를 진단하는데 아무런 손실이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 즉, 3차원 영상에서 신원정보는 은닉이 되었으나, 진료 목적으로 영상의 각 슬라이스를 관찰할 경우에 아무런 문제없이 해당 영역을 검증할 수 있는 것이다. 또한 두뇌 영상 분석을 위하여 두뇌 조직을 영역화 할 필요가 있을 경우에도 실린더부위는 두개골 부위와 유사한 밝기로 구성되어있어서 두뇌 영역은 두개골 영역으로부터 여전히 제거될 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

의료 자료로 운용되고 있는 고해상도 두뇌 영상을 통하여 신원정보가 누출되는 것을 방지하기 위하여 현재까지는 안면부 두개골을 절단하는 방법이 사용되고 있다. 절단 과정에서 두뇌 영역이 함께 소실되어 정확한 의료영상의 기능이 훼손되는 것을 방지하기 위하여, 본 논문에서는 환자의 신원을 완벽하게 은닉하면서 무손실 두뇌 영상을 생성시키는 방법을 제안하였다. 3차원 영상을 구성하는 모든 2차원 슬라이스 영상에 두개골과 유사한 밝기의 가상 조직을 실린더

형태로 채워가는 방식을 적용하였으며, 알고리즘이 간단하여 손쉽게 구현할 수 있었다.

기존의 안면부 절삭방법도 신원을 은닉하는 점에서는 우수하였으나, 일부 두뇌 조직을 침범하여 제거하는 문제점을 안고 있었다. 제안 방법은 환자의 신원을 은닉하기 위하여 절삭하는 대신에 실린더 마스크 형태로 덮어씌우는 방법으로 두뇌 조직의 손실이 없이 신원을 은닉처리 하도록 하였다. 실린더 마스크 영상의 활용 가능성을 검증한 결과 아무런 지장 없이 의료행위에 사용할 수 있음을 검증하였다. 실린더 마스크는 외관상 투박하다는 점이 지적되어, 추후 연구에서는 단순한 실린더 형태 대신에 가상 인물의 얼굴로 마스크를 하여 사실적인 영상에 근접하도록 개선시킬 계획이다.

참 고 문 헌

[1] R. Choplin, J. M. Boehme II and C. D. Maynard, "Picture archiving and communication system: an overview", *RadioGraphics*, Vol.12, No.1, pp.127-129, Jan., 1992.

[2] National Electrical Manufacturers Association, "Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)", PS 3-1, http://medical.nema.org/dicom/2004/04_01PU.PDF, 2004.

[3] Hipaa Program Office, "HIPAA Spotlights", <http://hipaa.bsd.uchicago.edu/>, 2011.

[4] F. Ségonne, A.M. Dale, E. Busa, M. Glessner, D. Salat, H.K. Kahn, B. Fischl, "A hybrid approach to the skull stripping problem in MRI," *Neuroimage*, Vol.22, pp.1060 - 1075, 2004.

[5] S. Sandor, R. Leahy, "Surface-based labeling of cortical anatomy using a deformable database," *IEEE Trans Med Imaging*, Vol.16, pp.41-54, 1997.

[6] 이효종, "퍼지기반의 두뇌영상 영역분할 알고리즘", *전자공학회 논문지-TC편*, 제46권 제12호, pp.1205-1210, 2009.

[7] A. Bischoff-Grethe, B. Fischl, B. Ozyurt, S. Morris, G.G. Brown, C. Fennema-Notestine, C.P. Clark, M.W. Bondi, T.L. Jernigan, "A technique for the deidentification of structural brain MR images", *Human Brain Mapping*, Budapest, 2004.

[8] C. Fennema-Notestine, B. Ozyurt, G.G. Brown, C.P. ClarkP, S. Morris, A. Bischoff-Grethe, M.W. Bondi, T.L. Jernigan, B. Fischl, "Quantitative evaluation of automated-skull-stripping methods applied to contemporary and legacy images: Effects of diagnosis, bias correction, and slice location," *Hum Brain Mapping*, Vol.27, pp.99 - 113, 2006.

[9] Mouse BIRN, <http://www.loni.ucla.edu/BIRN/Projects/Mouse/index.shtml>, 2011.



이 효 종

e-mail : hlee@chonbuk.ac.kr

1986년 University of Utah 컴퓨터공학과 (학사)

1988년 University of Utah 컴퓨터공학과 (공학석사)

1991년 University of Utah 컴퓨터공학과 (공학박사)

1991년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학부 교수, 영상정보신 기술연구센터 센터장

관심분야: Image processing, computer vision, medical imaging, parallel processing 등



Du Ruo Yu

e-mail : ruoyudu@gmail.com

2008년 South-Central University for Nationalities Biomedical Engineering(학사)

2010년 전북대학교 영상학과(공학석사)

2010년~현 재 전북대학교 컴퓨터공학부 박사과정

관심분야: Medical Image Processing, LiDAR Research, Pattern Recognition and Multimedia Data Compression