

# Stereoradiometric 분석을 위한 소프트웨어 프레임워크 Software Framework for Stereoradiometric Analysis

\*<sup>1</sup>양상욱<sup>1</sup>, 구승범<sup>2</sup>, 최영<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>S. W. Yang(swyang@wm.cau.ac.kr), <sup>2</sup>S. Koo<sup>2</sup>, Y. Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 미래신기술연구소, <sup>2</sup>중앙대학교 기계공학부

Key words : Stereoradiometric analysis, Human motion, Pose estimation, Software framework

## 1. 서론

인체 동작 추적 연구의 활용은 공황이나 지하철 등에서 다수 사람들의 이동을 파악하는 감시(surveillance), 가상현실이나 사람과 컴퓨터 간 상호 작용에 사용되기 위한 제어(control), 정형외과적 목적이나 운동선수의 동작을 파악하기 위한 분석(analysis) 등의 폭넓은 응용분야에서 활용되고 있으며 특히 의학 분야에 있어서 지난 2-30년간 폭넓은 연구가 이루어져왔다[1]. 컴퓨터 애니메이션이나 가상현실 분야에서는 인간 동작의 외형 추적을 위하여 광학적 마커를 부착하거나 디지털 카메라에 의한 분석을 수행하지만 의료분야에서는 의복이나 다른 신체 부분에 의한 간섭을 배제하고 관찰하고자 하는 부위에 집중하기 위하여 방사선 조영에 의한 영상을 이용하는 것이 일반적이다. 정형외과적 분석에 있어서 초기에는 마커를 이용하여 환자의 자세와 동작을 분석하는 RSA(Roentgen Stereophotogrammetry Analysis)를 이용한 동작 분석과 보철물(orthopedic implant) 기술이 시행되었고[2], 보다 최근에는 환자에게 마커를 삽입해야 하는 RSA 방법의 단점을 보완하기 위하여 마커를 사용하지 않고 특징형상(feature)을 인식하거나, x-ray 영상의 농도(intensity)나 이미지 특성의 경사도(gradient)에 기반한 위치 정합(registration) 연구들이 수행되고 있다[3]. 그러나 마커를 이용한 RSA 방법에 비해서 이미지를 이용한 방법은 위치 정합을 위한 최적화 방법이 복잡하고 많은 계산이 수행되어야 하는 데다, 항상 수렴하지 않는 경우도 있기 때문에 수렴 속도와 정확성을 향상시키고, 수렴성을 검증하기 위한 연구들 또한 많이 이루어지고 있으며, 최근에는 병렬컴퓨팅이나 GPU 가속을 이용한 정합 연구들도 소개되고 있다[4].

본 논문에서는 CT 데이터와 Bi-plane fluoroscopy 이미지로부터 인체 자세를 추적하는 stereoradiometric 분석을 위한 소프트웨어의 기술 요소들을 정리하고 구현한 사례를 소개한다. 이 연구 자체는 새로운 정합 방법이나 영상 처리 방법을 포함하고 있지는 않지만, 추후 다양한 정합 방법과 이미지 분석 메트릭을 비교하고 새로운 위치 정합 방법을 개발하기 위한 연구의 초기 단계로서, 방사선 조영을 이용한 자세 분석 소프트웨어에 필요한 기술요소들을 정리하고 구현한 예를 제시한다.

## 2. Stereoradiometric 자세 분석 프로세스

자세 분석은, 피험자의 CT 데이터를 먼저 획득하고, 관심 대상 부분의 bi-plane x-ray 동영상에 정합시킴으로써 CT 데이터로 표현된 3D 볼륨 데이터의 6자유도 위치정보 ( $T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z$ )를 동영상의 프레임 별로 얻는 과정이다. Fig. 1에는 stereoradiometric 프로세스의 전체 과정이 나타나 있다.

이 과정은, 최초 추측된 위치 파라미터( $T_x, T_y, T_z, R_x, R_y, R_z$ )를 반영하여 CT데이터의 DRR(Digitally Reconstructed Radiograph) 이미지를 생성하고 이를 x-ray 이미지와 비교한다. 최적화 과정을 통해서 위치 파라미터를 변화시키며 DRR 생성과 이미지 비교를 반복 수행함으로써 최종 정합된 위치 파라미터를 계산한다. 이러한 프로세스는 참고문헌 [2-3]에 나타난 바와 같이 여러 연구들에서도 사용되는 일반적인 프로세스이지만, 이 과정에서 DRR 생성 방법 및 이미지 비교 메트릭의 선택, 최적화 방법의 선택 등이 정합 과정의 소요 시간과 결과의 정확성을 결정하는 주요 요인이 된다. Fig. 1의 DRR을 생성하는 volume rendering 과정에서는 그림의 왼쪽에 나타나 있는 바와 같이 미리 계산된 월드 좌표계 정보, 카메라 위치, 이미지 농도 보정 파라미터 등이 필요하게

되는데 이들은 피험자 자세추적에 앞선 보정(calibration) 과정에서 결정되어야 하는 요소들이다. Fig.2는 월드 좌표계와 카메라 위치 결정을 위한 보정 과정이 나타나 있다.

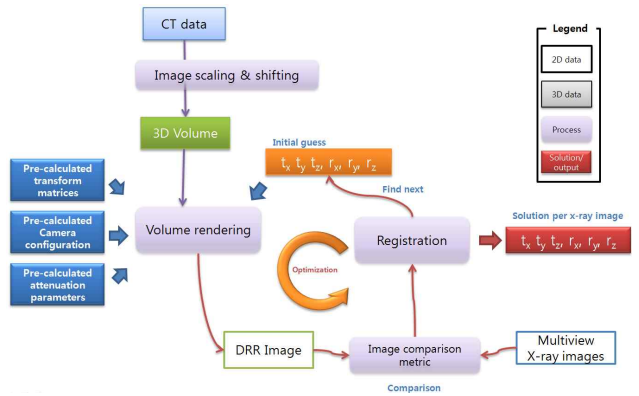


Fig. 1 Pose estimation process with CT data and x-ray images.

월드 좌표계를 설정하고 카메라 위치를 정의하기 위해서 calibration cage가 사용된다. calibration cage는 육면체로 만들어지며 전후방향(AP)의 두 면과 좌우방향(ML) 두 면의 삼차원 좌표계의 기준이 될 수 있도록 네 면에 금속 비드(beads)를 넣어서 CT 데이터를 얻고, 피험자 측정 전에 두 방향의 x-ray 이미지를 얻어서 보정을 수행한다.

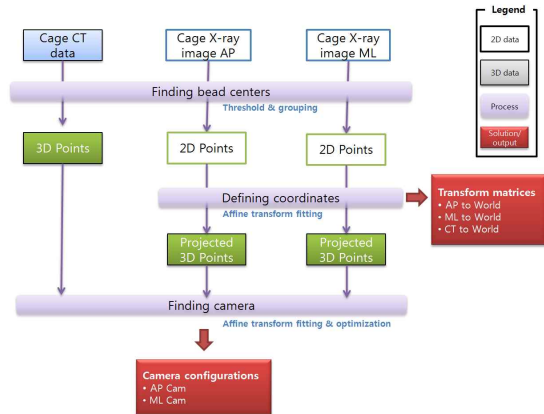


Fig. 2 Calibration defining world coordinates and camera positions.

Fig.1과 Fig.2는 소프트웨어 개발 관점에서 그려진 다이어그램으로, 각 그림에 'process'로 표시된 요소들은 각각 소프트웨어 모듈로 구현된다.

## 3. 소프트웨어 프레임워크 구현

개발된 소프트웨어 프레임워크는 데스크탑 PC에서 DICOM 형식의 파일로부터 CT와 x-ray 데이터를 읽어들이 좌표계를 정의하고, 카메라의 위치를 찾고, 정합 알고리즘의 검증에 이용할 수 있도록 수동 정합을 위한 사용자 인터페이스를 제공한다. 개발된 소프트웨어 요소는 표 1과 같이 정리될 수 있으며, 이탤릭으로 표시된 요소들은 VTK 5.4 (Visualization Toolkit)에서 제공하는 기능을 이용하면 쉽게 구현할 수 있는 요소들을 나타낸

다. 이외의 요소들은 해당 알고리즘을 직접 구현하거나 VTK의 클래스를 상속받아 확장시킴으로써 구현하였다.

Table 1 Implemented software components

Software components	Functions and algorithms
User interface and File I/O	DICOM I/O Dialog boxes 3D Widges
Calibration	Intensity scaling & shifting Histogram Thresholding Grouping Affine transform fitting
DRR generation	Basic raycasting algorithms H/W accelerated Attenuation parameter adaptation
Geometric calculations	Vector & matrix operations

Fig. 3은 보정 과정의 일부를 보여주고 있다. 화면의 왼쪽에는 calibration의 cage의 AP x-ray 사진과 ML x-ray가 각각 위 아래로 나타나 있으며, 오른쪽에는 cage의 CT 데이터로부터 찾은 비드들이 나타나 있다. 화면 중앙에는 이미지의 히스토그램을 보여주고 있는데, 비드를 검색할 때, 히스토그램을 참고로 비드의 농도값을 선택하여 x-ray와 CT에서 비드에 해당하는 픽셀과 복셀을 찾아서 그 중심 좌표들을 계산한다.

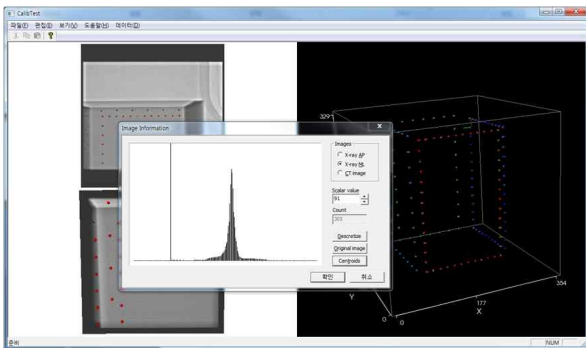


Fig. 3 User interface for calibration

Fig. 4는 cage의 기준면(fiducial plane)을 원점과 일치시키고, x-ray와 CT의 비드들을 매치시킴으로써 x-ray와 CT의 좌표계를 일치시킨 결과를 보여주고 있다. 이후, 일치된 좌표계에 사상(mapping)된 x-ray의 비드들과, CT 데이터에서 검출된 비드들의 관계로부터 카메라의 위치를 구할 수 있다. 보정 과정이 끝나면 AP와 ML x-ray 이미지에 대한 각각의 트랜스폼 행렬과 각각의 카메라 구성을 저장하여 위치추적의 기준으로 사용하게 된다.

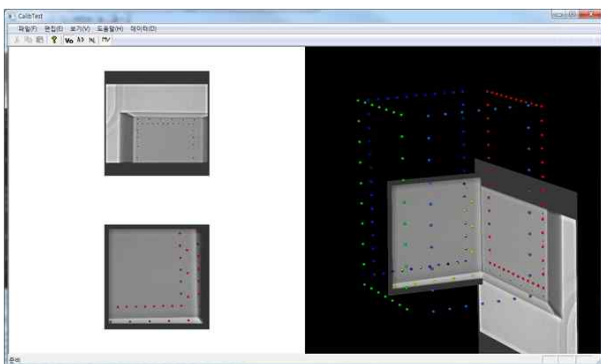


Fig. 4 Coordinates alignment of x-ray images and CT data.

Fig. 5는 하나의 경추에 대한 위치 추적을 수동으로 수행해 보는 예를 보여주고 있다. 위 화면은 수동 정합 과정을 보여주고 있는데, 오른쪽 그림에서 Fig. 4의 결과로 나온 좌표 변환 행렬을 이용하여 경추 x-ray를 월드 좌표계로 보내었으며 CT 데이터와

함께 보여주고 있다. 사용자는 박스 위젯을 이용하여 CT 데이터를 회전 및 이동시키면서 투영된 x-ray 이미지와 정합시켜 볼 수 있다. 아래 화면에서는 각각 AP와 ML 카메라 위치에서 x-ray와 정합된 CT 데이터를 보여주고 있다. 이러한 수동 정합 결과는 자동 정합 알고리즘을 개발함에 있어서 최적화 과정의 위치 파라미터의 초기값을 결정하기 위한 데이터로 사용되거나, 자동 정합 결과를 검증하기 위해서 사용될 수 있다.

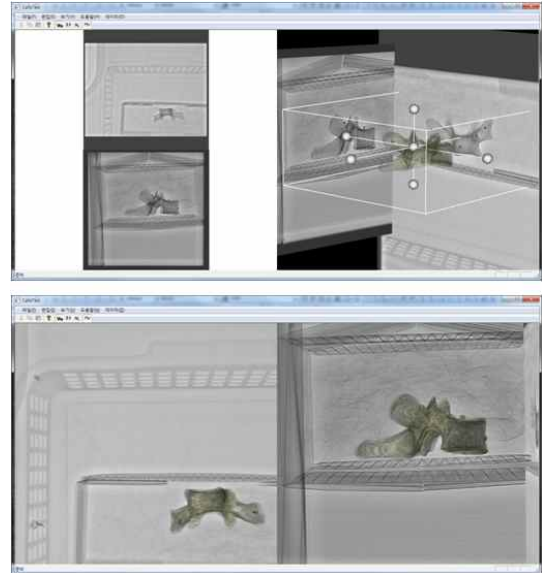


Fig. 5 User interface for manual registration and the alignment.

#### 4. 결론

본 논문에서는 *in vivo* stereoradiometric 자세 추적과 분석을 위한 데스크탑용 소프트웨어 프레임워크 개발에 대해서 소개하였다. 이는 실시간 자세 분석 알고리즘 개발을 위한 초기 연구로서, 다양한 DRR 생성 알고리즘 및 정합 알고리즘, 이미지 비교 메트릭을 적용하여 비교 분석하기 위한 테스트베드 성격을 가지고 시작되었으며 이 과정에서 자세 추적을 위한 소프트웨어 기능과 구성 요소가 정리되고 구현되었다.

구현된 프레임워크와 소프트웨어 요소들을 활용하면 추후 병렬 GPU 컴퓨팅 등을 활용한 빠른 DRR 생성과 정합 및 최적화 알고리즘 개발과 검증을 효과적으로 수행할 수 있을 것이다.

#### 후기

이 논문은 현대기아자동차 NGV 미래기술과제의 지원과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 연구결과임 (2009-0071495).

#### 참고문헌

1. Moeslund, T.B., Hilton A. and Krüger V.A., "Survey of Advances in Vision-based Human Motion Capture and Analysis, Computer Vision and Image Understanding, 104, 90-126, 2006.
2. Valstar, ER., Nelissen, R., Reiber, J. and Rozing, P., "The Use of Roentgen Stereophotogrammetry to Study Micromotion of Orthopaedic implants", Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 56, 376-89, 2002.
3. van de Kraats, E.B., Penney, G.P., Tomažević, D., van Walsum, D. and Niessen, W.J., "Standardized Evaluation Methodology for 2-D -3-D Registration", IEEE Trans. Medical Imaging, 24, 1177-1188, 2005.
4. Grabner, M., Pock, T., Gross, T. and Kainz, B., "Automatic Differentiation for GPU-accelerated 2D/3D Registration", Lec Note Comput Sci AAD, 64, 259-69, 2008.