

## 자기공명 영상을 이용한 피부 움직임 분석에 관한 연구

류재현\*(광주과학기술원 기전공학과), Natsuki Miyata (Digital Human Research Center, Japan),  
Makiko Kouchi (Digital Human Research Center, Japan),  
Masaaki Mochimaru (Digital Human Research Center, Japan), 이관행(광주과학기술원 기전공학과)

### Analysis of skin movement using MR images

Jae Hun Ryu (Dept. of Mechatronics, K-JIST), Natsuki Miyata (Digital Human Research Center, Japan), Makiko Kouchi (Digital Human Research Center, Japan), Masaaki Mochimaru (Digital Human Research Center, Japan),  
and Kwan H. Lee (Dept. of Mechatronics, K-JIST)

#### ABSTRACT

This paper describes a novel experiment that measures the skin movement of a hand based on MR (magnetic resonance) images in conjunction with surface modeling techniques. The proposed approach consists of 3 phases: (1) MR scanning of a hand with surface makers, (2) 3D reconstruction from the MR images, and (3) registration of the 3D models. The results of registration are used to trace the skin movement with respect to underlying bone motions by measuring the positions of the surface markers.

**Key Words:** skin movement artifacts(피부 움직임 에러), MR image (자기공명 영상), surface modeling(서피스 모델링), registration(정합), biomechanics (생체역학)

#### 1. 서론

생체역학에서 뼈의 형상데이터, 위치 변화, 방향성은 관절의 운동을 해석하는데 중요한 데이터이다. 뼈의 운동을 분석하는 여러 가지 방법이 존재하지만, 현재 뼈의 운동을 측정하기 위해서 생체 조건 (*in vivo*) 실험을 통한 방법이 사용되고 있다<sup>1,2,3,4</sup>. 그러나 이 방법은 측정 대상 또는 환자에게 신체적인 가해(加害)를 끼칠 수 있기 때문에, 이를 극복할 수 있는 대안이 필요하다<sup>5</sup>.

일반적으로 인체에 가해 없이 뼈의 운동을 측정하기 위해서 실험대상의 피부에 마커를 부착하고 이를 광학장비(예, 모션캡처 시스템)를 이용하여 마커의 움직임을 측정한다<sup>6,7</sup>. 이 과정에서 실제로 움직이는 주체는 뼈 임에도 불구하고, 광학장비로 피부에 부착한 마커를 측정함에 따라서 뼈의 운동을 정확하게 측정하기 어렵다. 일반적으로 뼈의 운동이 일어남에 따라 피부의 움직임을 동반하는데 이때 발생하는 뼈와 피부의 상대적인 움직임의 차이

를 피부 움직임 에러(skin movement artifacts)라 한다<sup>6,8</sup>.

본 논문에서는 자기공명(magnetic resonance) 영상을 이용하여 뼈의 운동과 상대적인 피부의 움직임 에러를 분석하는 방법을 제안한다

#### 2. 제안된 방법

##### 2.1 의료영상 데이터 획득 및 처리

일반적으로 CT 영상은 뼈를 촬영하기에 가장 적합하고 고정밀도의 데이터 획득이 가능하다. 그러나 CT 영상의 원리상 방사선을 사용하기 때문에 반복된 촬영은 인체에 나쁜 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 동일한 피사체를 여러 번 반복 측정해야 되기 때문에 인체에 무해한 자기공명 영상을 사용하였다.

본 연구에서는 피부 움직임 에러를 분석하기 위해서 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 구형상의 서피스 마커를 각 손가락 마디마다 2 개씩 부착하고 3 가지

자세에 대한 자기공명 영상을 획득하였다. 자기공명 영상 촬영 시 손가락의 위치를 조절하기 위해서 원통형 지그(jig)를 사용하였다. 지그를 사용함에 따라서 비교적 긴 시간의 촬영시간 동안 일관된 자세를 유지하고 따라서 자기공명 영상 촬영 시 피사체의 움직임으로 인한 모션 노이즈(motion artifacts)를 최소화 할 수 있다.

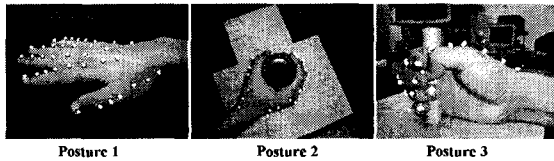


Fig. 1. MR scanning of the hand with surface makers in 3 postures

자기공명 영상을 처리하기 위해서 광주과학기술원 CAD/CAM 연구실에서 개발한 MediSurf<sup>9</sup>를 사용하였다. 일반적으로 의료영상에서 데이터 교환을 위해서 DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine) 표준 파일포맷을 사용하지만, 본 연구에서는 표준 파일포맷을 대신, 자기공명 촬영장비의 자체 영상포맷을 직접 읽어 영상데이터를 처리하였다. Fig. 2는 3 가지 자세에 대한 자기공명 영상을 보여주고 있다. 그림에서 서피스 마커를 삼각형으로 표시하였다.

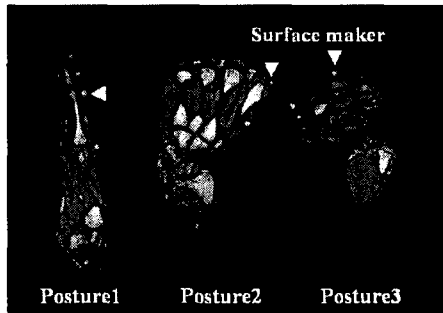


Fig. 2. Typical MR images of the hand with surface makers

본 연구에서 관심영역은 집게손가락의 뼈와 피부에 부착한 서피스 마커이다. 각각의 단면 영상에서 연부조직을 삭제하여 이러한 관심영역(뼈와 서피스 마커)을 분할하는 과정이 필요하다. Fig 3은 관심영역의 분할의 예를 보여주고 있다.

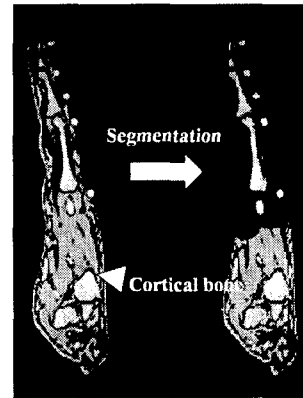


Fig 3. Example of the segmentation that extracts bones and surface makers

## 2.2 자기공명 영상으로부터 3 차원 모델 생성

관심영역이 분할된 자기공명 영상에서 특정 픽셀 값을 연결하여 아이소서피스(isosurface)를 생성하였다. 본 연구에서는 자체 개발한 MediSurf<sup>9</sup>를 이용하여 3 차원 아이소서피스를 생성하였다.

의료영상으로부터 3 차원 모델을 생성하는 과정에서 입력 값인 isovalue 는 아이소서피스의 크기와 품질에 영향을 미친다. 만일 isovalue 을 크게 결정하면 isovalue 보다 낮은 픽셀 값을 가지고 있는 일부 관심영역의 형상정보를 손실할 수 있으며, 생성되는 3 차원 모델의 크기는 실제 피사체보다 작게 된다. 이와는 반대로, isovalue 를 작게 결정하는 경우 isovalue 보다 높은 픽셀 값을 가지고 있는 비관심영역의 형상이 3 차원 모델 생성 후에도 남아 있으며, 3 차원의 모델의 크기는 실제 피사체보다 크게 된다.

일반적으로 자기공명 영상에서 생성된 3 차원 모델은 비다양체 (non-manifold) 삼각형, 중첩된 (overlapped) 삼각형 또는 구멍(hole)과 같은 에러를 포함하고 있기 때문에 3 차원 모델 생성 후에도 이러한 에러를 제거하는 과정이 필요하다. Fig. 4는 관심영역(집게 손가락, 서피스 마커)을 분할한 자기공명 영상에서 3 차원 모델을 생성하고 노이즈를 제거한 결과를 보여주고 있다.

이와 함께 원래의 의료영상 데이터는 피부에 대한 데이터도 포함하고 있기 때문에 이를 이용하여 피부의 3 차원 모델 생성도 가능하다. Fig. 8은 분할을 수행하기 전의 자기공명 영상에 생성한 피부의 3 차원 모델을 보여주고 있다.

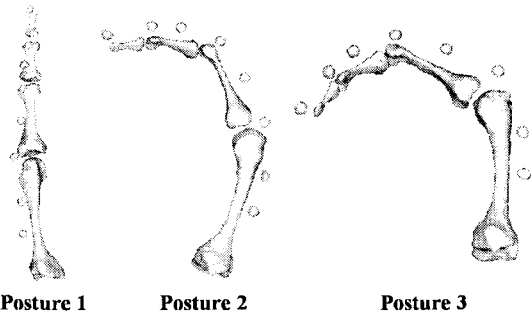


Fig. 4. Reconstructed 3D models of ROI (region of interest) that is the index finger and surface markers

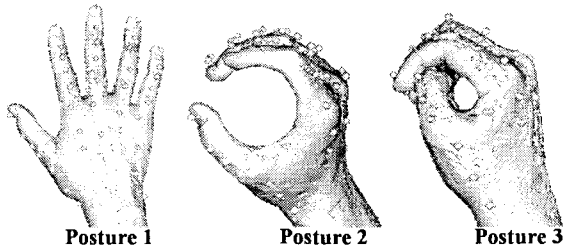


Fig. 5. Reconstructed 3D models of the skin from MR images of the hand

### 2.3 뼈 형상에 따른 정합(registration)

일반적으로 피부는 뼈의 움직임에 따라서 그 형상이 불규칙하게 변화한다. 이에 반해 뼈는 운동 후에도 형상의 변화가 없다. 따라서 피부는 변형운동(deformable body motion)으로 뼈는 강체운동(rigid body motion)으로 가정할 수 있다. 이러한 가정을 토대로 각 자세의 뼈의 형상을 이용하여 정합(registration)을 수행하고 피부에 부착된 서피스 마커를 측정하여 피부의 움직임을 추정할 수 있다.

정합을 수행하는 가장 간단한 방법은 각 자세의 3 차원 모델에서 (1)해부학적 특이점(anatomical landmark)을 3 점 이상 선택하거나, (2) 무게 중심과 로컬 좌표계(e.g. principal axes in oriented bounding box)를 설정하여 변환행렬을 계산할 수 있다. 그러나 이러한 직관적인 방법은 자기공명 영상에서 복원된 3 차원 모델은 다음과 같은 에러를 포함하고 있기 때문에 적합하지 않다.

- (1) 자기공명 영상의 촬영 에러: 부분 볼륨(partial volume)효과와 각 자세에 따라서 영상의 단면화 방향이 다르기 때문에 생성된 3 차원 모델 간의 차이가 발생.
- (2) 영상처리 에러: 관심영역 분할 시 수작업으로 인한 에러가 포함될 수 있음.
- (3) 3 차원 형상복원 에러: 3 차원 모델 생성과 노이즈 제거 과정에서 에러가 수반될 수 있음.

따라서 이러한 에러를 고려할 수 있는 글로벌 정합(global registration)이 필요하다. 이 방법은 정합되는 3 차원 모델간의 형상 차이를 최소화하는 방법으로 ICP(iterative closest points)를 사용한다. 본 연구에서는 글로벌 정합을 수행하기 위해서 상용소프트웨어를 사용하였다. 우선 사용자의 입력으로 3 점을 선택하여 서로 다른 자세의 두 모델을 대략적으로 정합하고, ICP 에 의해서 두 모델간의 형상 차이를 최소화하였다. 그 결과 정합의 평균 에러는 0.098mm 이고, 표준 편차는 0.072mm 이다. Fig. 6 은 집게 손가락의 중수골을 대상으로 정합한 결과와 해당하는 서피스 마커의 위치를 나타낸다. 각 자세(Posture 1~Posture 3)의 뼈와 서피스 마커( $M_1 \sim M_8$ )를 다른 색으로 표시하였다.

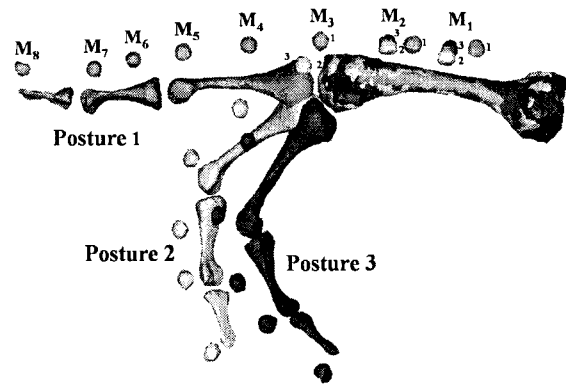


Fig. 6. Registration based on the metacarpal bone of the index finger;  $M_i$  represents the  $i^{th}$  marker attached on the skin, and colors of the model represent the posture number

### 3. 실험 결과 및 해석

정합한 결과를 기반으로 뼈의 움직임에 따른 피부 움직임 에러를 분석하기 위해서, 서피스 마커를 구로 근사화하고 구의 중심과 반경을 측정하였다. Table 1 은 집게 손가락의 중수골을 중심으로 정합하고 각 서피스 마커의 중심과 반지름을 보여주고 있다.

이러한 정합의 결과는 중수골을 고정하고 나머지 3 개의 뼈를 제 1 관절을 중심으로 회전한 운동으로 해석할 수 있다. 특히 중수골에 해당하는 피부에 부착된 서피스 마커( $M_1 \sim M_2$ )의 거리의 차이는 중수골은 움직이지 않고 주의의 뼈를 움직일 때 발생하는 피부의 움직임이라고 할 수 있으며, 그 거리는 대략 5~8mm 이다.

Table 1. Center and radius of the maker after the registration

Makers	Center of maker (x, y, z)			Radius of maker (mm)			
	Pose 1	Pose 2	Pose 3	Pose 1	Pose 2	Pose 3	$\mu \pm \sigma^{(*)}$
M <sub>1</sub>	(110, -43.4, -27.7)	(112, -37.7, -21.3)	(108, -36.4, -24.5)	2.51	2.49	2.56	2.52±0.04
M <sub>2</sub>	(111, -27.3, -20.4)	(113, -22, -15.8)	(110, -20.5, -17.7)	2.51	2.45	2.48	2.48±0.03
M <sub>3</sub>	(116, -5.06, -7.69)	(114, -3.4, -0.145)	(112, -1.56, 0.956)	2.4	2.45	2.41	2.42±0.03
M <sub>4</sub>	(112, 13.4, 1.25)	(101, 9.81, 14.3)	(99.7, 3.62, 21.1)	2.49	2.5	2.46	2.48±0.02
M <sub>5</sub>	(112, 28.8, 11.4)	(90.7, 18, 29.6)	(91.4, 3.48, 40.7)	2.46	2.48	2.49	2.48±0.02
M <sub>6</sub>	(111, 40.2, 19.4)	(83.9, 12.9, 46.4)	(87.3, -9.89, 53.4)	2.38	2.39	2.54	2.44±0.09
M <sub>7</sub>	(109, 49.4, 26.2)	(79.6, 5.76, 56.7)	(85.3, -22.5, 59.1)	2.34	2.49	2.63	2.49±0.15
M <sub>8</sub>	(109, 67.5, 35.2)	(73.9, -9.58, 69.8)	(85.2, -43.7, 64.4)	2.15	2.37	2.49	2.34±0.17

(\*):  $\mu$ =mean,  $\sigma$ =standard deviation

#### 4. 결론

본 연구에서는 자기공명 영상을 이용하여 손가락 뼈의 움직임에 따른 피부 움직임을 정량적으로 분석하였다. 이를 위하여 피부에 서피스 마커를 부착하여 3 가지 자세에 대한 자기공명 영상 획득하고, 이로부터 3 차원 모델을 복원하여 뼈의 형상을 기준으로 정합을 수행하였다. 향후 연구과제로서 피부 움직임을 정확하게 높이기 위한 마커의 반경을 고려한 오프셋(offset)과 실제 광학장비를 활용하여 피부에 마커를 측정하고 본 연구의 데이터를 기반으로 관절의 움직임 분석을 위한 데이터 보정 연구가 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 일본 JKF 재단과 JISTEC 의 Winter Institute 프로그램에 의해 지원되었습니다. 또한 일본 AIST 의 Digital Human Research Center 에서 수행되고 있는 Digital Hand Project 의 일환으로 수행되었습니다. 본 연구를 위해 도와준 Digital Hand Project 의 관계자 여러분에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Fowler N. K., Nicol A. C. Condon B., Hadley D., "Method of determination of three dimensional index finger moment arms and tendon lines of action using high resolution MRI scans," Journal of Biomechanics, Vol. 34, No. 6, pp. 791- 797, 2001.
2. Van Sint Jan S., Salvia P., Hilal I., Sholukha V., Rooze M., Clapworthy G., "Registration of 6 DOFs

electgoniometry and CT medical imaging for 3D joint modeling," Journal of Biomechanics, Vol. 35, No. 11, pp. 1475-1484, 2002.

3. Udupa J. K., Herman G. T., 3D Imaging in medicine 2<sup>nd</sup> edition, pp. 329-360, CRC press, 2000.
4. Udupa, J. K., Hirsch B. E., Hillstrom H. J., Bauer G. R., Kneeland J. B., "Analysis of *in vivo* 3D internal kinematics of the joints of the foot," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 45, No. 11, pp 1387-1396, 1998.
5. Piazza S. J., Okita N., Cavanagh P. R., "Accuracy of the functional method of hip joint center location: effects of limited motion and varied implementation," Journal of Biomechanics, Vol. 34, No. 7, pp. 967-973, 2001.
6. Alexander E. J., Andriacchi T. P., "Correcting for deformation in skin-based maker systems," Journal of Biomechanics, Vol. 34, No. 3, pp. 355-361, 2001.
7. Cappozzo A., Cappello A., Croce U. D., Pensalfini F., "Surface-Marker Cluster Design Criteria for 3-D Bone Movement Reconstruction," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 44, No. 12, pp 1165-1174, 1997.
8. Folwler N. K., Nicol A. C. Condon B., Hadley D., "Effect of skin movement on the analysis of skeletal knee joint motion during running," Journal of Biomechanics, Vol. 30, No. 7, pp. 729- 732, 1997.
9. Jae Hun Ryu, H. S. Kim and Kwan H. Lee, "Contour based algorithms for generating 3D models." International Journal of Advanced Manufacturing and Technology, 2003. (accepted for publication)