2002년도 대한전자공학회/대한전기학회 시스템 및 제어분야 합동 추계학술대회 논문집(2002.11.30)

Double Stereo Vision을 이용한 아래 턱 운동 측정 시스템 개발

박 순 용, 김 문 상, 조 창 현, *김 중 한, **유 송 민
한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터, *삼풍치과의원, **경희대학교 기계 · 산업시스템 공학부
전화 : 02-958-5619 / 핸드폰 : 016-304-8206

Development of jaw motion measuring system using double stereo-visions

Soonyong Park, Munsang Kim, Changhyun Cho, Joonhan Kim, Songmin Yoo
Advanced Robotics Research Center, Korea Institute of Science and Technology
E-mail : scipio77@kist.re.kr

Abstract

In this paper, we propose a system that is configured with double stereo-visions to measure jaw movement. This new system measures not only left and right hinge points of jaw motion but also floating paths of hinge points during lateral and protrusive movement. The resulting 3D position and path data can also be used for 3D graphic simulation technique for occlusion diagnosis and therapy. The system also considers the compatibility with conventional occlusion therapy devices.

1. 서론

기존의 수동식 악운동 측정 장비는 측정 절차가 다소 복잡하고 시간이 많이 걸려 측정 대상인 환자와 작업자인 의사의 고통이 매우 컸으며 의사의 상태에 의해 측정의 반복 정밀도를 신뢰 할 수 없었다. 또한 현재 활발하게 진행 중인 3차원 CAD/CAM 기술을 이용한 교합 진단 및 치료에 필요한 악운동 데이터를 산출하는데 어려운 점이 있다. 이러한 이유로 자동화된 측정 장비의 필요성이 크게 증대하고 있어 자동화 측정을 위한 연구도 진행되었고 일부 상품화에 성공한 사례도 있다. 이러한 측정 시스템들에는 회전 감지 센서, 자기 감지 센서, CCD 카메라, 적외선 센서와 같은 다양한 센서 등이 사용되었는데, 이 중 고성능의 적외선 센서를 사용한 모델이 성공적이나 기존 수동식 시스템에 비해 상당히 고가이며 악운동 측정의 기준이 되는 오비탈 플레인(orbital plane)을 3차원 데이터화할 수 없는 단점이 있다. 또한 CCD 카메라를 이용한 경우에는 아직까지 상업화된 것은 없으나 많은 연구가 되어지고 있으며 대부분 특정 패턴(pattern)의 마커(marker)를 이용한 스테레오 비전 프로세싱(stereo vision processing) 기술을 사용하였다. 그러나 실제적인 교합 진단 및 치료를 위한 고려가 되어있지 않아 그 실용성에 한계가 있었다.

본 연구에서는 스테레오 비전 프로세싱 기술을 사용하여 수동식 기구에서 제공하던 악운동 회전 중심, 오비탈 플레인 및 악운동 궤적의 측정을 자동화하며 3차원 CAD/CAM 기술에 의한 가상 환경과 기존 교합 방식인 교합기와 치아 석고 본에 의한 교합 진단 및 치료를 가능하게 하기 위한 악운동 측정 시스템과 측정 방법을 개발하고자 한다.

2. 배경 지식

악운동 기능 검사는 치아 교정 치료를 위한 진단 중 하나로 악운동을 측정하기 위해서는 측정 기준을 설정

하여야 한다[7]. Fig.1은 모 회사의 제품을 장착한 모습을 예로 측정 기준을 나타낸 것이다.

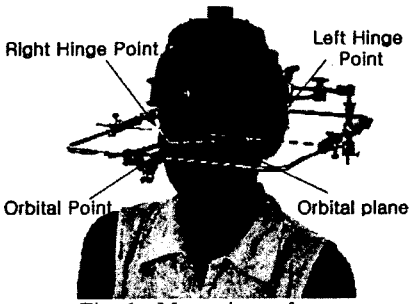

Fig. 1 Measuring references

오비탈 플레인(orbital plane)은 악운동을 3차원 공간상에서 해석하기 위해 설정되는 수평기준면으로 좌우 힌지 포인트(hinge point)와 오비탈 포인트(orbital point)의 세 개의 점에 의해 결정된다. 힌지축(hinge axis)은 아래 턱 회전 운동의 회전축이다. 힌지 포인트는 힌지축 상의 특이점으로 악운동을 대표하는 점으로서 악운동의 측정과 해석에 사용된다. 오비탈 포인트는 오비탈 플레인 설정 시 전방 기준점이다.

3. 측정 시스템

악운동 측정 시스템은 좌, 우에 2대씩, 4대의 CCD 카메라와 비전 프로세싱 및 디지털 영상처리를 하기 위한 컴퓨터, 사용자의 아래턱에 부착되는 아래턱 연결부(jaw connector)의 좌, 우에 부착된 2개의 이동 패턴부(moving pattern plate), 양쪽 얼굴 면에 부착되는 고정 패턴부(fixed pattern plate) 그리고 오비탈 플레인을 측정하기 위해 눈 주위에 부착되는 오비탈 마커(orbital marker)로 구성된다. Fig. 2는 악운동 측정 시스템의 구성을 간략히 나타낸 것이고 Fig. 3은 특정 패턴의 마커를 사용자에게 부착한 예를 나타낸 것이다.

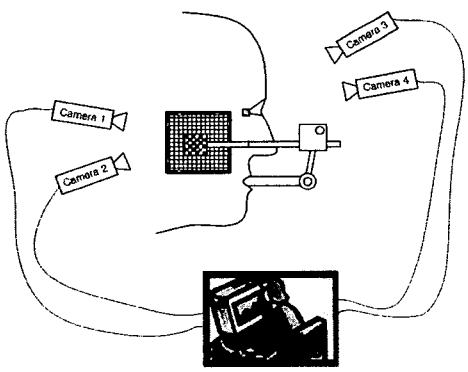

Fig. 2 System configuration

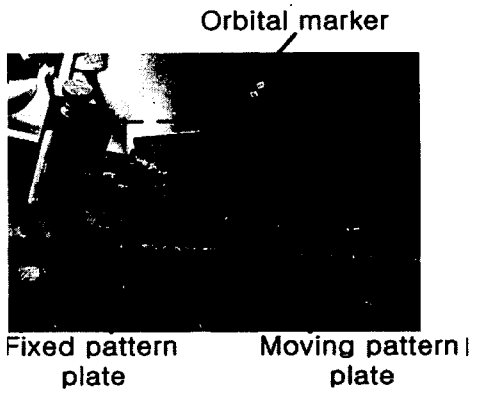

Fig. 3 3 Markers

오비탈 마커는 눈 주위에 부착되어 오비탈 포인트를 표시하기 위한 것이고 이동 패턴부는 아래턱 연결부에 부착하여 악운동을 대표하게 된다. 고정 패턴부는 얼굴 양쪽 면에 부착되며 좌, 우 각 방향에 대한 힌지 포인트 측정 시 기준 좌표계 역할을 한다.

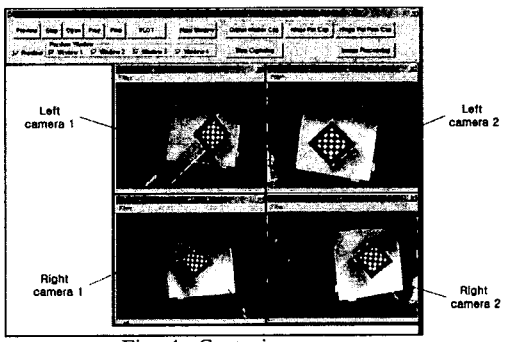

Fig. 4 Capturing program

Fig. 4는 4대의 CCD 카메라 영상을 모니터링하면서 동시에 캡처(capture)할 수 있는 프로그램의 실행 화면이다.

4. 측정 방법

악운동 시 4대의 CCD 카메라로 고정 패턴부에 대한 이동 패턴부의 상대 운동 이미지를 동시에 여러 장 캡처하고 특정 색 추출, 이진화 기법, 라벨링(labeling), 영역 형성, 침식 연산, 팽창 연산, 코너 포인트 추출 등의

디지털 영상 처리 기법을 사용하여 캡쳐된 각각의 이미지에서 데이터 포인트(data point)들을 획득한다[2]. 여기서 데이터 포인트란 Fig. 3의 이동 패턴부와 오비탈 마커의 체크무늬를 이루는 4개의 사각형이 한 점에서 만나는 점과 고정 패턴부의 테두리 4각형의 4개의 꼭지점 중 XYZ 좌표축을 설정할 수 있도록 지정된 3개의 꼭지점이다.

4대의 CCD 카메라를 스테레오 비전 캘리브레이션(stereo vision calibration)하면 각 카메라간의 위치 관계 및 렌즈의 굴곡에 의한 이미지 왜곡 정도를 측정 할 수 있다[1]. 이 캘리브레이션 정보를 이용하여 캡쳐된 이미지의 왜곡을 보정하고 고정 패턴부와 이동 패턴부, 오비탈 마커의 데이터 포인트들의 3차원 좌표를 계산한다[3,4].

측정된 3차원 좌표를 이용하여 고정 패턴부와 이동 패턴부를 대표하는 좌표계를 설정할 수 있다. 또한 이동 패턴부의 데이터 포인트들의 3차원 좌표에 나사이론(screw theory)을 적용하여 나사축(screw axis)을 구한다[5,6]. 그러면 Fig. 5와 같이 나사축은 곧 힌지축과 동일하며 힌지축과 좌우 고정 패턴부가 교차하는 점을 계산하면 악운동의 회전 중심, 즉 힌지 포인트를 구할 수 있다.

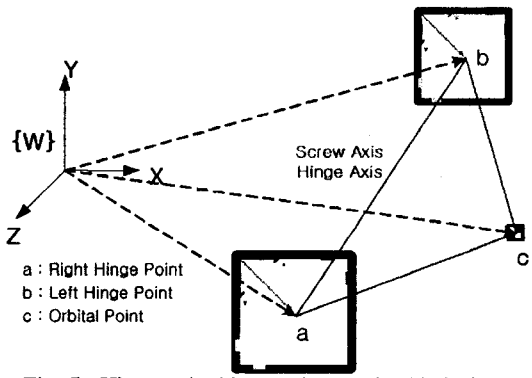

Fig. 5 Hinge axis, hinge points and orbital plane

오비탈 플레인은 Fig. 5에서 좌우 힌지 포인트 a, b와 오비탈 포인트 c의 세 개의 점이 이루는 평면이며 이 세 점으로 오비탈 플레인 좌표계를 설정할 수 있다.

악운동 궤적은 Fig. 6과 같이 오비탈 플레인을 기준으로 측정되며 이동 패턴부 좌표계에 대해 회전 중심의 좌표를 고정값으로 설정하고 순차적으로 캡쳐된 여러 장의 이미지에서 오비탈 플레인 좌표계에 대한 이동 패턴부 좌표계의 좌표변환 관계를 계산하여 힌지 포인트에 적용하면 힌지 포인트의 운동 궤적 즉, 악운동 궤적을 구할 수 있다. 이를 공식화 하면 다음과 같다[6].

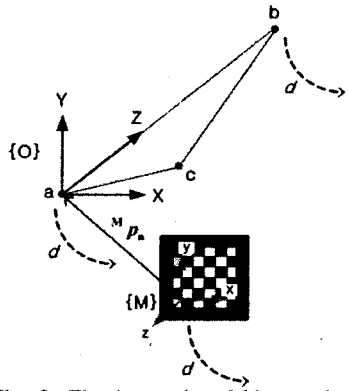

Fig. 6 Floating paths of hinge points

$$ {}^{O}p_a = {}^{O}_{M}T \; {}^{M}p_a $$

{M} : Moving pattern plate의 local coordinate
{O} : Orbital plane의 local coordinate
${}^{M}p_a$: {M}에 대한 right hinge point의 좌표, 고정값
${}^{O}_{M}T$: {O}에 대한 {M}의 좌표 변환 관계
${}^{O}p_a$: {O}에 대한 right hinge point의 좌표
d : Moving pattern plate의 운동 변위

5. 실험

본 논문에서는 악운동 모사 장치를 이용하여 힌지 포인트와 힌지 포인트의 운동 경로를 측정하는 실험을 하였다.

Fig. 7은 악운동 모사 장치이며 아래턱 연결부 역할의 이동 프레임이 그림과 같이 회전과 병진 운동이 가능하도록 제작되었다.

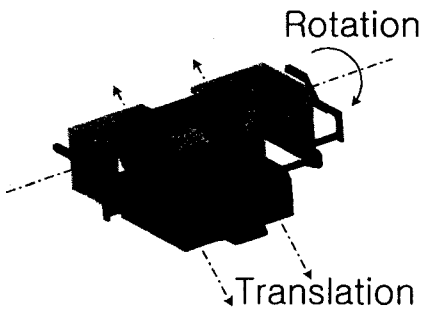

Fig. 7 Jaw motion simulator

정확한 검증을 위해 악운동 모사 장치의 이동 프레임에 이동 패턴부를 부착하지 않고 Fig. 8과 같이 임의로 지정한 데이터 포인트를 중심으로 이동 패턴부가 회전

하는 4장의 연속적인 이미지를 이용하여 힌지 포인트를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 9와 같으며 0.2mm 내의 오차 범위에서 측정되었다.

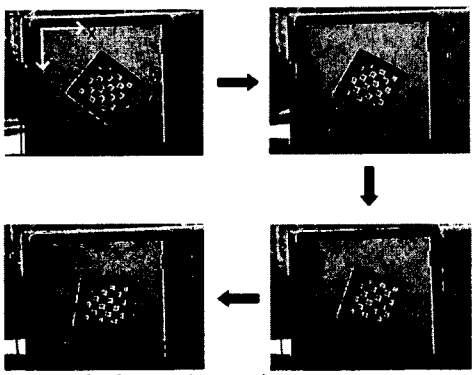

Fig. 8 Successive motions on a camera

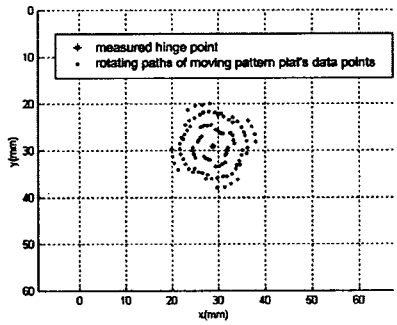

Fig. 9 Experiment result of a hinge point of the motion simulator

Fig. 10에 표시된 방향으로 이동 패턴부가 움직이는 영상을 여러 장 캡쳐하여 힌지 포인트의 운동 경로를 측정하였으며 그 결과는 Fig. 11과 같다. Fig. 9와 Fig. 11의 결과 그래프는 Fig. 10의 고정 패턴부에 표시된 3차원 좌표계에 대해 표시되었다.

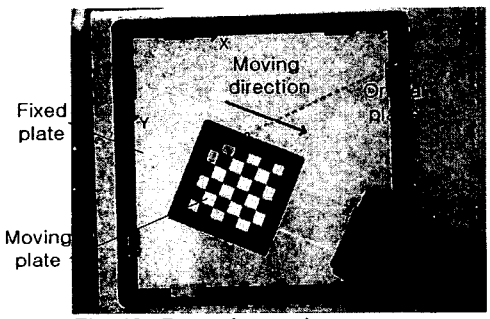

Fig. 10 Protrusive motion on a camera

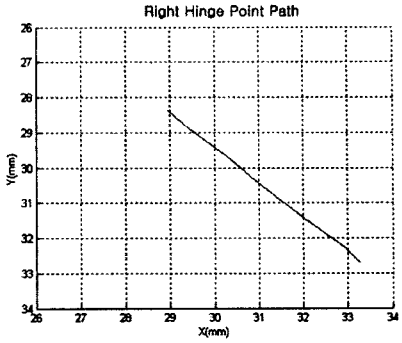

Fig. 11 Experiment result of a travel path of the hinge point

6. 결론

본 논문에서는 악운동의 회전 중심 및 오비탈 플레인, 악운동 궤적을 3차원 자동 측정하기 위해 더블 스테레오 비전 시스템, 스테레오 비전 및 영상 처리를 위한 특정 패턴과 처리 방법 그리고 3차원 좌표를 이용한 악운동 회전 중심과 오비탈 플레인, 악운동 궤적의 측정 방법을 제안하였으며 악운동 모사 장치를 이용한 측정 실험으로 제안한 시스템의 동작 여부를 검증하였다.

참고문헌

[1] Roger Y. TSAI, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation Vol. RA-3. No. 4, August 1987

[2] Milan Sonka, Vaclac Hlavac, Roger Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", PWS, 1999

[3] Gang Xu, Zhengyou Zhang, "Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition", Kluwer Academic Publishers, 1996

[4] Linda G. Shapiro, George C. Stockman, "Computer Vision", Prentice Hall, 2001

[5] Lung-Wen Tasi, "Robot Analysis", John Wiley & Sons, 1999

[6] John J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control, Second Edition", Addison-wesley Publishing Company, 1989

[7] 김영수, 조인호, 박영국, 장경수 편역, "임상 교합학 사전", 지성 출판사, 2000