

論 文

강체 운동 해석 기법에 관한 연구
—하악골 운동 파라미터 결정 기법을 주로—

正會員 丁 采 榮*, 正會員 宋 鐵* 正會員 李 權 鉉**

A Study on a Method of Rigid Body Movement
Analysis
—Mainly on Mandible Movement Parameter
Determination—

Chae Young JUNG*, Chul SONG*, Kwon Hyun LEE** *Regular Members*

要 約 본 논문은 시각 패턴 인식 기법을 이용하여 보이지 않는 강체의 운동을 해석하고자 한다. 가려져 보이지 않는 강체에 특수 모양의 강체를 부착하여 볼 수 있게 한 다음, 강체의 운동을 비디오 카메라로 모착한다.

모든 운동은 평행 이동과 회전 이동으로 나타낼 수 있다. 그러나 평행 이동도 무한 원점을 중심으로 한 회전 운동으로 표현할 수가 있다. 따라서, 운동 해석은 순간 회전 중심과 회전각을 구하는 것이다. 구현한 알고리즘은 인체의 하악 운동에 적용 시켰다.

ABSTRACT This paper is an attempt to use vision-pattern recognition technique to analyzation on a hidden rigid body motion. Specially shaped rod, rigidly connected to the hidden body is extended to the outside of hiding object so that a camera may catch the motion data.

Every motion can be described with translation and rotation. But translation can be explained with rotation with a infinitely far centroid.

Motion analysis is to find the instantaneous centroid and rotation angle. With this theory jaw motion is analyzed in this paper.

I. 서 론

본 논문은 형태는 알고 있으나 가려져서 직접

관찰할 수 없는 강체의 운동을 해석하기 위한 것이다. 관찰 가능하도록 특수 모양의 강체를, 해석하고자 하는 강체에 연결하여 이 부분의 운동을 해석함으로써 대상 강체의 운동해석이 가능해 진다.

모든 운동은 순간 회전 운동으로 간주할 수 있으므로, 운동 해석은 순간 회전 중심, 회전

*朝鮮大學校 電算統計學科
Dept. of Computer Science, Chosun University.
**東新工科學大學 電子工學科
Dong-shin Engineering University
論文番號 : 90-32(接受1989. 12. 7)

반경 및 회전각을 구하면 알 수 있다. 따라서, 관찰 가능한 부분을 비디오 카메라로 일정 시간 간격으로 연속 촬영하고 그 영상 신호를 처리하여 강체의 운동 해석에 필요한 신호를 추출한다.

영상에서 특징점의 추출은 계산이 용이하도록 직각 삼각형의 꼭지점에 발광체를 부착한 강체를 연결했고, 입체 운동의 정보를 얻기 위해 카메라 한 대를 추가하는 대신 거울을 관측 방향에 대해 45°로 설치하여 실상 3점과 거울에 비친 상 3점을 이용했다.

회전 중심과 회전 반경 및 회전각은 궤적의 좌표를 이용하여 구하고, 강체가 임의의 회전을 했을 때는 강체내에 최소 운동점이 존재하게 하므로 궤적의 좌표를 이용하여 이 점을 찾는 알고리즘을 구현하고자 한다.

운동의 해석은 6각형의 컵과 인체의 하악골을 예로 들었다.

인체중 유일한 외부 노출 강체는 하악골에 연결된 치아이고 치아의 운동 양상으로부터 하악골의 운동을 해석할 수 있는데, 하악골은 대개의 경우 측면에서는 좌·우 방향 수평축에, 전면에서는 수직축에 대하여 회전 운동을 하고 전·후방 방향(X축) (Y축)축에 대한 회전 운동은 거의 없으므로 평면의 경우인 Z축 방향 회전과, Z축 방향 및 Y축 방향 회전 성분이 존재하고 X축 방향 회전이 없는 부분적인 입체 운동의 경우를 논하였고, 대상 강체의 운동을 화면에 재현시켰다.

기존의 하악 운동에 대한 해석은 수작업으로 평면 운동을 해석하여 유류가 많았기 때문에⁴⁾ 본 연구에서는 시각 인식 기법을 이용하여 부분적인 입체 운동을 해석하고자 한다.

II. 운동 정보의 추출

II-1. 상의 포착 및 특징점 추출

카메라를 통해 입력된 상은 입·출력 전용

버퍼를 거쳐 주기억장치의 일부를 256Kbyte 크기로 분할하여 구성된 버퍼에 저장하여 고정상을 만든다.

특징점을 추출하기 위해 첫번째 프레임 버퍼에 있는 화상을 실행 버퍼로 이동시킨 다음, 수직·수평 변수값을 증가시키면서 화소를 추적하여 일정 농도값 이상의 화소를 발견하면 이 때의 수직·수평 변수값을 좌표값으로 설정한다.

두번째 특징점의 좌표값은 탐색 시간의 단축을 위해 첫번째 좌표값을 기준으로 실행영역을 축소시킨 다음, 이 범위에서 두번째 특징점의 좌표를 추출한다. 6개의 특징점을 구하면 두번째 프레임을 실행 버퍼로 이동시켜 동일한 방법으로 특징점의 좌표값을 얻는 과정을 마지막 프레임까지 계속한다.

그런데, 하나의 특징점은 다수의 화소로 구성되기 때문에 탐색 후, 각 특징점에 대한 수직 성분과 수평 성분을 구하고 이들의 교점을 구하여 최종적인 특징점으로 잡았다.

상의 포착과 특징점 추출을 위한 알고리즘은 그림 1과 같다.

II-2. 형상 인식

추출된 특징점은 매 프레임당 6개의 수직·수평 좌표값의 쌍을 갖는다. 그러나, 추출된 특징점은 화면상의 원점(0,0)에서 가까운 순서대로 받아들였기 때문에 동일점의 이동 경로를 추적하기 위해 삼각형간의 상호인식 과정이 필요하다. 이를 위한 형상 인식 흐름도는 그림 2와 같다.

실상과 반사상을 분리시키기 위해 거울면에 대해 실상은 항상 반사상의 오른쪽에 존재하게 된다. 이는 카메라를 기준으로 왼쪽에 거울을 설치하면 이러한 조건이 성립한다.

3개의 특징점 중에서 실상의 60°, 90°, 30°에 해당하는 좌표를 A,B,C, 그룹으로 정의하고 거울에 반사된 A,B,C의 대칭점 좌표 그룹을 A', B', C'로 설정하고 포착되는 특징점이 6개의 그룹 중 어느 그룹에 속하는가를 비교한다.

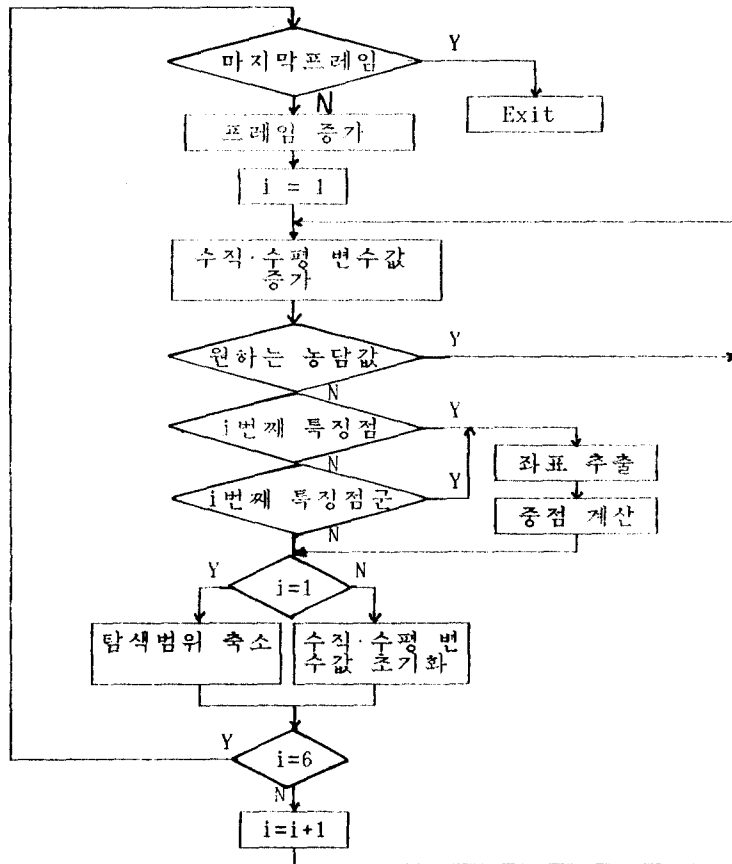
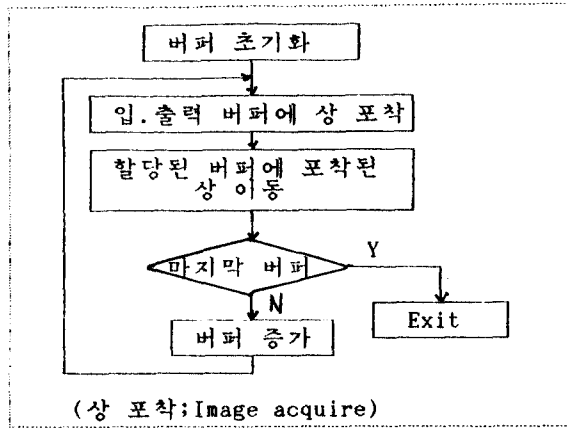


그림 1. 특징점 추출 흐름도
Fig.1 Flow chart for finding characteristic points

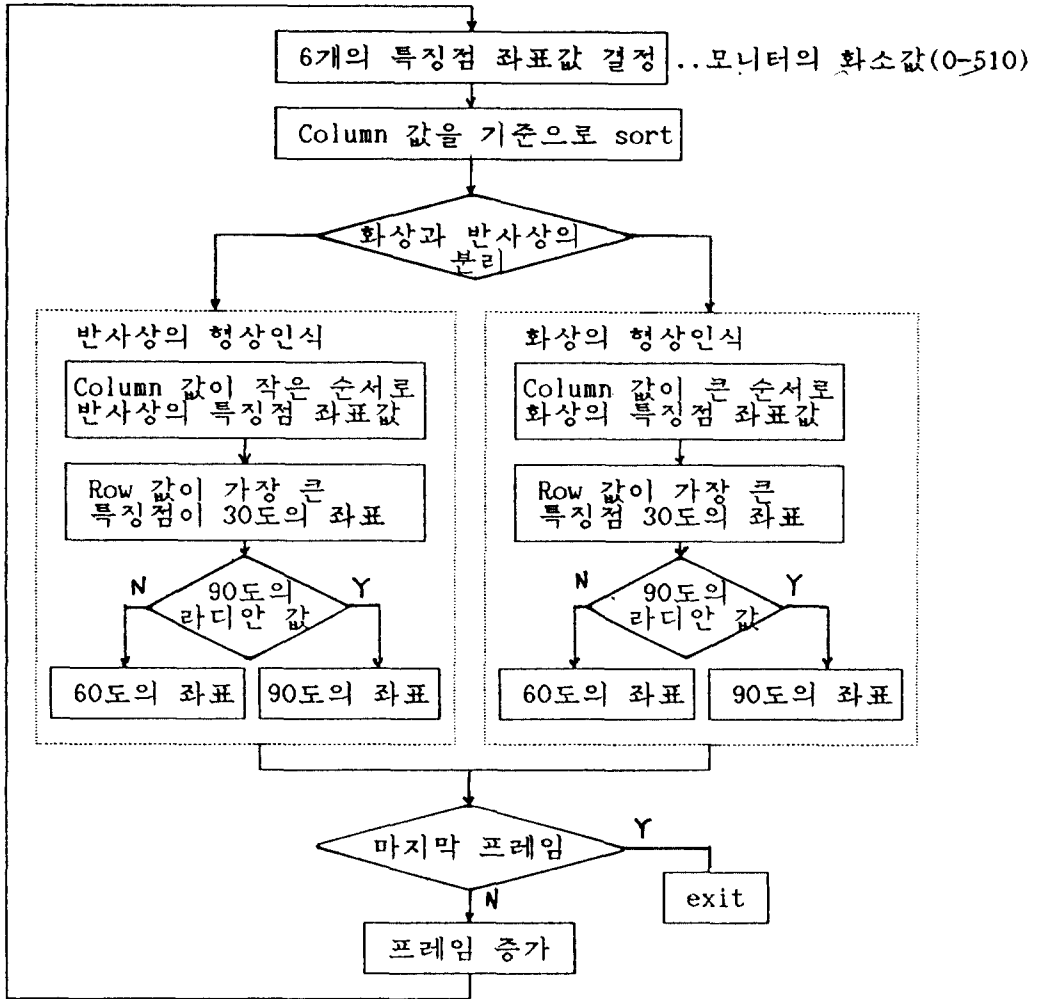


그림 2. 형상 인식 흐름도

먼저 칼럼값이 큰 순서대로 A,B,C 그룹에 재 정렬시키면 실상의 좌표값이 얻어지고, 나머지 3개가 반사상의 좌표값으로 분리된다. 실상의 로우값이 가장 큰 특징점을 C, 90°의 라디안값에 해당하는 특징점을 B, 나머지를 A로 재정렬시킨다. 반사상도 동일한 방법으로 재정렬시킨다.

반사상에서 2개의 특징점만 나타나는 것은 실상의 A,B점이 한 점으로 투영된 경우로 형상

인식 과정에서 A,B의 좌표값을 동일한 값으로 만들어 준다. 이상의 과정을 거치면 포착된 삼각형의 크기와 위치에 관계 없이 인식이 완료된다.

II-3. 좌표 변환

실 세계에서 얻어진 상을 컴퓨터 좌표계로 변환하는 과정은 다음과 같다.

화상 좌표계에 나타난 3개의 특징점을 각각 A_1, B_1, C_1 이라 하고 좌표값을 각각 $(x_{s1}, y_{s1}), (x_{s2}, y_{s2}), (x_{s3}, y_{s3})$ 라 할 때, 화상 좌표계의 원점에 가장 가까운 점 $A_1(x_{s1}, y_{s1})$ 을 그림 3과 같이 원점으로, 이에 상응한 비율로 $B_1(x_{s2}, y_{s2}), C_1(x_{s3}, y_{s3})$ 을 이동시키기 위한 행렬을 T_1 이라 하면 식(1)과 같다.

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{s1} \\ 0 & 1 & -y_{s1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림 3은 화상 좌표계를 나타낸 것이다.

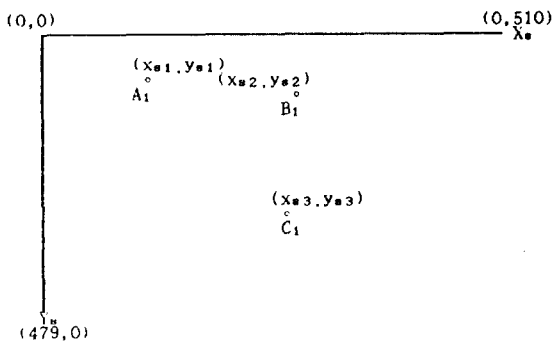


그림 3. 영상 모니터상의 좌표

그림 3에 대응한 실 세계의 강체의 형태는 그림 4와 같다. 여기서 A_0, B_0, C_0 는 실 세계의 특징점을 나타내고, 이들의 좌표값은 $(x_{r1}, y_{r1}), (x_{r2}, y_{r2}), (x_{r3}, y_{r3})$ 라 한다.

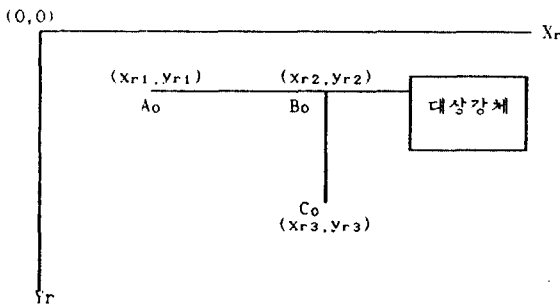


그림 4. 실세계

화상과 실물간의 크기에 대한 비율을 구하면 식(2)와 같다

그림 3에서 A_1 과 C_1 간의 거리를 dd 라 하고, 그림 4에서 A_0 와 C_0 간의 거리를 d 라 하면

A_1C_1 간의 거리

$$dd = \sqrt{(x_{s1} - x_{s3})^2 + (y_{s1} - y_{s3})^2}$$

A_0C_0 간의 거리

$$d = \sqrt{(x_{r1} - x_{r3})^2 + (y_{r1} - y_{r3})^2}$$

$$\text{실물과 화상간의 비율 } r = d/dd \quad (2)$$

식 (2)에서 얻어진 비율을 각각의 길이에 계산하는 스케일링 팩터 SC의 행렬은 식 (3)과 같다.

$$SC = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

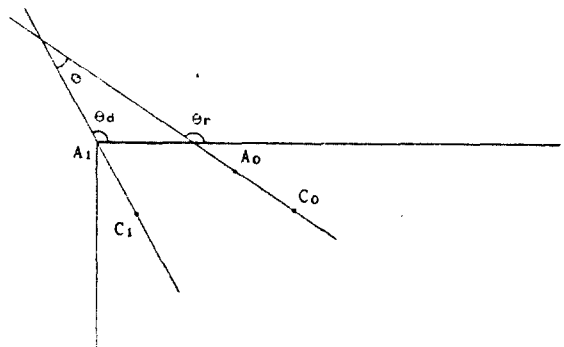


그림 5. 회전각 결정

$SC \cdot T_1$ 을 연산하면 실제의 상이 동일한 비율로 화면 좌표계로 변환된 결과를 나타낸다. 회전각을 알기 위한 식 (4)와 식 (5)는 A_1C_1 과 A_0C_0 의 직선의 교각을 구하는 다음과 같은 과정을 거쳐 얻어진다.

$$\theta = \theta_r - \theta_d$$

$$\tan \theta = \frac{\tan \theta_r - \tan \theta_d}{1 + \tan \theta_r \cdot \tan \theta_d} = \frac{m_r - m}{1 + m_r m}$$

$$\text{단, } m_r = \tan \theta_r = \frac{y_{r1} - y_{r3}}{x_{r1} - x_{r3}}, \quad m = \tan \theta_d = \frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{m_r - m}{1 + m_r m} \right) \quad (4)$$

따라서, 회전 행렬을 R이라 하면 R은 식(5)와 같다.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

화상 좌표계의 원점으로 이동된 상은 원래의 포착된 위치로 평면 이동시켜야 하는데, 이동 행렬을 T₂라 할 때 T₂는 식(6)과 같다. 여기서 x_{r1}과 y_{r1}은 특징점 A₀의 좌표값을 나타낸다.

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_{r1} \\ 0 & 1 & y_{r1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

마지막으로, 화면의 특성상 X축과 Y축의 비율을 1:1로 만드는 화면 출력 스케일링 팩터 SC₁은 식(7)과 같다. 단, R_x는 화면의 수평축 실제 길이, R_y는 수직축 실제 길이를 나타낸다.

$$SC_1 = \begin{bmatrix} R_x & 0 & 0 \\ 0 & R_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

이상의 전체 변환 과정을 T라 하면 식(8)과 같다.

$$T = T_1 \cdot R \cdot SC \cdot T_2 \cdot SC_1 \quad (8)$$

III. 운동 해석

모든 운동에 대한 해석은 크기와 속도, 가속도 등 여러 가지의 요소가 분석 가능해야 하지만, 본 논문에서 다루고자 하는 해석은 물체의 이동 즉, 위치의 변동만을 해석하고자 한다. 물체의 모든 운동은 순간 회전 운동으로 간주할 수 있으므로, 운동 해석은 순간회전 중심, 회전 반경 및 회전각을 구함으로써 가능하다.

III-1. 순간 회전 중심

순간 회전 중심을 구하는 방법은 인접점법과 중점법이 있는데 중점법을 이용하고자 한다.⁽⁷⁾

그림 6과 같은 방법으로 중점을 잡으면

$$x_a = \frac{x_1 + x_3}{2}, \quad y_a = \frac{y_1 + y_3}{2} \quad \text{와}$$

$$x_b = \frac{x_2 + x_4}{2}, \quad y_b = \frac{y_2 + y_4}{2}$$

는 각 데이터를 포함하고 있는 면에서 일정한 거리에 고정되어 있는 점이고,

$$x_p = \frac{x_a + x_b}{2}, \quad y_p = \frac{y_a + y_b}{2} \quad \text{도 그 평면의 일정한}$$

거리에 고정되어 있는 점이다. 강체가 중심(x_c, y_c)에 대하여 회전하면 점(x_p, y_p)도 동일 중심을 가지고 회전한다. 따라서, 중심은 (x_a, y_a)와 (x_b, y_b)를 지나는 직선에 수직이고 (x_p, y_p)를 지나는 선상에 있다.

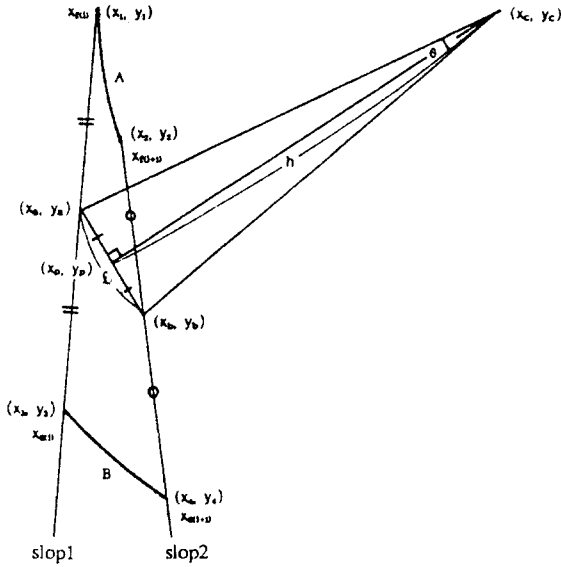


그림 6. 데이터(x₁, y₁)의 중점(x_c, y_c) 결정

(x₁, y₁)에서 (x₂, y₂)까지 회전한 각은 (x_a, y_a)에서 (x_b, y_b)까지 회전한 각과 같다. 따라서, 회전각 $\theta = \angle$ 현 A와 현 B의 직선 교각이다. 이상의 이론에 따라 계산하면,

$$x_a = \frac{x_{f(t)} + x_{s(t)}}{2}, \quad y_a = \frac{y_{f(t)} + y_{s(t)}}{2}$$

$$x_b = \frac{x_{f(t+1)} + x_{s(t+1)}}{2}, \quad y_b = \frac{y_{f(t+1)} + y_{s(t+1)}}{2}$$

$$x_p = \frac{x_a + x_b}{2}, \quad y_p = \frac{y_a + y_b}{2}$$

l의 기울기를 m₁이라 하면

$$m_1 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$$

(x_p, y_p)를 지나고 선 l에 수직인 직선의 식은

$$y = -\frac{1}{m_1}(x - x_p) + y_p \quad (9)$$

이고, 회전각을 구하기 위해 $\overline{P_{f(t)}P_{s(t)}}$ 과 $\overline{P_{f(t+1)}P_{s(t+1)}}$ 의 기울기를 구하면

$$\text{slop1} = \frac{y_{s(t)} - y_{f(t)}}{x_{s(t)} - x_{f(t)}}, \quad \text{slop2} = \frac{y_{s(t+1)} - y_{f(t+1)}}{x_{s(t+1)} - x_{f(t+1)}}$$

회전각을 θ 라 하면,

$$\tan\theta = \frac{\text{slop2} - \text{slop1}}{1 + \text{slop1} \cdot \text{slop2}} \text{의 관계로부터}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{slop2} - \text{slop1}}{1 + \text{slop1} \cdot \text{slop2}}\right)$$

$$l = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

$$h = l / \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

피타고라스 정리에 의해

$$(x_c - x_c)^2 + (y_c - y_c)^2 = h^2$$

$$(x_c - x_p)^2 + [m(x_c - x_p) + y_p - y_p]^2 = h^2$$

$$(x_c - x_p)^2 + m^2(x_c - x_p)^2 = h^2$$

$$(x_c - x_p)^2 \cdot (1 + m^2) = h^2$$

$$(x_c - x_p)^2 = \frac{h^2}{1 + m^2}$$

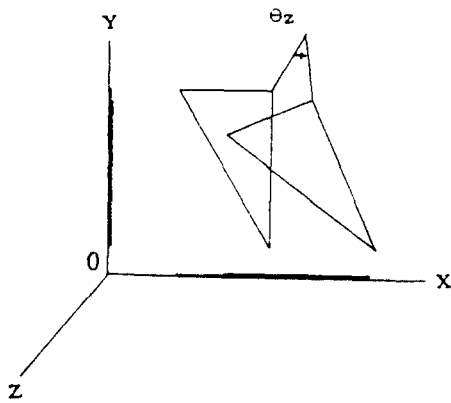
$x_c = x_p + \frac{h}{\sqrt{1+m^2}}$ 이다. 따라서, 강제 모델에 의해 얻어진 순간 회전 중심은

$$x_c = x_p + \frac{h}{\sqrt{1+m^2}}, \quad y_c = m(x_c - x_p) + y_p \text{이다.}$$

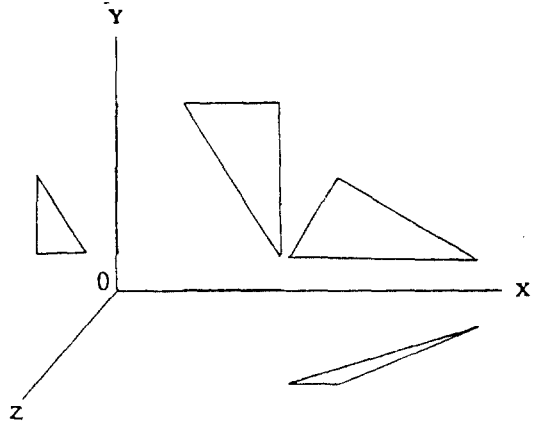
III-2. 3차원 운동

· Y축에 관한 회전

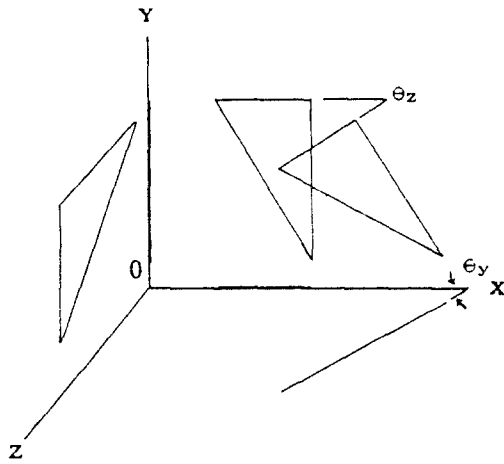
지금까지는 그림 7의 (a)와 같이 XY평면에 있는 물체 $\triangle ABC$ 가 평면 내에서 운동하는 경우 즉, Z축 방향에 대한 회전 운동의 경우만을 논하였다. 그림 7의 (b)는 Y축 방향의 회전각 θ_y 가 존재할 경우를 나타낸 것이고, 그림 7의 (c)는 θ_z, θ_y 가 동시에 존재하는 경우를 나타낸 것이며, (d)는 $\theta_z, \theta_y, \theta_x$ 가 존재할 경우를 나타낸 것이다.



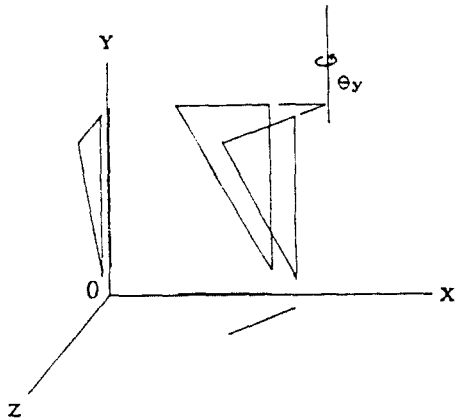
a) Rotation about shifted Z axis



d) Rotation about shifted Z axis



b) Rotation about shifted Y axis



c) Rotation about shifted Y and Z axis

그림 7. 운동의 경우
Fig.7 Some cases of motion

그림 7의 (b)에서 θ_y 가 미소한 경우는 물체에 대한 상의 변화가 미소하기 때문에 해석을 위한 연산 과정에서 무시할 수 없는 오차가 발생한다. 즉, Z축 방향의 평행 이동 dz 에 따른 X방향의 변화 dx 는 미소하기 때문에 가능한 한 dz 의 정보를 정확히 얻기 위해서는 X축 방향에서 데이터를 취해야 한다. 즉, X방향에서 별도의 카메라로 dz 를 취해야 하나, 본 연구에서는 하나의 카메라를 이용하여 입체 데이터를 얻기 위해 Z축 방향에 한 대의 카메라를 설치하고 물체 옆에 θ 의 각(45° 가 최적)으로 놓은 물체와 거울에 반사된 상으로부터 특징점을 추출하여 입체 데이터를 취하였다.

그림 8은 θ_y 와 θ_z 가 있는 경우로서 θ_y 와 회전 반경 R_y 는, XZ 평면에서 카메라를 통한 영상이 그림 8의 (b)와 같이 XY 평면에만 있으므로 XY 평면을 이용한다.

θ_y 는 그림 8의 (a)에서 직선 $\overline{A_1B_1}$ 과 $\overline{A_0B_0}$ 와의 교각이다. ZX 평면에서 $\overline{A_1B_1}$ 의 직선의 기울기를 m_{12} 라 하면 m_{12} 는

$$m_{12} = \frac{X_{A_1} - X_{B_1}}{(X_{A_0'} - X_{A_1'}) - (X_{A_0'} - X_{B_1'})} = \frac{X_{A_1} - X_{B_1}}{X_{B_1'} - X_{A_1'}}$$

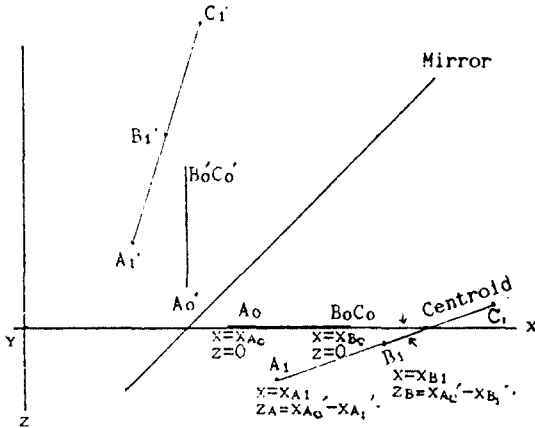
$$\theta_{A_1} = \tan^{-1}(m_{12})$$

$$\therefore \theta_y = \pi / 2 - \theta_{A_1} = \pi / 2 - \tan^{-1}(m_{12})$$

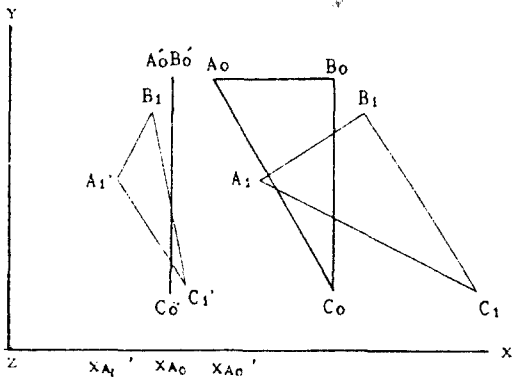
직선 A_0, B_0 와 직선 A_1, B_1 의 교점이 회전 중심
이므로,

$$x - x_{A_1} = m_{l_2}(z - (x_{A_0} - x_{A_1}))$$

$$z = 0 \text{에서는 } x = x_{A_1} + m_{l_2}(x_{A_1} - x_{A_0})$$



a) Top view



b) Front view

그림 8. 실물과 45°로 설치한 거울에 비친 반사상
Fig. 8 Object and reflected image against mirror positioned by 45°

III-3. 최소 운동점

임의의 고정된 한 점을 중심으로 회전 운동을 하는 물체는 바로 이 중심이 물체의 최소 운동점이 된다. 그러나, 이동하는 물체는 회전 중심도 계속 변하기 때문에 다수의 중심점이 존재하게 되며, 물체의 전체적인 회전 중심을 구해야 최소

운동점을 알 수 있다.

다수의 중심점을 가중치 없이 산술평균하여 이를 전체적으로 최소 운동을 한, 회전 중심 평균으로 사용하면 식 (10)와 같다. 여기서 C_i 는 각 중심점을 나타낸다.

$$X_{min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{C_i}, Y_{min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{C_i} \quad (10)$$

그러나 평행 이동인 경우 즉, 회전 반경 $R \rightarrow \infty$ 일 때는 모든 부분이 거의 동일하게 이동하였으므로 이 때의 X축 중점 X_c 와 Y축 중점 Y_c 는 계산에 큰 영향을 미친다.

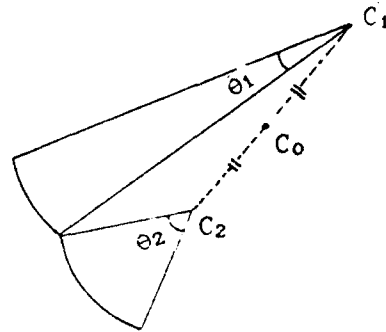


그림 9. 가중치를 부여한 평균 최소 운동점 결정
Fig. 9 Determination of least moved point by weighted center average

따라서, 이러한 문제를 보완하기 위해 그림 9와 같이 회전각을 가중치로 하여 전체적인 최소 운동점의 회전 중심 평균을 구하면 식 (11)과 같다.

여기서 C_i 는 회전 중심을, θ_i 는 회전각을 나타낸다.

$$X_{min} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \theta_i} \sum_{i=1}^n \theta_i X_{C_i}, Y_{min} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \theta_i} \sum_{i=1}^n \theta_i Y_{C_i} \quad (11)$$

IV. 실험 및 고찰

실험에서 사용한 시스템은 32Bit PC를 사용하고 언어는 파스칼을 이용하여 구현하였다. 영상

처리를 위해 사용한 프레임 그레버 내에 512 KByte 용량의 메모리를 내장하고 있어 이를 입·출력 전용 버퍼로 사용하였다. 주기억장치를 4MByte로 구성하고 이 중에서 시스템이 사용할 640KByte를 제외한 나머지 약 3.3MByte를 확장된 기억장치로 구성하여 여기에 상을 포착했다. 화상 데이터는 하나의 프레임당 256K(512×512×8Bit)를 소요하므로, 사용가능한 버퍼는 13개가 되지만 입·출력 전용 버퍼 2개를 제외하면 실제 상을 포착하는데 사용할 수 있는 버퍼는 11개가 된다.

① 실험 기구 설치

입체 데이터는 일직선상에 있지 않은 3점과 이를 직각의 위치에서 추출한 또다른 3점만 있으면 해석이 가능하기 때문에 3점으로 삼각형의 형태를 구성하도록 기구를 만들고 내각을 각각 30°, 60°, 90°, 대변의 길이를 3cm, 5.2cm, 6cm로 설계하고 각 꼭지점에 광원을 부착하여 기구를 제작하였다.

입체 데이터를 검출하기 위해서는 두대의 카메라를 피사체에 대해 직각을 이루도록 설치하여 각기 다른 버퍼에 교대로 한 프레임씩 상을 포착한 다음, 관련된 2개의 프레임을 합성하여 여기서 특징점을 추출하는 스테레오 비전 시스템이 이용되고 있다.⁹⁾그러나, 이러한 방법은 첫번째

카메라가 상을 포착한 다음, 임의의 거리를 이동한 상태에서 두번째 카메라가 상을 포착하기 때문에 이 두개의 상을 합성하기 위해서는 첫번째 카메라에서 얻은 데이터를 기준으로 두번째 카메라에서 얻은 데이터를 일정값 보상해 주는 문제점이 따른다. 따라서 본 연구에서는 한 대의 카메라로 입체 데이터를 얻기 위해 카메라 축점에 대해 피사체와 45°를 이루도록 거울을 설치하여 여기서 반사된 반사상과 실상을 동시에 포착하였다.

카메라와 피사체의 거리를 1m로 하고, 거울과 피사체의 거리는 최초에 운동을 시작할 때는 2cm 정도를 유지시켰다.

② 데이터 검출

표 1은 인체의 치아에 제작한 강체를 연결하여 하악의 운동시 얻은 데이터값이다. 포착된 상에서 로우와 칼럼값이 작은 순으로 추출된 특징점의 실제 좌표값을 나타낸 것이며, 표 2는 표 1의 좌표를 인식 알고리즘을 거친 결과 재 배열된 결과를 나타낸 것이다.

③ 강체의 운동 재현

그림 10에서 강체 RB에 고정된 l_1 과 l_2 가 RB의 회전에 따라 $P_1 \sim P_2$, $P_3 \sim P_4$ 의 궤적을 그리며 움직였을 때, 회전 중심은 중점법에 의해 C_0 가

표 1. 로우와 칼럼 데이터
Table 1 Row and Column data

동작	상의 포착 번호	A' 그룹	B' 그룹	C' 그룹	A 그룹	B 그룹	C 그룹
		행, 열	행, 열	행, 열	행, 열	행, 열	행, 열
위에서 아래로 움직일 때	1	88,229	94,290	100,371	277,233	298,359	0,0
	2	92,223	98,290	104,371	281,233	302,359	0,0
	3	105,217	114,284	120,362	294,230	315,359	0,0
	4	115,214	127,281	130,362	304,230	325,359	0,0
	5	122,211	134,212	134,281	137,359	311,230	332,359
	6	129,211	141,209	144,275	144,356	318,230	342,353
	7	136,208	148,209	154,272	154,350	325,230	349,353
	8	143,205	155,206	158,350	161,269	332,230	353,353
	9	144,205	156,206	162,269	162,347	333,230	354,356
	10	148,202	160,203	166,347	169,266	337,230	361,350

표 2 재 배열된 데이터
Table 2. Reordered data

동작	상 의 포 착 번 호	A' 그룹	B' 그룹	C' 그룹	A 그룹	B 그룹	C 그룹
		행,열	행,열	행,열	행,열	행,열	행,열
위에서 아래로 움직일 때	1	88,229	88,229	277,233	94,290	100,371	298,359
	2	92,223	92,223	281,233	98,290	104,371	302,359
	3	105,217	105,247	294,230	114,284	120,362	315,359
	4	115,214	115,214	304,230	127,281	130,362	325,359
	5	122,211	134,212	311,230	134,281	137,359	332,359
	6	141,209	129,211	318,230	144,275	144,356	342,353
	7	136,208	148,209	325,230	154,272	154,350	349,353
	8	143,205	155,206	332,230	161,269	158,350	353,353
	9	144,205	156,206	333,230	162,269	162,347	354,356
	10	148,202	160,203	337,230	169,266	166,347	361,350

되며 회전각이 구해지므로 회전된 강체의 형상을 화면에 구성할 수가 있다. 즉, 한 점 (x,y)을 임의의 위치로 이동시키기 위한 평행 이동 변환 행렬을 T, 한 점(x,y)을 원점에 대해 각각 M 배 확대하기 위한 스케일링 팩터를 S라 하고 한 점(x,y)을 원점에 대해 θ 만큼 회전시키는 회전 변환 행렬을 R이라 하며, 원점에서 다시 (x_c,y_c)로 이동시키는 T의 역이동 행렬을 T⁻¹라 할 때 전체 변환 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_c \\ 0 & 1 & y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & -S & 0 \\ S & C & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_c \\ 0 & 1 & -y_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} CMx & -SMx & -CMx_c + SMx_c + x_c \\ SMx & CMx & +SMx_c + CMx_c + y_c \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = [T] [R] [S] [T^{-1}] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

↓
화면에 표시할 좌표

↓
데이터

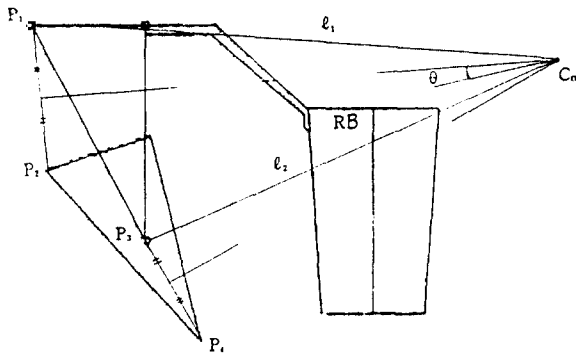


그림 10. 강체의 운동에
Fig. 10 A sample of the motion of a rigid body

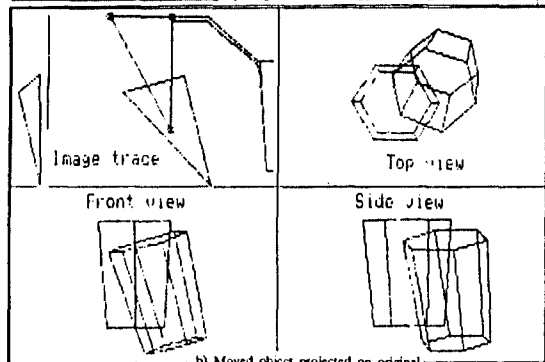
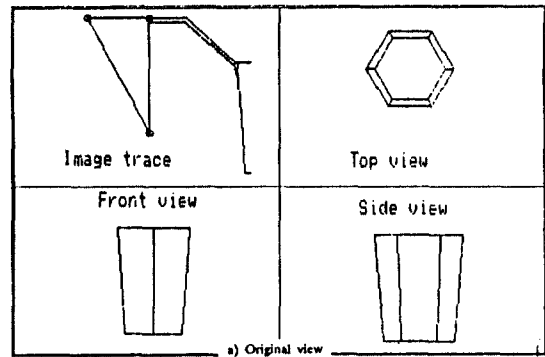


그림 11. 강체의 운동 실례
Fig. 11 An example of the motion of a rigid body.

C=cos θ , S=sin θ 라 놓으면

강체 R의 윤곽 데이터 x,y 와 회전중심 좌표 (x_c,y_c) 를 식 (12)에 대입하여 계산한 결과를 화면에 나타나게 하면 (x_c,y_c) 를 중심으로 하여 θ 만큼 회전한 강체의 모양이 나타난다.

그림 11은 이상의 변환 과정을 거쳐 6각형의 컵을 재현한 것이다.

그림 12는 입을 벌릴 때 하악의 순간 회전 중심점의 궤적을 나타낸 것이다.

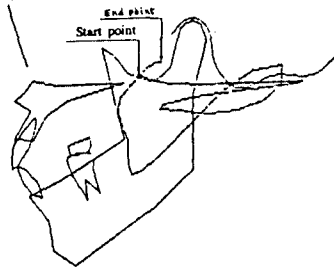


그림 12. 최소 운동점의 궤적
Fig. 12. Trace of least moved point

④ 최소 운동점

그림 13은 그림 12의 순간 회전 중심점에 따라 이동하는 운동 형태를 재현한 것으로 실제 포착한 프레임은 10개였지만, 보다 정확한 재현을 위해 3차원 스플라인 법으로 데이터를 보간하여 평면으로 재현시켰다.

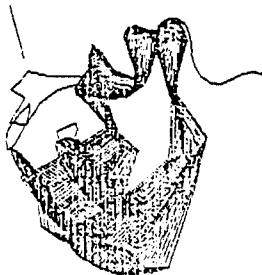


그림 13. 입을 벌릴 때 하악의 이동 경로 시뮬레이션
Fig. 13 Computer graphic simulation of the mandibular movement by instant centroid at the opening.

그림 14는 회전각을 가중치로 하여 전체적인 최소 운동점의 회전 중심 평균을 나타낸 것이다.

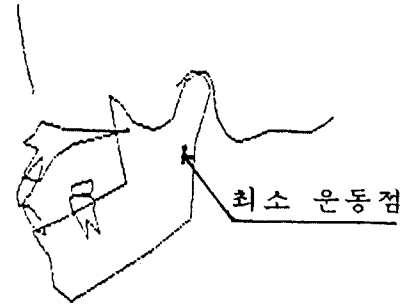


그림 14. 최소 운동점
Fig. 14 Least moved points

⑤ 고찰

특징점을 추출하는 과정에서 실상과 반사상이 카메라의 초점과 정확하게 같은 거리에 있지 않기 때문에 농담값이 일정하지 않고 20~25 정도 차이가 났다. 따라서, 가능한 한 제작한 강체를 거울에 근접시켜 이동하도록 해야 실상과 반사상과의 농담값 차가 작아졌다.

또, 피사체의 모든 부분이 카메라의 초점에 대해 직각을 이룬다는 가정하에서 알고리즘을 구현하였다. 거리에 따라 상의 크기가 변하나 피사체와 카메라와의 거리가 피사체의 크기에 비해 충분히 크기 때문에 오차를 무시하였다.

V. 결 론

본 논문에서 구현한 알고리즘을 32Bit PC와 DT2851 프레임 그레버를 이용한 시스템에 적용시킨 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

①입·출력 전용 버퍼에서 확장된 기억장치의 버퍼로 데이터를 전송하는데 약 0.8초의 시간이 소요되므로 8초 내외의 운동에 적합했고 8초보다 훨씬 빠른 운동은 녹화한 다음, 운동을 해석해야 했다. 느린 운동에 대해서는 전 운동 시간에

따라 적절한 시간 간격으로 자동 포착하게 하거나 수동으로 키-인 하도록 알고리즘을 구성함으로써 가능했다.

② 관측 방향과 수직되는 운동 영상은 정확한 운동 정보를 얻을 수 있지만 거울에 반사된 영상은 거울의 설치 위치와 각도에 따라 오차가 변하였으므로, 상의 움직임에 따라 거울과 항상 45°를 이루는 장치를 고안하면 보다 정확한 운동 해석이 가능할 것이다.

③ 회전각과 회전 중심은 회전축에 따라 별도로 계산하였다. 즉, 회전각이 큰 수직 운동에 대하여 먼저 계산하고, 수평 운동은 원점을 지나는 수직면에 회전 중심을 구하였다.

④ 최소 운동점은 좌표계에 대한 최소 변위량 이었고 강체에 대한 최소 운동점은 아니지만 강체에 대한 최소 운동점에 근접하였다.

본 알고리즘은 수식으로 표현하기 어려운 일반적인 물체에 적용할 경우 많은 양의 데이터가 발생하기 때문에 실물에 대한 데이터베이스를 구축하기 위해서는 보다 빠르게 실물의 데이터를 얻는 방법이 연구되어야 할 것이다. 또, X축 회전이 포함된 완전한 입체의 회전 운동에 대해 계속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

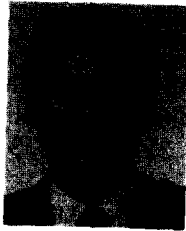
1. Schank R.C., Childers P.G. The Cognitive Computer Addition Wesley, pp.25~43, 1984.
2. D.Marr and T.poggio, "A Computational Theory of Human Stereo Vision, Cognitive Science, pp 534~547, 1988.
3. B.Funt and J.Ho, "Color from Black and White.", IEEE Second International Conference on Computer Vision, pp 2~8, December, 1988.
4. Chai-Hong Lee and Azriel Rosenfeld, "Improved Methods of estimating Shape from Shading Using the Light Source Coordinate System.", A · I, Vol.26, No.1, pp.125~ 143, April, 1984.
5. Shih Jong Lee and Robert M.Haralick, "Understanding Objects with Curved Surfaces from a Single Perspective View of Boundaries.", A · I, Vol.26, No.1, pp.145~169, April, 1984.
6. 손 동식, "악관절의 운동학에 관한 방사선학적 연구", 치과연구, 제18권, pp.51~55, 1985.
7. 윤 문근, "강체의 회전 중심을 구하는 알고리즘에 관한 연구", 공학석사학위 논문, 조선대학교, 1988
8. Ken-ichi Kanatani, "Detection of Surface Orientation and Motion from Texture by a Stereological Technique.", A · I, Vol. 23, No.5, pp.13~24, May. 1983.
9. Yuncai Liu and Thomas S.Huang, "3-D Motion Estimation from Corner Correspondences", IEEE ICIP '89 Conference Proceedings, Vol.2, pp. 785~790, 1989.
10. J.G. Postaire, P.Bonnet, C. Vieren, J.P.Deparis, "Camera Movement Compensation for Image Sequence Analysis using Differencing", IEEE, ICIP '89 Conference Proceedings, Vol.2, pp. 791~795, 1989.
11. 강동완, 최명식 : 하악골 운동학(Ⅱ) 조선대 구강 생물학 연구, 제11집, 129-138, 1987.



丁 采 榮 正會員
1956年 1月25日生
1984年 2月：朝鮮大學校 電算機工學科
卒業
1986年 2月：朝鮮大學校 大學院 電子工
學科 工學碩士學位 取得
1990年 2月：朝鮮大學校 大學院 電氣工
學科 工學博士學位 取得
1986年 9月～現在：朝鮮大學校 電算統
計學科 專任講師
주관심분야는 A.I, 영상처리 등임.



宋 鐵 正會員
1938年 2月28日生
1961年 3月：朝鮮大學校 電氣工學科 卒
業
1977年 2月：朝鮮大學校 大學院 電氣工
學科 工學碩士學位取得
1985年 2月：全北大學校 大學院 電氣工
學科 工學博士學位取得
1973年～現在：朝鮮大學校 電算機工學
科 教授
主關心分野는 신호처리, 컴퓨터 그래픽
스 등임.



李 權 鉉(Kwon Hyun LEE) 正會員
1950年 4月24日生
1972年 2月：朝鮮大學校 電氣工學科
(工學士)
1976年 9月：延世大學院 電氣·電子專攻
(工學碩士)
1985年 5月：西獨 Duisburg大學院 器具
設計學(工學博士)
1985年 9月：現代重電機(株)技術研究所
責任研究員
1986年 5月：三星電子部品(株)技術研究
所 責任研究員
1987年 3月～：東新工科大学 電子工學
科 助教授