

論文2001-38CI-2-4

패러렐 카메라모델을 이용한 3차원 스캐너 시스템 (Three Dimension Scanner System Using Parallel Camera Model)

李 熙 滿 *

(Heeman Lee)

요 약

본 논문은 패러렐 카메라 모델을 사용한 카메라 캘리브레이션과 3차원 스캐닝 알고리즘에 관한 것이다. 레이저 스트립라인이 스테레오 매칭을 위해 보조적으로 사용하였으나 원리적으로는 불필요하다. 피측정 물체는 스텝핑모터에 의해 플레이트 위에서 360도 회전하며, 카메라로부터 거리를 측정하여 월드좌표를 구한다. 피측정 물체의 월드좌표는 모델좌표로 변환되며 다수의 군집 모델좌표로부터 모델링을 위한 면을 추출하고 OpenGL을 이용하여 렌더링 한다. 본 알고리즘은 에피폴라 라인의 매칭점의 유효성을 검사하여 잘못된 매칭값을 버리고 무효한 매칭값은 유효한 값으로 부터 보간법으로 산출한다.

Abstract

In this paper, the three dimension scanner system employing the parallel camera model is discussed. The camera calibration process and the three dimension scanning algorithm are developed. The laser strip line is utilized for assisting stereo matching. An object being scanned rotates on the plate which is activated by a stepping motor. The world coordinate which is the measured distance from the camera to the object is converted into the model coordinate. The facets created from the point cloud of the model coordinate is used for rendering the scanned model by using the graphic library such as OpenGL. The unmatched points having no validate matching points are interpolated from the validate matching points of the vicinity epipolar lines.

I. 서 론

기계류, 정밀 부품, 금형, 광학부품 그리고 자동차나 항공기의 모형 실험을 위한 정밀모형(model)등 부품의 형상을 정밀하게 측정하는 데에는 3차원 거리측정이 매우 중요하다. 3차원의 거리측정은 매우 다양한 분야에서 응용되고 있다. 군사분야에서는 무인 자동항법장치 및 미사일의 타겟 자동 추적장치 등에 적용 가능하며, 의학분야에서는 신체 의족, 의수 등 모조품의 제작

등에 적용되고 있으며, 최근 들어 영화, 오락산업, 의류산업 등에 그 응용 영역이 점차 확대되고 있다. 3차원 캐릭터의 애니메이션 제작시 거의 필수적 요소로 사용되는 모션캡처기술은 캐릭터 움직임의 주요 관절부의 정보를 3차원으로 실시간 측정함으로써 가능하다. 3차원 측정기술은 기존 접촉식 방식을 많이 이용되어 왔으나 컴퓨터의 성능 향상과 전자기술의 발전에 따라 비접촉식 측정방식이 발전되고 있다. 표 1은 3차원 정보를 얻기 위한 거리측정방법을 정리한 것이다.

비접촉식 측정은 측정대상에 접촉되지 않고 3차원 측정이 가능하여 측정대상이 손상되지 않으며 또한 고온 물체 등의 악조건에서도 측정이 가능하므로 활발한 연구가 진행되고 있다. 모아레 현상을 이용한 3차원 측정법은 1970년 Meadows^[1]에 의해 그림자식 모아레

* 正會員, 西原大學校 컴퓨터情報通信學部
(School of Computer, Information & Communication, Seowon University)
接受日字: 2000年 7月20日, 수정완료일: 2001年 2月28日

표 1. 거리측정방법
Table 1. Distance Measuring Method.

| | 접촉식 | 비접촉식 |
|------------|------------------------------|---|
| Point 측정 | Touch Probe | Optical Probe Acoustic Magnetic |
| Surface 측정 | Sliding Gauge Ribbon Gage | Optical Triangulation Structure Lighting(Moire) Stereo Vision |

방법이 처음 개발된 후 많은 발전을 하고 있다. 모아레 방식은 측정영역대비 높은 측정 분해능과 빠른 측정속도의 장점을 갖고 있으나 실제 구현에 있어 간섭무늬해석의 제한점, 수평방향으로의 낮은 측정 분해능 등의 문제점이 많다. 이를 해결하기 위한 많은 연구가 국내외에서 진행되고 있다^[2]. 본 연구는 스테레오 비전 방식을 사용한다. 스테레오 비전에 의한 거리 측정은 비접촉식 방식으로 3차원 공간을 2차원 공간으로 투영 변환을 행하는 카메라를 2대 이용하여 카메라의 기하학적인 배치로부터 잃어버린 3차원공간을 재 구현하는 원리를 이용한다. 즉 2대의 카메라는 월드좌표에서 서로 배치된 위치가 상이하여 왼쪽 영상좌표의 한 점에 대응하는 오른쪽 영상좌표는 그 위치가 서로 다르므로 그 다른 정도에 따라 3차원 공간을 재 구현을 할 수 있다. 그러나 가장 어려운 점은 2개의 영상, 즉 왼쪽 영상과 오른쪽 영상 사이에서 서로 대응되는 점을 찾는 일이다. 대응되는 점을 쉽게 찾기 위해 본 논문에서는 레이저 라인을 피사체에 조사하고 좌우 영상에서 레이저 라인의 위치를 찾는다.

본 논문은 3차원 스캐너 시스템에 관한 것으로 거리 측정을 위하여 스테레오 비전방식을 이용한다. 2절에서는 스테레오 카메라 모델의 이론적 해석과 성능평가를 하며, 3절에서는 효율적인 카메라 캘리브레이션 방법을 제안하고 3차원 스캐닝 알고리즘을 설명한다. 4절에서는 알고리즘의 구현 및 실험에 대하여 설명한다.

II. 스테레오 카메라 모델

복수개의 카메라를 설치하여 거리를 측정하는 방법은 매우 다양하다. 그 어떤 배치를 하더라도 두 대 이상의 카메라로부터 대응되는 점을 찾으면 카메라의 기하학적 위치에 따라 3차원 정보를 계산할 수가 있기

때문이다. 2대의 카메라를 사용하는 스테레오 모델은 컨버지 카메라 모델(Converged Camera Model)과 패러렐 카메라 모델(Parallel Camera Model)이 많이 사용된다. 컨버지 카메라 모델은 인간의 눈과 같이 카메라 두 광축이 고정점에서 만난다. 컨버지 카메라 모델의 해석과 분석은 [8]을 참조한다. 대부분의 스테레오 비전은 패러렐 모델(그림 1)을 사용하는데 그 이유는 대응되는 점의 위치를 찾기 쉽고, 또한 대응점으로부터 거리계산이 용이하기 때문이다. 그림 1은 핀홀(pin-hole) 패러렐 카메라 모델을 보였다. 실제적으로 카메라라는 핀홀이 아니므로 보다 정확한 계산을 위해서는 이를 보정하여야 한다. 그림 1은 2대의 카메라가 베이스 라인 위에 설치되어 있고 카메라는 베이스 라인과 수직으로 전방을 향한다. 왼쪽과 오른쪽 카메라를 연결하는 베이스 라인 1/2 지점을 월드좌표의 원점(O_w)으로 하고 두 대 카메라 사이의 거리는 $b\text{ mm}$ 이다. 카메라의 초점의 길이는 $f\text{ mm}$ 이며, 카메라의 영상은 베이스 라인으로부터 전방 $f\text{ mm}$ 위치에 있다고 가정한다. 그러나 실질적으로 카메라의 영상은 베이스 라인으로부터 후방 $f\text{ mm}$ 에 존재하지만 개념적 이해를 쉽게 하기 위하여 전방위치로 모델링한다. 왼쪽과 오른쪽 카메라에 각각 투영된 영상좌표는 카메라 영상 중심(Center O_l, O_r)을 기준으로 한다.

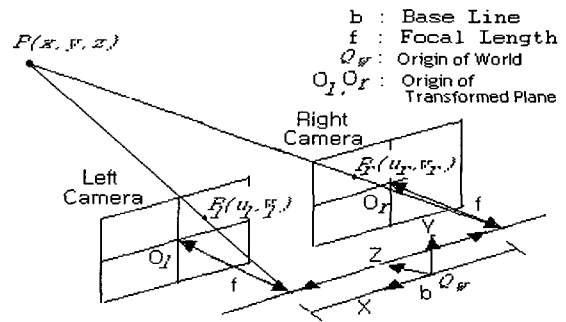


그림 1. 패러렐 카메라 모델
Fig. 1. Parallel Camera Model.

1. 패러렐 카메라모델

월드좌표의 한 점 $P(x_w, y_w, z_w)$ 에 있는 광은 왼쪽 카메라 $P_l(u_l, v_l)$ 와 오른쪽 카메라 $P_r(u_r, v_r)$ 영상좌표에 각각 투영된다. 투영되는 영상평면의 좌표는 투영변환(Perspective Transform)에 의하여 계산한다. 수식 (1)은 투영평면의 좌표를 계산한 것이다. 패러렐 카메라

라 모델은 수식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 수직축의 변위(Disparity)는 $D_v = v_l - v_r = 0$ 으로 월드 좌표의 한 점은 투영평면의 같은 수직 축에 존재한다. 즉 대응되는 지점은 같은 수직 축에 존재함으로 대응되는 위치를 찾기가 다른 카메라 모델에 비하여 용이하다는 장점이 있다.

$$\begin{bmatrix} u_l \\ v_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f(x+b/2)}{z} \\ \frac{fy}{z} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u_r \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f(x-b/2)}{z} \\ \frac{fy}{z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

수평축의 변위(D_h : Disparity)는 (2)와 같이 거리 z 에 반비례한다. 즉 영상의 좌표로부터 D_h 를 구하면 측정 대상의 거리 z_w 를 계산할 수 있다. 측정 대상이 무한 거리에 존재하는 경우 변위 D_h 는 영이 된다.

$$D_h = u_l - u_r = \frac{fb}{z_w} \quad (2)$$

그러나 영상이 도립영상이고 베이스 라인 후방 위치에 있는 경우 $D_h = u_r - u_l$ 를 사용하여야 한다. 두 개의 카메라 영상의 대응점으로부터 월드좌표 $P(x_w, y_w, z_w)$ 를 구하면 수식 (3)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b}{2} \frac{u_l + u_r}{D_h} \\ \frac{b}{2} \frac{v_l + v_r}{D_h} \\ \frac{bf}{D_h} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2. 패러렐 카메라모델의 심도분해능

월드좌표에 있는 물체의 이미지는 카메라의 렌즈에 의해 CCD Array 평면 (α (가로) \times β (세로))에 투영되고 CCD는 빛의 세기를 전기 신호로 변환한다. CCD-Array 평면에서 발생하는 전기신호는 이미지 그라버(Grabber)에 의해 이미지 평면 (M (가로) \times N (세로))으로 변환된다. 일반적으로 이미지 평면상의 좌표는 좌측 상단을 원점으로 하므로 이미지 평면의 좌표 $I(i, j)$ 와 카메라 파라미터와의 관계는 수식 (4)과 같다.

$$i = \lfloor M(\frac{1}{2} - \frac{v}{\beta}) \rfloor, \quad j = \lfloor N(\frac{1}{2} + \frac{u}{\alpha}) \rfloor \quad (4)$$

디지털 영상평면에서의 픽셀 변위(D_{hd} Disparity)와 영상평면의 변위 D_h 와의 관계는 (5)과 같다.

$$D_{hd} = \lfloor \frac{N}{a} D_h \rfloor = \lfloor \frac{N}{a} \frac{bf}{z_w} \rfloor \quad (5)$$

그러므로 $D_{hd} \geq 1$ 조건을 만족하여야 거리측정이 가능하며 이 조건은 월드좌표의 거리(z)에 따라 달라진다. 이를 심도분해능이라 하며 거리에 따른 측정 심도분해능은 (6)과 같다.

$$\Delta z = \frac{z^2}{\frac{N}{a} bf - z} \quad (6)$$

III. 3차원 스캐닝 알고리즘

피 측정 대상의 3차원 형상을 얻기 위해 카메라로부터 일정거리 위치에 피측정 대상을 360도 회전하면서 카메라로부터 물체까지의 월드좌표 거리를 측정 한 후, 월드좌표를 물체의 내부를 원점으로 하는 모델좌표로 변환한다. 다음은 3차원 스캐닝 알고리즘의 원리 및 알고리즘을 설명한다.

1. 3차원 스캐닝 알고리즘의 원리

3차원의 거리정보를 얻기 위해 피 측정 물체에 레이저 스트립 라인을 조사하고 좌우 카메라 영상으로부터 레이저 스트립 라인의 위치를 검색하여 검색된 위치의 좌우 변위를 추출함으로써 월드좌표의 정보를 얻게된다. 본 논문에서는 패러렐 모델을 사용하므로 수직축의 변위(Disparity)는 $D_v = v_l - v_r = 0$ 으로 월드 좌표의 한 점은 투영평면의 같은 수직 축에 존재함으로 매칭을 위해 수직 축을 탐색하지 않고 같은 수평의 에피폴라 라인만을 검색한다. 또한 패러렐 모델에서는 월드좌표 $P(x_w, y_w, z_w)$ 에 있는 점이 왼쪽 카메라 $P_l(u_l, v_l)$ 와 오른쪽 카메라 $P_r(u_r, v_r)$ 에 투영될 때 $P_r(u_r, v_r) \geq P_l(u_l, v_l)$ 의 제한 조건을 만족한다. 매칭을 위한 검색조건에 이를 적용하면 탐색시간을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 매칭의 오류를 줄일 수 있다. 또한 측정 물체의 크기를 알고 있는 경우 검색 창 크기는 더 제한 할 수가 있다. 그림 2는 좌표시스템간의 관계를 보인 것이다. 피 측정 물체의 모델을 얻는 방법은 다음과 같다. 좌우 카메라의 영상좌표를 월드좌표로 변환하여 피 측정 물체의 월드좌표 $P(x_w, y_w, z_w)$ 를 구한다. 다음은 월드좌표 $P(x_w, y_w, z_w)$ 로부터 모델좌표

$M(x_m, y_m, z_m)$ 를 계산한다. 모델좌표의 원점은 피 측정 물체의 중심과 월드좌표의 $x=0$ 인 평면이 교차하는 부분으로 정한다. 피 측정물체가 회전하므로 모델좌표 $M(x_m, y_m, z_m)$ 와 월드좌표와의 관계는 (7)와 같다. 즉 월드좌표를 $M_{Distance}$ 로 좌표이동하고 물체가 회전한 각도 θ 만큼 좌표를 보상한다.

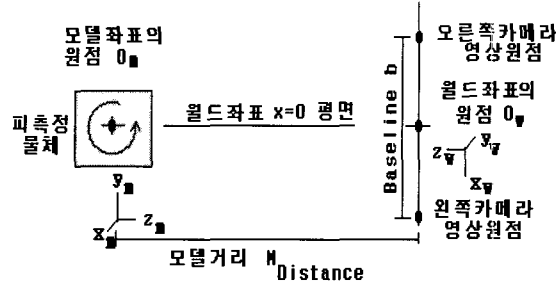


그림 2. 좌표시스템 간의 관계
Fig. 2. The relation between Coordinates.

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ M_{Distance} - z_w \end{bmatrix} \quad (7)$$

2. 카메라 캘리브레이션

정확한 거리 측정을 위해서는 카메라 캘리브레이션을 하여야 한다. 즉 초점거리, 광학중심 등의 카메라 내적인 특성과 기준 좌표계에 대한 카메라의 외적인 특성을 알아내는 것이다. 카메라의 캘리브레이션은 매우 중요함으로 이에 대한 연구도 꾸준히 지속되고 있다^[9]. 본 논문에서는 패러렐 카메라 모델을 사용하므로 좌우 카메라의 광축이 서로 평행하도록 조절하여야 하며 좌우 카메라의 에피폴라 라인이 같은 수직 축이 되도록 높낮이의 조절이 필요하다. 첫 번째, 수직 축의 높낮이 조절을 위해서는 지상과 평행이 되는 수평의 스트립 라인의 빛을 조사하고 이를 좌우 카메라를 통해 영상입력을 한 후 이미지평면상의 수직 축 좌표가 서로 일치하도록 카메라 광축의 높낮이를 조절한다. 두 번째, 좌우 카메라의 광축을 서로 평행하게 조절하기 위해서는 월드좌표의 원점에서 수직으로 $(0, 0, z)$ 위치에 물체를 위치시키고 좌우 영상을 획득하여 물체의 거리를 측정하고 기지의 값과 계산한 값이 같도록 광축을 미세 조절한다. 그러나 이 방법은 좌우 카메라가 서로 연동되어 있으므로 2대의 카메라를 동시에 조절하여야 하므로 캘리브레이션 시간이 많이 소요되며 불

편하다. 패러렐 카메라 모델을 사용하는 캘리브레이션을 다음과 같이 제한한다.

좌측 영상좌표 $I_l(i_l, j_l)$ 와 우측 영상좌표 $I_r(i_r, j_r)$ 로부터 월드좌표 x_w 를 구하면 수식 (2) (3)로부터 수식 (8)을 얻는다.

$$x_w = \frac{b}{2D_h} \left(-\frac{a}{N} (j_l + j_r) - a \right) \quad (8)$$

$x_w=0$ 인 지점은 $j_l + j_r = N$ 을 조건을 만족하여야 한다. 또한 $P(0, 0, M_{Distance}) = M(0, 0, 0)$ 이므로 $M(0, 0, 0)$ 위치의 변위를 $D_h^{M_{Distance}}$ 라고 하면, $M(0, 0, 0)$ 위치에서의 이미지 평면의 기준 수평좌표 j_{Lref} 및 j_{Rref} 는 수식 (9)를 이용하여 산출할 수 있다. 즉 레이저 스트립 라인이 $M(0, 0, 0)$ 에 조사될 때 영상에서의 좌표가 각각 수식 (9)의 값이 되도록 카메라의 팬각도를 조절한다. 이와 같이 좌우 카메라가 상호 독립적으로 개별 위치로 조절함으로써 캘리브레이션이 빠르고 정확하게 된다.

$$\begin{bmatrix} j_{Lref} \\ j_{Rref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left(N - \frac{N}{a} D_h^{M_{Distance}} \right) \\ \frac{1}{2} \left(N + \frac{N}{a} D_h^{M_{Distance}} \right) \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. 3차원 스캐닝 알고리즘

본 논문의 스캐닝 알고리즘은 피 측정 물체를 360도 회전하면서 물체의 3차원 모델을 획득한다. 3차원 모델은 OpenGL 등의 그래픽 라이브러리를 사용하여 렌더링하거나 또는 CAD용 데이터로 활용될 수 있다. 다음은 3차원 스캐닝 알고리즘을 설명한다.

- 단계 1: 레이저 라인 빔을 피측정 물체에 조사하고 패러렐 모델을 사용하여 좌측과 우측 영상을 획득한다.
- 단계 2: 좌측과 우측 영상의 에피폴라 라인에서 레이저 라인의 위치를 찾고 매칭점을 찾는다. 패러렐 카메라 모델에서의 매칭점은 같은 이미지 수평선에 있으므로 레이저 라인의 위치가 매칭점이 된다.
- 단계 3: 매칭점의 유효성을 검사하여 잘못된 매칭 값을 버리고 무효한 매칭 값은 유효한 매칭 값으로부터 보간법으로 산출한다. 유효성 여부는 물체의 예상 거리정보로부터 판단한다.

단계 4: 수식 (2), (3), (7)를 사용하여 모델좌표 $M(x_m, y_m, z_m)$ 를 계산하고 이웃하는 모델좌표로부터 모델테이블을 작성한다. 모델테이블은 모델을 렌더링하기 위한 사각 형 면(facet) 대한 정보와 면의 속성 값을 갖는다.

단계 5: 스텝핑 모터를 구동하여 피 측정 물체를 일정한 각도로 회전한다.

단계 6: 360도 스캐닝이 완료되면 모델테이블을 저장한 후 프로그램을 종료하고 그렇지 않으면 단계 1부터 반복한다.

단계 2의 매칭 점의 위치는 $M(0,0,0)$ 위치의 기준 수평좌표 j_{Lref} 및 j_{Rref} 의 위치로부터 최대 검색 원도 크기(W_M) 내에서 찾는다. 왼쪽 영상은 $(j_{Lref} - W_M) \sim j_{Lref}$ 사이에서 검색하고 오른쪽 영상은 $j_{Rref} \sim (j_{Rref} + W_M)$ 사이에서 검색한다. 최대 검색원도의 크기는 측정하려고 하는 물체의 크기(O_s)에 따라 결정된다. W_M 은 모델좌표 $M(x_m, y_m, z_m)$ 내의 z_m 값의 최대 값 $O_s = \text{Max } |z_m|$ 으로부터 수식 (10)를 이용하여 구한다. z_m 의 최대 값은 파라미터로 입력받는다.

$$W_M = \frac{Nbf}{a} \left(\frac{O_s}{M_{Distance}(M_{Distance} - O_s)} \right) \quad (10)$$

단계 3의 유효성은 물체의 예상거리로부터 산출한다. 계산된 거리가 $z \leq M_{Distance}$ 를 만족하고, 상하 에피플라 라인에서 구한 변위의 값과 많은 차이가 나지 않아야 한다. 또한 유효한 z 값이 최소 크기 개수 이상이 되어야 한다. 필요한 거리 정보가 유실된 경우에는 상하방향의 에피플라의 변위로 부터 일치된 인터플레이션을 한다. 단계 4의 모델테이블은 하나의 면(facet)에 대한 위치 및 속성정보를 갖는다. 즉 면의 4개 꼭지점의 3차원 좌표와 속성으로서 면의 컬러 또는 영상계조 정보를 갖는다. 모델테이블은 이전 루프에서의 거리 테이블과 현재 루프의 거리테이블로부터 산출한다.

IV. 알고리즘의 구현 및 실험

본 논문의 3차원 스캐닝 알고리즘을 Visual C++6.0으로 구현하였으며 인텔 펜티엄 III 500MHz, Windows 98환경에서 실험하였다. 영상의 획득은 640×480 ($N=640, M=480$) 흑백영상을 PicoPro

(Image Gabber)를 사용하였으며 2대의 카메라는 NTSC방식의 초점길이 $f=4mm$, CCD 가로길이 $a=4.8mm$, CCD세로 길이 $\beta=3.6mm$ SONY 흑백 카메라를 사용하였다. 물체의 회전은 DIO B/D를 사용하여 스텝핑 모터를 제어하였으며, 카메라의 배치는 패러렐 카메라 모델을 사용하고, 베이스라인의 길이는 $b=140mm$ 로 설정하였다. 표 2는 상기 파라미터를 이용한 거리 분해능으로 측정 정밀도를 분석한 것이다. 본 논문에서의 $M_{Distance}$ 는 $490mm$ 으로 $4mm$ 정도의 오차를 갖게 되며 오차를 좀더 줄이기 위해서는 b, N 값을 크게 하여야 한다.

표 2. 거리분해능
Table 2. Distance Resolution.

| D_m | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| z | 501.1 | 497.7 | 494.4 | 491.2 | 488.0 | 484.8 | 481.7 | 478.6 | 475.5 | 472.5 |

그림 3은 3차원 스캐닝 알고리즘을 사용하여 피 측정 물체(공)를 스캐닝하고 그 결과를 OpenGL로 렌더링한 결과이다. 피측정 물체의 표면상태에 따라 레이저 빛이 반사되므로 일부 영역의 데이터가 손실되었으나 $4mm$ 정도의 오차범위 내에서 크기를 측정할 수 있었으며 3차원 모델을 DXF 포맷으로 저장할 수 있다. 빛의 반사는 무광택 도료를 사용하거나 편광필터를 렌즈 앞에 사용하면 보완될 수 있다.

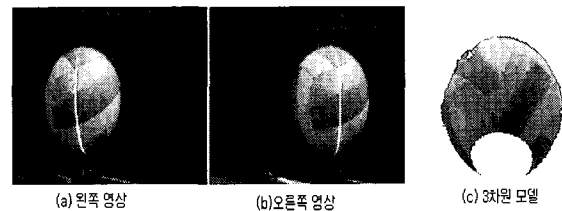


그림 3. 3차원 스캐닝 결과
Fig. 3. Three dimension scanning results.

V. 결론

본 연구에서는 스테레오 카메라를 이용한 3차원 스캐닝 알고리즘을 개발하고 구현하였다. 레이저 스트립 라인을 피 측정 물체에 조사하여 좌우 영상의 매칭을 용이하게 하며, 피 측정 물체는 스텝핑 모터에 의해

360도 회전한다. 카메라로부터 피 측정 물체까지의 거리 정보에서 월드좌표를 구하고, 피 측정 물체의 회전 각도 보상과 원점의 이동에 의하여 모델좌표를 구한다. 모델좌표의 위치정보로부터 면을 생성하고 각 면에 대한 속성을 구하여 모델테이블을 구축한다. 본 논문은 실험에서 보인 바와 같이 피측정 물체의 실제적인 크기를 계산하여 모델링을 할 수가 있으므로 OpenGL이나 그래픽 라이브러리를 통하여 3차원 렌더링을 하거나 또는 DXF 등의 데이터 파일로 변환되어 다른 CAD 소프트웨어에서 사용할 수 있다. 본 알고리즘은 에피폴라 라인의 매칭점의 유효성을 검사하여 잘못된 매칭 값을 버리고 무효한 매칭 값은 유효한 매칭 값으로부터 보간법으로 산출하지만 에피폴라 라인 상호간의 정보를 충분히 사용하지 않는 단점이 있으므로 이를 보완하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Meadows, D. M., Jhonson, "Generation of Surface Coutours By Moire Patterns", Appkied Optics, vol.9, no.4, pp.942-947, 1970.
- [2] 김승우, 최이배, 오정택, 정문식, "위상천이격자를 이용한 영사식 모아레", 대한기계학회논문집 A권, vol.22, no.5, pp.850-857,1998
- [3] Andre Redert, "Correspondence Estimation in Image Pairs", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 16, no. 3, pp.29-46, 1999.
- [4] J. Liu, "Stereo and Motion Correspondence in a Sequence of Stereo Images", Signal Processing : Image Communication, vol. 5, pp. 305-318, 1993.
- [5] D. Marr, Poggio, "A Computational Theory of Human Stereo Vision", Proc. Roy. Soc. London, Ser. B204, p301-328, 1979.
- [6] Yoshifumi Oyama, "A Stereo Matching Algorithm Using Cross-Iteration Fusion Process for Crossing and Occlusion", 電子情報通信學會論文誌, vol. J80-D-II, no. 6, pp.1941-1449, 1997.
- [7] Shigeru Kimura, "A Convolver-Based Read Time Stereo Machine(SAZAN)", IEEE, pp. 457-463, 1999.
- [8] 이적식, "교차시각 스테레오카메라 모델해석", 전자공학회논문지, vol. 33 b, no. 10, 1996
- [9] Sheng-Wen, "When should we consider lens distortion in camera calibration", Pattern Recognition, 28(3) pp. 3203-3231, 1995.

저 자 소 개



李熙滿(正會員)

1961年 8月 5日生 1984년 고려대학교 전자공학과 졸 BS. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸 MS. 1994년 Texas A&M Electrical Eng. Ph.D. 1996년 3월~현재 서원대학교 컴퓨터정보통신학부 조교수. 주관심분야: 가상현실, 멀티미디어, 컴퓨터그래픽스