

3차원 전신 스캐너 개발: 3차원 모델 스튜디오

구본기*, 박종승, 이민석, 오광만
한국전자통신연구원 가상현실연구센터 영상기반렌더링연구팀

Development of 3D Whole Body Scanner: 3D Model Studio

Bon-Ki Koo*, Jong-Seung Park, Min-Suk Lee, Kwang-Man Oh
Image-based Rendering Team, Virtual Reality Research Center, ETRI

요 약

실세계의 물체를 디지털화하는 다양한 작업들이 그래픽 모델링 분야 및 멀티미디어 응용 기술 분야에서 행하여지고 있다. 이러한 물체의 디지털화 기술은 3차원 스캐너의 보급과 함께 급속도로 빠른 발전 양상을 보여주고 있다. 본 논문에서는 “3D Model Studio”라고 명명된 한국전자통신연구원의 인체대상의 3차원 전신 스캐너 시스템의 개발을 소개하고 그 구현 방법을 알아본다.

1. 서론

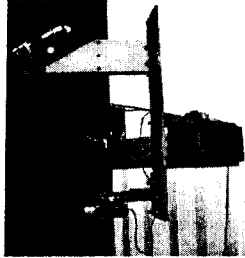
현재, 그래픽 모델링 분야의 3차원 데이터 자동 생성 기술개발 및 인터넷 기반의 멀티미디어 콘텐츠 데이터의 획득을 위한 다양한 형태의 기술적 요구가 생겨나고 있다. 이것은 기존의 수작업을 통한 3차원 모델의 제작은 많은 인력과 시간을 감수하고 이루어져 왔다는 것을 의미한다. 이러한 3차원 공간상의 임의의 물체에 대하여 3차원 디지털 데이터의 획득을 위한 다양한 기술적 접근과 응용기술 가운데 3차원 스캐너^{[1][2]}를 이용한 데이터의 자동화 기술은 다양한 형태로 연구되어지고 있다^{[3][4]}. 제안한 “3D Model Studio”는 이러한 요구를 만족하고, 그래픽, 멀티미디어, 컴퓨터 비전 등의 응용 분야에서 활용 가능한 3차원 형상 데이터를 자동으로 추출하고 가공할 수 있는 순수 국내 연구진에 의해 설계, 개발된 3차원 전신 스캐너와 그 응용 프로그램으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 3차원 전신 스캐너를 구성하기 위한 하드웨어 설계 및 구현 방법을 소개하

고, 정확한 3차원 좌표를 추출하기 위한 레이저 슬릿광의 측정원리와 영상처리에 대하여 연구한다.

2. 시스템구현

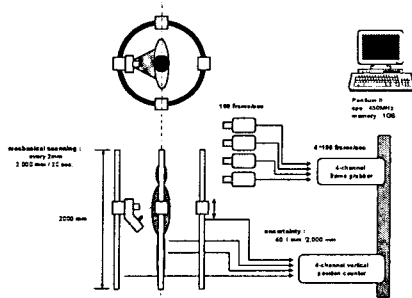
2.1 하드웨어 구성

3차원 전신 스캐너(3D Model Studio)는 인체의 전신에 대해 3차원 형상 데이터 정보를 얻기 위한 시스템으로 구성되어 있다. 이를 위해서 광원으로는 635nm의 레이저를 사용하고 레이저영상을 획득하기 위해서 [그림 1]과 같이 다이오드 레이저 프로젝트와 CCD카메라가 한 쌍을 이루는 3차원 데이터 측정용 프루브(probe)를 제작하고 이렇게 제작된 4개의 프루브를 지면과 평행하게 수평방향으로 배치한다. 데이터 획득 공간은 360°의 방향으로 200cm(height) 100cm(dimension)의 체적 안의 물체의 대한 3차원 공간 데이터를 추출한다.



[그림 1] 측정 프루브(probe)

사람 몸의 전신을 스캐닝 하기 위해서는 수직방향으로 스캐닝을 위한 정밀 기계구조가 필요하다. 두 개의 프루브를 1set으로 해서 두 개의 축을 만들고 이를 2축 NC 머신에서 사용하는 직선보간 알고리즘을 이용해서 동기 시켜서 이송 시킨다. 사람은 몸을 고정된 채로 오랫동안 있기 어렵기 때문에 3차원 형상측정에 필요한 4채널의 영상을 실시간으로 얻어 저장한 후, 저장된 영상을 후 처리를 통해 3차원 데이터 복원을 하는 순서를 택했다. 전체 시스템의 구성도는 [그림 2]와 같다.



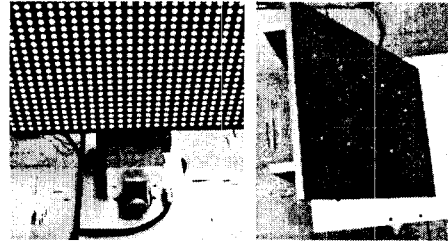
[그림 2] "3D Model Studio" 시스템 개념도

제작된 "3D Model Studio" 시스템은 각축이 원점에 대해서 대칭적으로 위치하고 있고 각 축간의 각도는 각각 105도 및 75도로 정해졌다. 이 축간 각도는 가능한 한 사람인체의 많은 부분을 측정하기위해 가장 최적의 각도로 선정되어 졌다.

2.2 보정 시스템

카메라(CCD)를 통하여 영상을 획득하여 3차원 정보를 추출하기 위해서는 측정하고자 하는 3차원 공간상의 임의의 점 $p(X, Y, Z)$ 와 카메라를 통해 CCD카메라에 투영되는 2차원 점 $q(x, y)$ 간의 상호변환을 알아야 한다. 이러한 일련의 변환관계를 유추

하는 보정(calibration) 알고리즘은 Tsai^[6] 알고리즘을 변형하여 전영역에 보정(global calibration)을 수행하여 국부적 오류를 최소화하였다. [그림 3]은 고안된 보정 시스템이다. 보정시스템은 z축 거리에 따라 이동시키는 이송장치와 보정판의 보정점을 획득하기 위한 영상획득 장치인 CCD카메라의 2부분으로 나누어진다.

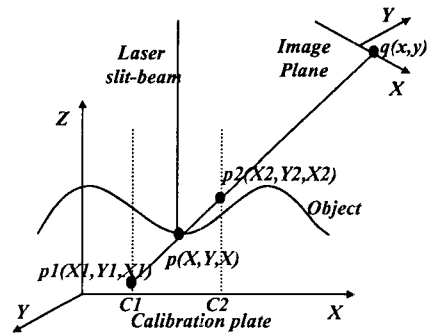


[그림 3] 보정 시스템

3. 3차원 데이터 추출

3.1 레이저 슬릿광 형상 측정원리

레이저 슬릿광을 이용하여 형상을 측정하는 기본 동작은 물체의 표면에 슬릿광을 투영하여 물체 표면에 형성된 레이저광 궤적을 카메라를 이용하여 획득한다. 이때, 궤적은 물체의 삼차원 형상 정보를 갖게 되며, 이를 투영된 슬릿광의 공간상의 위치와 함께 영상처리를 통하여 산출한다. [그림 4]는 레이저 슬릿광 형상 측정원리를 보여준다.



[그림 4] 레이저 슬릿광 형상 측정원리

대상 물체의 임의의 3차원 공간상의 측정점을 $p(X, Y, Z)$ 라 하고, 이에 대응되는 영상점을 $q(x, y)$ 라고 한다. 이때, $q(x, y)$ 와 $p(X, Y, Z)$ 사이에는 다음과 같은 행렬식을 만족한다.

$$p = Hq \quad (1)$$

식(1)에서 H 는 2차원 영상면의 2차원 좌표와 측정 대상물체의 삼차원 좌표사이의 관계를 나타내는 3×4 의 변환 행렬이다. 이는 점 $q(x, y)$ 는 $p(X, Y, Z)$ 뿐만 아니라 이들 두 점을 연결하는 직선상의 모든 점에 대응되고 있음을 의미한다. 따라서 $q(x, y)$ 에 대한 측정점을 결정하기 위해서 측정점 $p(X, Y, Z)$ 이 레이저 슬릿광의 궤적상에 놓이고, 슬릿광은 공간상의 측정영역 내에서 평면을 형성함으로써 이의 평면방정식을 이용하여 유일한 3차원 측정 좌표를 구할 수 있다. 레이저 투영면의 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

식(2)를 최소자승법을 이용하기 위하여 $c=1$ 로 가정하고 m 개의 삼차원 좌표값을 이용하여 확장하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_m & Y_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_m \end{bmatrix}, P = MC \quad (3)$$

식(3)의 평면 방정식의 계수를 최종적으로 구하면 다음과 같다.

$$C = [M^T M]^{-1} M^T P \quad (4)$$

실제로 레이저 투영면의 평면 방정식을 구하기 위해서는 [그림 4]에서 2개의 보정면과 식(1)의 H 를 이용하여 투영면에 존재하는 m 개의 삼차원 좌표를 이용한다. 측정점 $p(X, Y, Z)$ 와 같은 직선상에 존재하는 두 보정판의 3차원 직선의 방정식과 식(4)에서 구한 평면방정식의 교차점이 3차원 측정좌표가 된다. 두 점 $p1(X_1, Y_1, Z_1)$ 과 $p2(X_2, Y_2, Z_2)$ 를 통과하는 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{X - X_1}{a} = \frac{Y - Y_1}{b} = \frac{Z - Z_1}{c} \quad (5)$$

$$a = X_1 - X_2, b = Y_1 - Y_2, c = Z_1 - Z_2$$

여기서, 평면방정식의 계수를 d, e, f, g 라 하고 식(4)와 (5)를 풀면 다음과 같다.

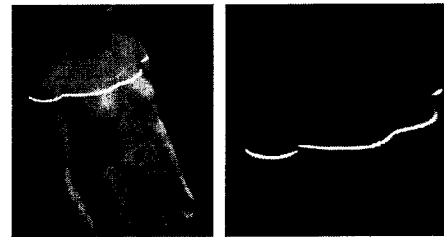
$$X = a \times T + X_1, Y = b \times T + Y_1, Z = c \times T + Z_1$$

$$T = \frac{-d \times X_1 - e \times Y_1 - f \times Z_1 - g}{d \times a + e \times b + f \times c} \quad (6)$$

식(6)의 X, Y, Z 가 원하는 최종 3차원 좌표가 된다

3.2 영상처리

앞에서 소개한 [그림 3]의 보정 시스템이나 전신 스캐너의 CCD를 통하여 들어온 영상은 원하는 방향으로 적절하게 처리를 하여야 한다. 물체에 형상에 따라 변화되는 이차원 평면영상의 레이저 슬릿광을 처리하는 방법은 슬릿광 영상을 이진화 하고 세선화 과정(Thinning)을 수행하여 그 중심을 측정 대상으로 사용하게 된다. 슬릿광의 중심이 연속성을 갖도록 사용된 세선화 방법은 Zhang and Suen의 세선화 방법^[6]을 사용하였다. [그림 5]는 결과 영상이다.

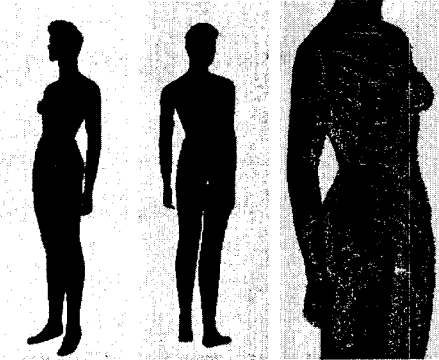


[그림 5] 입력영상과 세선화 결과영상

3.3 데이터 병합

제안한 시스템의 카메라 모듈은 [그림 1]과 같이 대상물체에 대하여 비스듬히 아래로 향하고 있다. 이 시스템은 카메라 보정을 수행할 때 보정판과 평행하게 조율한 뒤 측정을 수행함으로써 해서 실제 촬영시의 구조와는 임의의 각도 만큼 한 축에 대해서 기울어져 있다. 이러한, 기울어짐의 보정을 위해 일정한 수평축에 대해서 그 각도를 계산한 뒤, 최종 3차원 측정좌표를 수정을 해 준다. 또한, [그림 2]에서 4축으로 대상물체를 둘러싸는 구조로 되어 있는 하드웨어 구조에서, 설계 오차로 인한 4축이 조금씩 뒤떨어져 있어 실제 4축의 데이터를 합칠 경우에 경계면이 뒤떨리거나 간격이 생기는 오류가 발생한다. 따라서, 측정정밀도 향상을 위해서 카메라 프루브 보정 시스템을 별도로 설계, 제작하여 카메라 보정 및 슬릿광 보정을 수행하였고, 각각 측정된 4축 데이터의

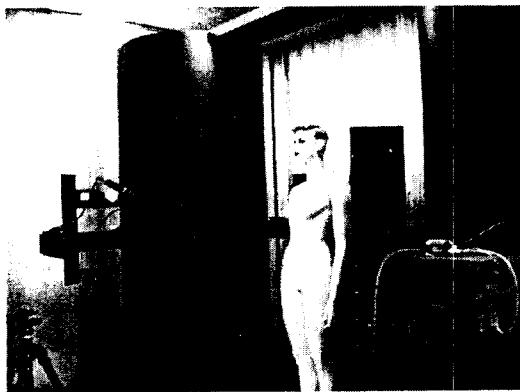
정합을 위해 측정 범위 내에 6점의 대응점을 만들고 이를 이용해서 데이터 정합을 수행하여 최종 3차원 좌표에 반영하였다. 최종 구한 전신 모델에 대한 3차원 데이터(Point cloud)는 [그림 6]과 같다.



[그림 6] 전신모델에 대한 3차원 포인트 데이터

4. 구현 및 고찰

개발된 "3D Model Studio"를 구성하는 3차원 전신 스캐너와 보정 시스템은 하드웨어 시스템의 설계 및 제작의 전과정을 국내 연구진에 의해 개발되었으며, 응용 소프트웨어는 윈도우NT 환경에서 C++, MFC를 이용하여 구현하였다. 구현한 "3D Model Studio"는 [그림 7]과 같다.



[그림 7] 구현한 "3D Model Studio" 시스템

[표 1]은 "3D Model Studio"와 상용화 제품과의 비교 세부사항을 나타낸다

[표 1] "3D Model Studio" 세부사항

Spec.	WB4 ^[1]	Triform ^[2]	3D Model Studio
Developer	Cyberware	Wicks and Wilson	ETRI
Sensor	Laser	Moire fringe	Laser
Nc. of sensor	8	4	4
Capture Volume(mm)	2000(H)×1200(D)	1950(H)×700(D)	2100(H)×1000(D)
Total scan time	17 sec	< 20 sec	16 sec
Process time(sec)	≈ 30	< 70	< 180
num. of points	≈ 1 million	≈ 1 million	< 1 million
Accuracy(mm)	5(H), 2(V)	± 2	± 2
Environment	Sgi	Window NT	Window NT

5. 결론

본 논문에서는 인체의 형상정보를 정밀하게 획득하여 사람의 3차원 그래픽 모델을 자동 생성하는 레이저 방식의 3차원 전신스캐너(3D Model Studio)와 이를 이용한 응용 소프트웨어를 개발하였다. 향후 연구과제로는 현재 진행중인 텍스처와 3차원 포인트 데이터의 병합 기술의 개발과 3차원 모델링 데이터 응용기술의 접목을 수행하여야 한다.

[참고문헌]

- [1] Cyberware co., "WB4 Whole Body Color 3D Scanner," www.cyberware.com.
- [2] Wicks and Wilson Limited, "Triform Body Scanner," www.wwl.co.uk.
- [3] Marc Levoy, Ari Pulli, et al., "The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues," *SIGGRAPH2000 Conference Proc.*, pp. 131~144, Jul. 23~28, 2000.
- [4] In-Bok Kong and Seung-Woo Kim, "General Algorithm of Phase-Shifting Interferometry by Iterative Least-Square Fitting," *Optical Eng.*, 34, no. 2, pp. 183-188, 1995
- [5] Roger Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision," *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1986, pages 364-374
- [6] T.Y. Zhang, C. Y. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns," *Comm. ACM*, vol. 27, no. 3, pp. 337~343, 1997