

# 3D 파노라믹 가상 환경 생성을 위한 투영기반 메쉬 모델 생성 기법\*

이원우, 우운택  
광주과학기술원 U-VR 연구실  
{wlee, wwoo}@gist.ac.kr

## Projection-based Mesh Generation for 3D Panoramic Virtual Environment Creation

Wonwoo Lee, Woontack Woo  
GIST U-VR Lab.

### 요약

본 논문에서는 3D 파노라믹 가상 환경 생성을 위한 투영기반 메쉬 모델 생성 기법을 제안한다. 제안된 메쉬 모델 생성 기법은 멀티뷰 카메라를 이용해 다수의 시점에서 얻은 실내 환경의 3D 데이터로부터 메쉬 모델을 생성한다. 먼저 미리 보정된 카메라 파라미터를 이용해 입력된 임의의 3D 점 데이터를 여러 개의 하위 점군으로 분할한다. 적응적 샘플링을 통해 각 하위 점군으로부터 중복되는 점 데이터를 없애고 새로운 점군을 생성한다. 각각의 하위 점군을 Delaunay 삼각화 방법을 통해 메쉬 모델링하고, 인접한 하위 점군의 메쉬들을 통합하여 하나의 메쉬 모델을 생성한다. 제안된 메쉬 모델링 방법은 점군의 분할을 통해 각 부분의 메쉬 모델을 독립적으로 생성하므로 실내 환경과 같은 넓은 영역의 모델링에 알맞다. 또한, 적응적 샘플링을 통해 3D 데이터가 갖는 깊이 정보의 특징을 보존하면서 메쉬 데이터의 크기를 줄인다. 생성된 가상 환경 모델은 가상/증강현실 응용 어플리케이션 등에 적용이 가능하다.

Keyword : 메쉬 모델링, 가상 환경, 3D 파노라마, 적응적 샘플링

### 1. 서론

가상 현실 응용 어플리케이션을 만드는 데 있어서, 사실감있는 가상 환경을 구축하는 것은 사용자의 몰입감을 고려할 때 매우 중요하다. 기존의 가상 환경들은 CG 모델링 저작도구를 통해 만들어지는 것이 일반적이다. 그러나 모델링 소프트웨어를 통해 사실감 있는 가상 환경을 만드는 작업은 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 실제 환경과 동일한 가상 환경을 만들기 위해서는 실제 환경에 존재하는 것들을 모두 측정하여 개별적으로 모델링을 해 주고, 가상 환경에 위치시켜야 하기 때문

이다. 또한, 이렇게 제작된 가상 환경은 실제 환경과 동일하지 않으므로 사용자가 실재감을 느끼기 어렵다. 이러한 측면에서 실제 환경을 모델링 하여 가상 환경을 만들어내기 위한 여러가지 방법들이 제안되었다.

실제 환경을 모델링하는 방법에는 range 스캐너를 이용하여 데이터를 얻은 후 모델링하는 방법 [1][2][3], 2 차원 영상으로부터 3 차원 정보를 복원하여 모델링하는 방법 [4], 그리고 파노라마 영상을 이용하여 모델링하는 방법 [5][6] 등이 있다. 실제 환경을 모델링하여 가상 환경으로 쓰기 위해

\* 본 연구는 광주과학기술원 문화기술연구센터의 지원으로 수행되었음.

서는 앞에서 언급한 세 가지 방법 모두 메쉬 모델을 생성하는 과정이 필요하다. Levoy 는 다수의 range 데이터로부터 iso-surface를 생성하는 알고리즘을 제안했다 [7]. Hoppe등은 임의의 점군으로부터 signed-distance를 이용하여 메쉬 모델을 생성했다 [8]. Fua는 노이즈가 있는 점 데이터로부터 클러스터링을 통해 점 데이터를 분리하고 각각을 메쉬로 만드는 알고리즘을 제안하였다 [9]. 그러나 기존의 메쉬 생성 방법들은 데이터의 분포가 균일하거나, 알고리즘의 적용 대상이 일정한 크기의 물체에 한정되어 있으므로 넓은 영역을 모델링 하여 가상 환경을 생성하기 위한 방법으로는 적합하지 않다.

본 논문에서는 3D 파노라믹 가상환경 생성을 위한 투영 기반의 메쉬 모델링 방법을 제안한다. 제안된 메쉬 모델링 방법은 멀티뷰 카메라를 통해 다시점에서 얻은 실내 환경의 3D 데이터로부터 메쉬 모델을 생성한다. 그림 1은 제안된 메쉬 모델링 과정이다.

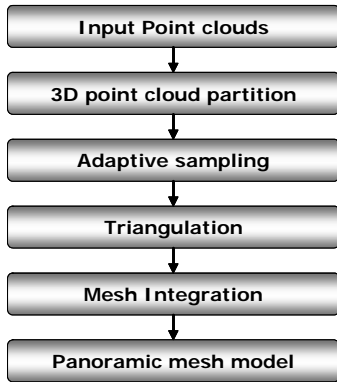


그림 1. 메쉬 모델링 과정

먼저, 입력된 다시점 3D 점 데이터를 각 시점의 카메라의 내/외부 파라미터를 이용해 여러개의 하위 점군으로 분할한다. 각각의 분할된 하위 점군으로부터 적응적 샘플링을 통해 특징에 기반한 새로운 대표 점군을 생성한다. 새로운 대표 점군을 triangulation 하여 각각의 부분별 메쉬 모델을 만들고, 하나의 가상 환경 메쉬 모델을 생성하기 위해서 각 부분별 메쉬 모델 통합하여 하나의 가상 환경 모델을 생성한다.

제안된 메쉬 모델링 방법은 다시점에서 얻은 3D 점 데이터의 occlusion 을 고려하여 분할하고,

분할된 모델을 각각 독립적으로 모델링하므로 넓은 영역의 모델링에 알맞다. 또한 적응적 샘플링을 통해 중복된 데이터를 제거하고 특징이 존재하는 부분만을 모델링 하여 메쉬 모델의 크기를 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안된 메쉬 모델링 알고리즘을 각 단계별로 설명한다. 3 장에서는 실험 결과를, 4 장에서는 결론 및 추후 과제에 대해서 언급한다.

## 2. 다시점 점군 데이터로부터의 메쉬 생성

### 2-1. 실내 환경의 3D 데이터 획득

가상환경 생성을 위한 3D 점 데이터는 멀티뷰 카메라로부터 얻는다. 모델링하고자 하는 실제 환경에서 멀티뷰 카메라를 이동해 가면서 각 위치마다 3D 점 데이터를 획득한다. 각 시점에서 얻어진 영상으로부터 카메라 보정을 통해 카메라들의 외부 파라미터를 추정한다. 카메라의 내부 파라미터는 미리 알려져 있는 것을 사용하며, 변하지 않는다고 가정한다.

서로 다른 위치에서 얻어진 3D 점 데이터는 각각 서로 다른 카메라 좌표계에 존재하고 있으므로 이를 투영 기반 정합 방법을 통해 하나의 공통된 기준 좌표계로 변환한다 [10]. 데이터 획득 과정이 끝나면 모델링의 대상인 실내 환경의 3D 점 데이터와 각 시점의 영상, 그리고 각 위치에서의 카메라의 외부 파라미터를 얻는다.

### 2-2. 3D 점군 분할

제안된 모델링 방법의 첫번째 단계는 입력된 3D 점 데이터를 카메라의 시야에 들어오는 점들로 나누는 것이다.  $i$  번째 카메라  $C_i$ 에서 보이는 점들만을 선택하기 위하여 먼저 카메라의 절두체 내부에 있는 점들을 찾는다.  $C_i$ 의 절두체를 구성하는 각 평면의 방정식을 계산하고 평면들의 법선 벡터는 절두체 내부를 향하도록 한다. 식(1)과 같이 절두체를 구성하는 평면들 중  $j$ 번째의 평면  $L_{ij}$ 에 대해  $\gamma_j$  를 계산하여 점  $p_k(x_k, y_k, z_k)$ 가 평면의 위 또는 아래에 있음을 알 수 있다.  $p_k$ 가 절두체를 구성하는 모든 평면들의

위쪽 영역에 있는 경우  $p_k$ 는 절두체의 내부에 존재한다.

$$L_{ij} : a_{ij}x + b_{ij}y + c_{ij}z + d_{ij} = 0 \quad p_k : (x_k, y_k, z_k)$$

$$\gamma_j = a_{ij}x_k + b_{ij}y_k + c_{ij}z_k + d_{ij} \quad (1)$$

If  $\gamma_j \geq 0$  for all  $j$ :  $p_k$  is in the viewing frustum  
else  $p_k$  is out of the viewing frustum

카메라의 절두체 내부에 있는 점들일지라도 점 데이터가 얻어진 위치에 따라 카메라에서 보이지 않는 경우도 있다. 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이, 점군  $S_1$ 과  $S_2$ 가 모두 카메라  $C_1$ 의 절두체 내부에 있으나, 실제로  $S_2$ 는  $C_1$ 으로부터 보이지 않는다. 그러므로 점 데이터의 분할 시 카메라들 간의 occlusion에 대한 고려가 필요하다.

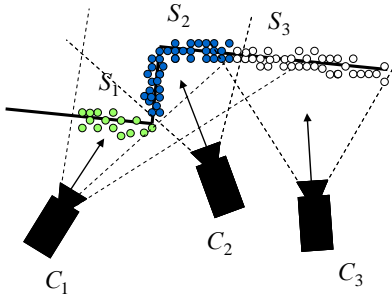


그림 2. 카메라 사이의 관계에 따른 점 데이터의 분할

각 시점 사이에 존재할 수 있는 occlusion을 고려하기 위해 카메라  $C_i$ 와 절두체 내부에 있는 점  $p_k$ 에 대해 식(2)로 정의되는 Visibility confidence 값을 계산한다. 한 점이 서로 다른 두 카메라의 절두체 내부에 있는 경우 confidence 값이 큰 카메라에서 보이는 것으로 한다. 식(2)에서  $V_i$ 는 카메라가 바라보는 방향 벡터,  $N_k$ 는 점  $P_k$ 의 법선 벡터, 그리고  $d$ 는 카메라와  $P_k$  사이의 거리이다.  $Dot(V_i, N_k)$ 는 두 벡터 사이의 내적을 나타낸다.

$$Visibility \ confidence = -\frac{Dot(V_i, N_k)}{d^2} \quad (2)$$

## 2-2. 투영 기반 적응적 샘플링

다시점에서 3D 점 데이터를 얻을 경우, 카메라의 시야가 서로 중첩되는 영역에서는 중복되는 3D 데이터가 존재한다. 적응적 샘플링 단계에서는

분할된 각각의 하위 점군으로부터 새로운 대표 점군을 생성한다.

먼저, 그림 3과 같이  $i$  번째 카메라  $C_i$ 의 투영 행렬을 이용해 점군  $S_i$ 를 카메라로 투영한다.

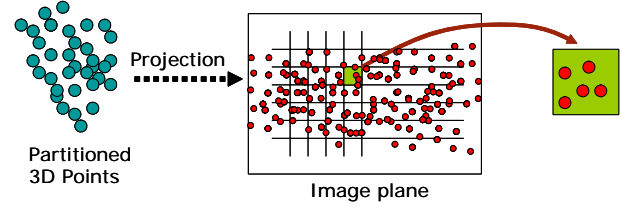


그림 3. 영상 평면으로의 투영 및 grid 생성

샘플링을 위해 영상 평면 위에 데이터 획득시 사용한 카메라의 영상 해상도와 동일한 숫자의 셀 (cell) 을 갖는 그리드(grid)를 생성한다. 하나의 셀을 영상의 픽셀로 동일한 것으로 보고 각 셀 마다 내부에 있는 점들에 대해 식(3)과 같이 비용  $\eta_i$ 를 계산하고 그 중 가장  $\eta_i$ 가 가장 작은 값을 갖는 점을 대표점으로 선정한다.

$$\eta_i = \lambda_1 \sum_{p \in Adj} diff_{color}(p, p_i) + \lambda_2 \sum_{p \in Adj} dist_{3D}(p, p_i) \quad (3)$$

식(3)에서  $diff_{color}$ 는 두 점이 갖는 컬러값의 차이를 나타내는 함수이고  $dist_{3D}$ 는 3D 공간에서의 두 점 사이의 거리를 나타내는 함수이다. 모든 셀에 대해 대표점 선정이 끝나면 각 카메라에 대응하는 새로운 2D 및 3D 점군  $V_i$  와  $G_i$ 를 얻게 된다.

카메라로부터 얻는 3D 점데이터는 영상의 해상도가 증가할 수록 조밀한 데이터를 얻을 수 있으나 이는 메쉬 모델의 용량을 증가시키는 원인이 된다. 메쉬 데이터의 용량이 큰 경우 가상현실 및 증강현실 응용 분야에서 사용하기 어려우므로 메쉬 데이터의 크기를 줄일 필요가 있다.

3D 점 데이터로부터 메쉬 모델을 만드는 경우 평평한 면이라도 많은 수의 점 데이터가 존재하고 있기 때문에 각각의 점들 사이를 연결하여 메쉬 모델을 만드는 경우 삼각형의 갯수가 크게 늘어난다. 깊이 값의 변화가 적은 3D 점 데이터로 이루어진 부분은 점들을 동일 평면에 있는 것으로 볼 수 있으므로 보다 적은 수의 삼각형을 이용해서 나타낼 수 있다.

이를 위해 그리드에서 생성된 대표점의 집합  $G_i$

의 점  $g(g_u, g_v, g_z)$ 의 깊이값이 갖는 1 차 gradient를 영상 평면의  $u$ 와  $v$  축에 대해서 계산하고 식(4)를 통해 얻어진  $\delta$ 의 값이 정해진 임계값 보다 작으면 점을 삭제하고 큰 경우는 남겨둔다.

$$\delta_u = \frac{\partial g_z}{\partial u} \quad \delta_v = \frac{\partial g_z}{\partial v} \quad (4)$$

$$\delta = \|(\delta_u, \delta_v)\|$$

적응적 샘플링의 결과로 카메라  $C_i$ 에 대응하는 샘플링된 2D 및 3D 점군  $V'_i$  와  $G'_i$ 를 얻는다.

### 2-2. 점 데이터의 삼각화 및 부분 메쉬의 통합

샘플링의 결과로 생성된 점 데이터로부터 삼각 메쉬 모델을 만들기 위해서 영상 평면에서의 삼각화를 수행하고 각 점들 사이의 연결 정보를 3D 점군에 적용한다.

먼저, 영상 평면 위의 2D 점군  $V'_i$  에 Delaunay 삼각화 [11] 방법을 적용하여 메쉬의 연결 정보를 생성한다. Delaunay 삼각화는 2D 평면에 분포하는 점들의 convex hull 을 생성하므로 원하는 형태의 메쉬를 얻기 위해서는 불필요한 외부의 삼각형을 제거해야 한다. 이를 위해  $V'_i$  의 외곽선에 존재하는 점들을 찾고, Delaunay 삼각화의 결과로 생성된 삼각형들 중 외곽선에 분포하는 점들로만 이루어진 삼각형을 제거한다. 점 데이터의 외곽선에 분포하는 점들은 적응적 샘플링 단계에서 얻는다. 마지막으로  $V'_i$  의 메쉬 정보를  $G'_i$ 에 적용함으로써  $G'_i$ 에 대한 메쉬 모델을 얻는다.

각 부분별 메쉬 모델은 서로 독립되어 생성되었기 때문에 인접한 두 메쉬 모델 사이가 연결이 되어있지 않다. 인접한 두 메쉬 모델 사이를 연결하기 위해서 그림 4와 같이 메쉬 모델의 좌/우의 경계에 존재하는 점들을 삼각화하여 두 메쉬 사이를 연결한다.

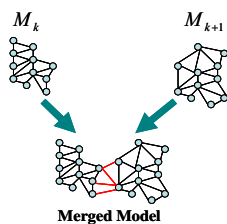
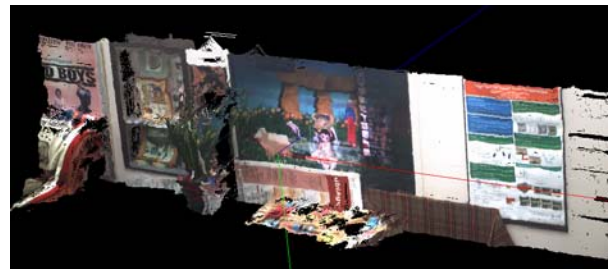


그림 4. 인접한 두 메쉬 모델의 통합

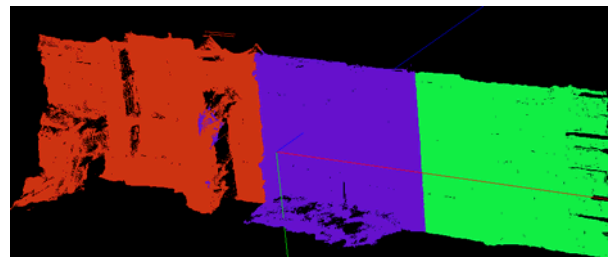
### 3. 실험 결과

실험을 위한 3D데이터 획득에는 640x480 의 해상도를 갖는 PointGrey 사의 Digiclops [12] 가 사용되었다. 제안된 알고리즘의 입력 데이터로는 실제 환경의 3D 점 데이터와 각 점의 컬러값을 사용하였다.

그림 5는 3D 점 데이터의 분할 결과를 보인 것이다. 그림 5(a)는 다시점에서 얻은 입력 3D 점 데이터이고, 그림 5(b)는 선택된 3 대의 카메라에 대해 3 개로 분할된 점 데이터를 각각 다른 색으로 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 5. 입력된 3D 점 데이터의 분할 (a) 입력된 점 데이터 (b) 3 개로 분할된 점 데이터

그림 6은 적응적 샘플링의 결과를 전체 입력 데이터 중 일부분에 적용한 결과를 나타낸 것이다.

그림 6(d)는 적응적 샘플링을 그림 6(a)의 점 데이터에 적용한 결과이다. 적응적 샘플링의 결과 깊이 데이터의 변화가 큰 곳의 데이터가 보존되어 있는 것을 볼 수 있다. 그림 6(b)는 적응적 샘플링 적용 전의 메쉬 모델이다. 매우 조밀하여 삼각형의 형태가 거의 보이지 않는다. 이에 비해 적응적 샘플링 적용 후의 메쉬 모델인 그림 6(e)는 적은 숫자의 삼각형으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 그림 6 (c)와 그림 6 (f)에서 보이는 것과 같이 적응적 샘플링 전후의 메쉬 모델 사이에는 큰 차이

가 없다.

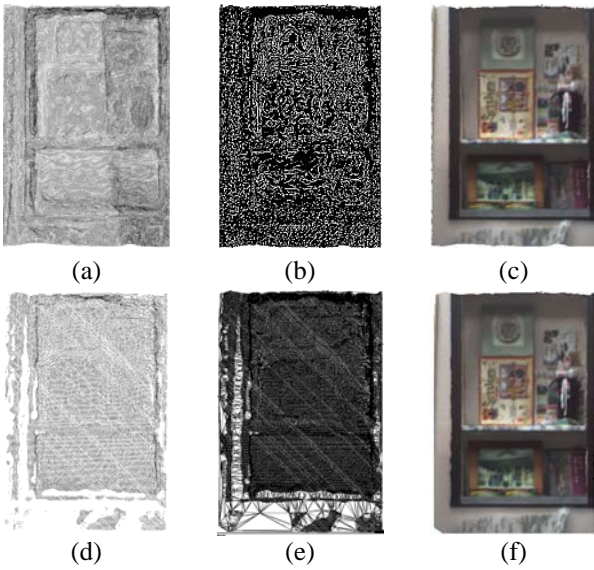


그림 6. 적응적 샘플링의 결과 (a) 입력 점 데이터 (b) 적응적 샘플링 결과 생성된 점 데이터 (c) 삼각화로 생성된 메쉬 모델 (d) 텍스처가 입혀진 모델

그림 7은 적응적 샘플링 과정에서 사용된 임계값에 따라 점 데이터가 줄어드는 경향을 나타낸 그래프이다. 임계값이 증가함에 따라서 점 데이터의 양도 줄어드는 것을 볼 수 있으나 점차 줄어드는 비율이 작아지는 것을 알 수 있다. 점 데이터가 계속 줄어들지 않는 이유는 특징이 뚜렷한 점 데이터가 적응적 샘플링 후에도 유지되기 때문이다.

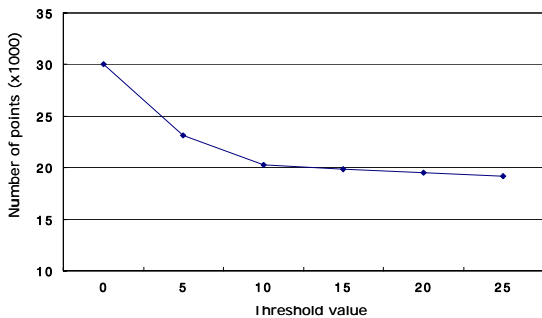


그림 7. 임계값 값에 따른 점데이터의 변화

그림 8은 메쉬 모델 통합 전/후의 결과이다. 그림 8(a)와 그림 8(c)에서는 메쉬 통합 전에 존재하는 부분별 모델 사이의 틈을 볼 수 있다. 메쉬 통합 후에는 그림 8(b) 및 그림 8(d) 같이 두 메쉬 모델 사이의 틈새가 제거된다.

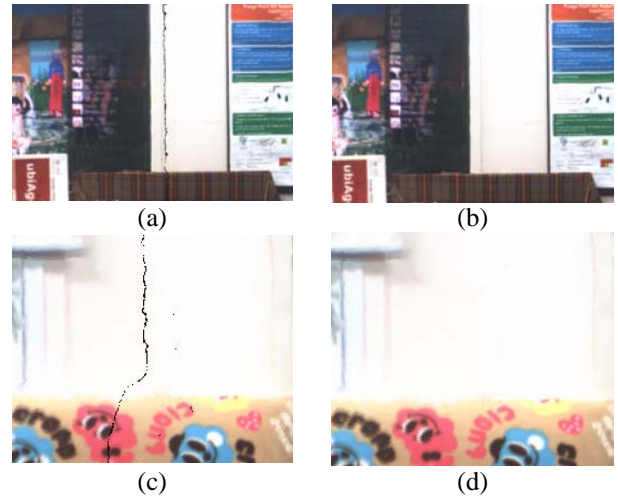
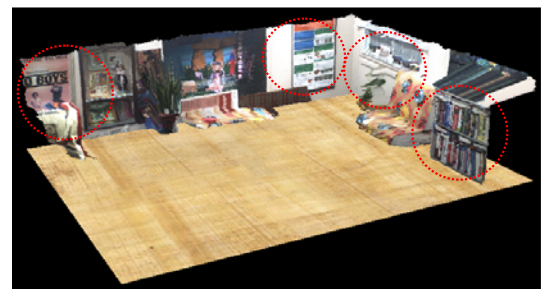


그림 8. 인접한 두 메쉬 모델의 통합 (a)(c) 메쉬 통합 전 (b)(d) 메쉬 통합 후

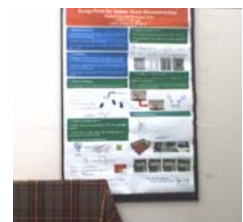
그림 9는 제안된 메쉬 모델링 방법을 통해 생성된 실내 환경의 두 벽면을 모델링한 결과이다. 기존의 영상기반 2D 파노라마와는 달리 실내 공간에 존재하는 물체들이 깊이값을 가지고 입체적으로 모델링된 것을 볼 수 있다.



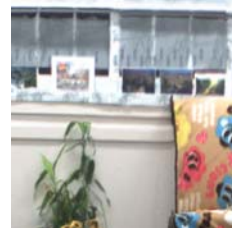
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 9. 실내 환경 모델링 결과로 생성된 가상 환경 (a) 실내 환경 모델 (b)(c)(d)(e) 부분적인 확대

#### 4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 3D 파노라믹 가상 환경 생성을 위한 투영기반 메쉬 모델 생성 기법을 제안하였다. 제안된 메쉬 모델링 방법은 멀티뷰 카메라를 이용해 실내 환경으로부터 얻어진 실제 환경의 점 데이터로부터 메쉬 모델을 생성한다. 제안된 알고리즘은 입력된 점 데이터를 각 카메라의 시점에서 보이는 점들만을 고려하여 여러 개의 파티션으로 나누고, 적응적 샘플링을 적용하여 새로운 점 데이터를 생성한다. 각 부분별 점 데이터로부터 메쉬 모델을 생성하고 통합 과정을 통해 하나의 가상 환경 모델을 생성한다. 생성된 가상 환경 모델을 가상/증강현실 응용 어플리케이션 등에 적용이 가능하다.

현재 생성된 모델이 객체와 벽면을 하나로 모델링 하고 있기 때문에 객체가 배경을 가리는 경우 객체 뒷쪽의 벽은 모델링이 되지 않는다. 또한 객체와 벽면 사이에 메쉬가 생성되어 시각적인 효과가 반감된다. 향후에는 객체와 배경을 따로 모델링 하여 객체에 의해 가려진 부분까지 모델링하는 것에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고문헌

[1] V. Sequeira, K. C. Ng, E. Wolfart, J.G.M Gonçalves, and D.C. Hogg., "Automated 3D reconstruction of interiors with multiple scan-views", Proceedings of SPIE, Electronic Imaging, 1999.

[2] Y.Sun, J.K.Paik, A.Koschan, and M.A.Abidi, "3D reconstruction of indoor and outdoor scenes using a mobile range scanner", Pattern Recognition, vol.3, pp 653-656, 2002.

[3] S. Elgazzar, R. Liscano, F. Blais, and A. Miles, "3D Data Acquisition for Indoor Environment Modeling Using a Compact Active Range Sensor", Proceedings of IMTC97, 'Sensing, Processing, Networking, Vol. 1, pp 586-592, 1997.

[4] Johnson, S. Kang, "Registration and Integration of Textured 3-D Data" Tech. report CRL96/4, Digital Equipment Corporation, Cambridge Research Lab, 1996.

[5] McMillan, L., G. Bishop, "Plenoptic Modeling: An

Image-Based Rendering System", Proceedings of SIGGRAPH 95, pp. 39-46, 1995.

[6] H.Y. Shum, M. Han, and R. Szeliski, "Interactive construction of 3d models from panoramic mosaics", In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'98), pp 427-433, 1998.

[7] Curless, B., and Levoy, M., "A volumetric method for building complex models from range images," Proceedings of SIGGRAPH'96, pp. 303-312, 1996.

[8] H. Hoppe, "Surface Reconstruction from Unorganized Points", PhD Thesis, Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 1994.

[9] P. Fua. From Multiple Stereo Views to Multiple 3-D Surfaces. International Journal of Computer Vision, pp. 19-35, August 1997.

[10] S. Kim and W. Woo, "Projection-based Registration using Multi-view camera for Indoor Scene Reconstruction," 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM), pp. 484-491, 2005.

[11] H. Edelsbrunner. "Algorithms in Computational Geometry", Springer-Verlag, New York, 1987.

[12] PointGrey Research, <http://www.ptgrey.com>

[13] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", 2nd Ed. Cambridge University Press.