

# 3 차원 포인트 클라우드 정합의 정밀도 평가를 위한 가상 스캔 시스템

## Virtual scanning system for accuracy evaluation of 3D overlapped point-clouds registration algorithm

\*\*최진혁, 손태근, 이건우

\*J.H. Choi(zweideux@snu.ac.kr), T.G. Son(icy7902@snu.ac.kr), K. Lee(kunwoo@snu.ac.kr)  
 서울대학교 기계항공공학부

Key words : registration, virtual scanning, point cloud, accuracy evaluation

### 1. 서론

역공학의 기본은 분석하고자 하는 대상의 3 차원 모델을 얻어내는 것으로부터 시작한다. 이 과정은 3 차원 스캐너를 통해 얻은 여러 방향에서의 포인트 클라우드를 정합함으로써 이루어지는데, 대상의 3 차원 모델을 정확하게 재현하는 것이 매우 중요하다. 3 차원 모델의 정확도는 스캐너의 기계적인 성능에 의한 하드웨어적 요인과 포인트 클라우드 간의 정합 알고리즘에 의한 소프트웨어 적인 요인에 따라서 좌우된다.

현재 소프트웨어 측면에서의 정확도를 높이고자 여러 가지 연구 진행되고 있으며 각기 다른 정확도 평가방법을 도입하고 있지만, 그 방법이 부정확하거나 평가방법에 대해 자세히 기술하지 않은 경우가 대부분이다. 최근 진행된 연구 중 Model Reconstruction Evaluation(MRE)라는 방법을 사용하여 fine registration 과정의 정밀도를 향상시킨 사례를 들 수 있다[1]. 그러나 이 방법은 스캔 데이터에서 짝 지어 준 pair point 간의 거리를 비교한 방법으로, pair 가 정확하지 않을 수 있다는 사실에 대해 고려하지 않고 있다. 2008 년에 Oztireli[2]는 모델에 임의의 변환 행렬 적용 시킨 후, 정합 후의 변환 행렬을 회전 변환과 이동 변환 행렬로 나누어 각각의 차이를 평가하였다. 그러나 이 평가 방법 또한, 6 자유도의 변환 행렬에 대한 근접해는 무수히 많을 수 있음을 고려하였을 때, 적합한 방법이라고 하기 어렵다. 이 밖에도 여러 연구들[3], [4], [5]이 있었으나 정밀도 측정 방법에 있어서는 앞에서 언급한 두 가지 방법을 사용했거나 또는 방법에 대해 구체적으로 기술 하지 않은 논문들이 대부분이다.

데이터의 정확한 정합 알고리즘을 필요로 하는 역공학 분야의 연구에서 알고리즘에 대한 평가 방법이 정확하지 못하다면 그 연구의 신뢰도는 떨어질 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 정합 알고리즘의 정밀도를 평가하기 위한 가상 스캔 시스템 (Virtual Scan System: VSS)이라는 새로운 방법을 제안하고자 한다. VSS 는 정확하게 정밀도를 측정할 수 있다는 점에서 기존의 방법들과 차별성을 두고 있다.

### 2. 방법

본 연구의 기본 개념은 실제 3 차원 스캔 시스템의 원리를 가상으로 재현한 것으로부터 출발한다. 실제 3 차원 스캐너에서는 스캔 카메라의 변환 행렬 또는 모델의 변환 행렬을 계산하고, 카메라 영역에서의 대상 모델 표면상의 여러 점들의 3 차원 좌표를 얻는다. 이와 같은 맥락으로 가상 스캔 시스템은 디스플레이 화면에 Fig. 1 과 같이 일정 크기의 영역을 설정하여 실제 시스템에서의 카메라 영역으로 정의한다. 가상 스캔 시스템에서는 이렇게 설정된 영역을 항상 고정시키고 모델을 움직여 스캔 데이터를 추출하는데, 이 과정은 실제 스캔 과정에서 카메라를 고정시켜놓고 대상 물체를 움직여 스캔 하는 것과 같은 개념이라고 할 수 있다.



Fig. 1 Snapshot of the virtual scanning system

본 연구에서 3D rendering 을 위해 사용한 Open Graphic Library(OpenGL)는 현재 모델을 바라보고 있는 시점에서 원점 좌표계의 회전 변환, 이동 변환 정보를 가지는 모델 관측 행렬(Model view matrix)을 제공하고 있다(Fig. 2).

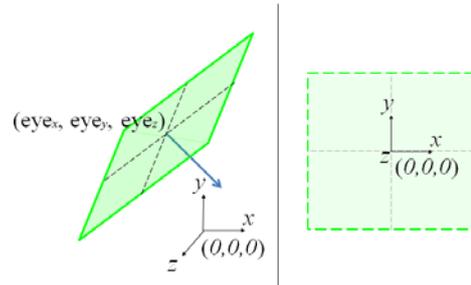


Fig. 2 Transformed model view matrix (left), initial model view matrix (right)

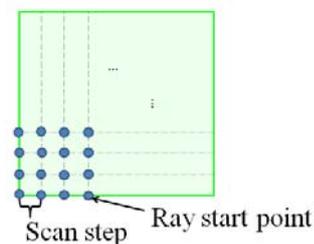


Fig. 3 Definition of the ray starting point on the viewing area

가상 스캔 시스템에서 스캔 데이터는 viewing area 로부터의 ray-casting 을 통해 얻어진다. 각 ray 는 Fig. 3 과 같이 일정 scan step 에 따라 casting 되며, 이 ray 와 모델이 만나는 점의 3 차원 좌표를 스캔 데이터로 저장한다. 이 과정에서 모델 관측 행렬이 단위 행렬(Fig. 2 right)인 상태, 즉 카메라가 이동하지 않은 상태라고 하면 카메라는 고정되어 있으므로 viewing area 는 xy 평면, ray 는 z 축 방향으로 casting 된다고 할 수 있다. 그러나 실제로 모델은 Fig. 2 (left)와 같은 상황에 놓여 있으므로 ray 의 시작점을 현재 모델 관측 상황으로 변환하여 교차점을 계산해야 한다. 그리고 데이터 저장 시에는 좌표 값에 모델 관측 행렬의 역행렬을 곱해 Fig. 2 (right)와 같은 상황으로 변환하여 모델

관측 행렬과 함께 저장해 주어야 한다. 이렇게 얻어진 여러 방향에서의 가상 스캔 데이터에 각각의 모델 관측 행렬을 적용하면 원래의 좌표계에 대한 데이터로 변환되어 하나의 모델을 얻을 수 있게 된다.

하지만 위와 같은 과정은 가상공간에서 모델 관측 행렬을 이용한 정확한 계산에 의해 이루어지기 때문에 스캔 데이터에 대한 별도의 정합 과정이 필요하지 않다. 따라서 본 연구에서는 스캔 데이터 저장 시 모델 관측 행렬에 임의의 회전, 이동변환 noise 를 적용하여 결과적으로 실제 스캔 데이터와 같은 틀어진 스캔 데이터를 얻을 수 있게 하였다(Fig. 4). 회전, 이동변환 noise 는 실제 스캐너에서 발생하는 오차를 고려하여 회전변환  $\pm 0.5^\circ$ , 이동변환  $\pm 1.0\text{mm}$  내의 범위로 설정하였다.

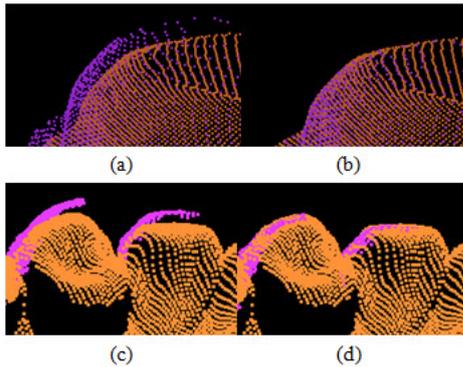


Fig. 4 Comparison between virtual scan data (top) and real scan data (bottom) - (a), (c) raw scan data, (b), (d) after registration

### 3. 실험결과

위와 같이 얻어진 스캔 데이터에 정합 알고리즘을 적용한 후, mesh 데이터를 생성하고 원래의 대상 모델과 비교함으로써 정합 알고리즘의 정확도를 검증할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 5 (left)와 같은 3D mesh 모델에 대해 VSS 를 통하여 가상 스캔 데이터를 얻어내었다. 이 데이터에 상용 프로그램 Rapidform2006 과 본 실험을 위해 자체 개발한 PointR 의 정합 알고리즘을 적용하고 그 결과를 비교해보았다. 정확한 평가를 위해 mesh 생성 시 동일한 알고리즘을 적용하였다.



Fig. 5 3D reconstruction by each registration algorithm (left: original model, middle: using RF2006, right: using PointR)

Fig. 5 와 같이 두 정합 알고리즘 모두 육안으로는 구별할 수 없을 정도로 원래 모델과 유사한 모델을 생성하였다. 좀더 정밀한 평가를 위해 각 정합 알고리즘에 의해 재현된 모델들과 원래의 모델 간의 inspection 을 하여 그 결과를 비교해 보았다.

Table 1 Comparison of inspection result

| Registration method | Rapidform 2006 | PointR     |
|---------------------|----------------|------------|
| Maximum distance    | 0.08465 mm     | 0.12597 mm |
| Average distance    | 0.00924 mm     | 0.04107 mm |
| Standard deviation  | 0.00560 mm     | 0.02433 mm |

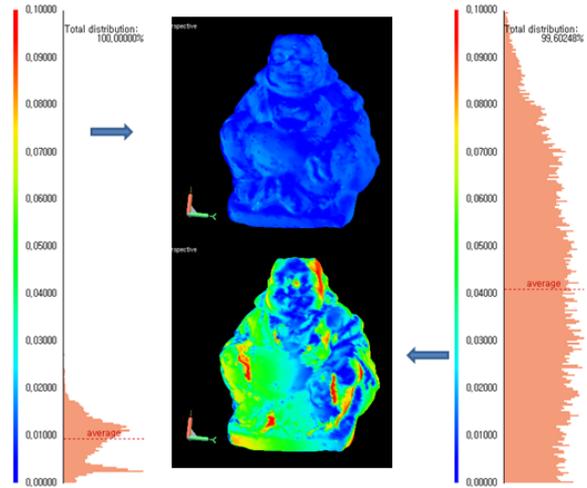


Fig. 6 Inspection with original model (top: registration by RF2006, bottom: registration by PointR)

육안으로는 식별할 수 없던 차이가 Fig. 6 에서와 같이 나타났다. Inspection 결과 그래프는 아래쪽에서 위쪽으로 갈수록 원래 모델과의 차이가 0mm 에서 0.1mm 라는 것을 나타낸다. 구체적인 수치 결과는 Table 1 과 같다. 평가 결과 Rapidform2006 의 정합 알고리즘의 성능이 더 우수한 것을 알 수 있다.

### 4. 결론

역공학에서 분석 대상의 실제 모델과 가상의 3 차원 모델을 직접 비교할 수 없기에 생성된 3 차원 모델 및 그 생성 알고리즘의 정확도를 평가하는 것이 어려웠다. 그러나 본 연구에서 제시한 가상 스캔 시스템은 3 차원 모델에 대한 가상 스캔 데이터를 생성하고, 얻어진 데이터에 정합 알고리즘을 적용하여 재구성된 3 차원 모델을 원래의 모델과 비교함으로써 스캔 데이터의 정합 알고리즘의 정확도를 평가할 수 있다. 이러한 가상 스캔 시스템은 정합 알고리즘의 정확도 향상을 통한 대상 모델의 정확한 3 차원 모델 생성은 물론 나아가 역공학 분야의 정밀도 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

### 후기

※본 연구는 지식경제부 바이오의료기기 전략기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임. (과제교유번호: 10032032)  
 ※이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0001645).

### 참고문헌

- Xie, Z., Xu, S., and Li, X., "A high-accuracy method for fine registration of overlapping point clouds," *Image and Vision Computing*, **28**, 563-570, 2010.
- Oztireli, A.C., and Basdogan, C., "A new feature-based method for robust and efficient rigid-body registration of overlapping point clouds," *Visual Comput*, **24**, 679-688, 2008.
- Lara, C., Romero, L., and Calderon, F., "A robust iterative closet point algorithm with augmented features," *MICAI 2008*, 605-614, 2008.
- Liu, Y., "Automatic registration of overlapping 3D point clouds using closest points," *Image and Vision Computing*, **24**, 762-781, 2006.
- Park, S.Y., and Subbarao, M., "An accurate and fast point-to-plane registration technique," *Pattern Recognition Letters*, **24**, 2967-2976, 2003.