

### 3D 볼류메트릭 모델의 동적 복원 알고리즘

\*박병서    \*\*김동욱    \*\*\*서영호

광운대학교

\*bspark@kw.ac.kr    \*\*dwkim@kw.ac.kr    \*\*\*yhseo@kw.ac.kr

### Dynamic Reconstruction Algorithm of 3D Volumetric Models

\*Byung-Seo Park    \*\*Dong-Wook Kim    \*\*\*Young-Ho Seo

Kwangwoon University

#### 요약

우리는 한정된 공간에 분산하여 위치한 다수 개의 카메라들을 이용하여 생성된 실사 그래픽스 체적 모델 시퀀스 기반 동적 복원 알고리즘을 제안한다. 각 프레임 단위로 생성된 정적 모델의 시퀀스로부터 일정 시간 단위로 키 프레임 생성한다. 키 프레임과 키 프레임 사이의 모델에 대한 리메싱(Remeshing) 처리를 수행하고 이를 통해 생성된 3D 모델과 키 프레임 사이 특징 점을 획득한다. 획득된 특징 점의 3차원 좌표들 사이의 오차를 최소화 하는 최적화 알고리즘(Solver)을 이용하여 키 프레임 모델과 리 매싱된 모델의 비 강체 정합을 모든 키 프레임 단위로 반복적으로 수행한다. 제안한 정합 방법을 이용하여 생성된 모델과 키 프레임 모델 사이 에러를 비교함으로써 결과를 검증한다.

#### 1. 서론

다양한 3D 정보 획득 장비와 기술의 발전으로 3D 모델 생성 기술은 많은 관심을 받고 있으며, 움직이는 객체를 실시간으로 복원하거나 객체의 움직임을 모델링하는 기술에 대한 연구가 최근 들어 활발하게 진행되고 있다. 복잡한 동적 상황에서 시간적으로 연관성이 있는 고정 및 이동 객체의 3D 볼류메트릭 모델의 복원을 위해서는 시간적 흐름에 따른 물체의 변화에 대한 일관성을 보장하는 동적 복원 기술[1][2]을 필요로 한다. DynamicFusion[3]은 단일 깊이 센서에서 촬영한 깊이영상을 이용하여 3D 모델을 실시간으로 복원하기 위한 기술로, 단일 RGB-Depth 카메라가 획득하는 제한된 양의 깊이 정보를 점진적으로 누적하여 모델의 완성도를 높여가는 방법론을 제안하였다. 이 와 같은 동적 복원 알고리즘은 IR, RGB, Depth 등의 다중 센서를 필요로 한다. 우리는 RGB 카메라를 이용한 사진 측량법(Photogrammetry)을 통해 생성된 3D 모델에 점진적 누적을 통한 동적 복원방법을 적용 하여 표면의 노이즈 정보를 보간 하고 폐색(occlusion)에 의해 손상된 모델을 교정함으로써 시간의 흐름에 따라 일관된 품질의 모델을 생성 할 수 있는 기법을 제안한다.

#### 2. 동적 복원 알고리즘

그림1은 제안하는 3D 볼류메트릭 모델의 동적 복원 알고리즘을 나타낸다. 3D 모델 시퀀스 내의 움직이는 물체와 변형되는 물체의 정보 획득하기 위한 첫 번째 절차로 시퀀스 내 프레임을 일정 시간 간격으로 샘플링을 한다. 키 프레임과 키 프레임 사이 각 중간 프레임 3D 모델과 키

프레임의 비교를 위해 키 프레임과 각 중간 프레임 매시의 구조를 일치시키는 리메싱[4] 과정을 수행하여 각 비교 대상이 동일한 기하학적 구조를 가지게 한다. 이 결과는 3D 특징점 추출(3D Feature Detect)과 매칭(Correspondence)을 이용한 변형(Deformation) 과정에서 활용된다. 그림1의 알고리즘에서 수행되는 3D 특징점 추출 및 매칭은 KNN(k-Nearest Neighbor)기반 PFH (Point Feature Histogram)[5]를 이용하여 수행되는데 3D 모델의 버텍스(Vertex)로부터 노말(Normal) 정보를 계산하고 각 노말의 히스토그램(Histogram)을 기반으로 비교대상 간 동일 부위를 추정하게 된다. 매칭 된 각 특징점은 경사 하강법(Gradient descent)을 이용한 최적화를 통해 좌표의 차이를 점진적으로 줄여나가는 변형(Deformation)[6]을 수행한다. 변형을 통해 일치된 두 모델을 보간(Interpolation)한 새로운 모델을 중간 프레임에 업데이트한다. 이 과정은 모든 키 프레임과 그 중간 프레임에 대하여 반복적으로 수행된다.

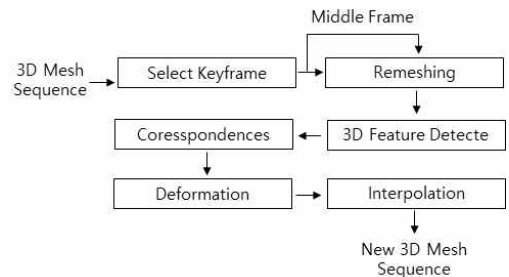


그림 1. 3D 볼류메트릭 모델의 동적 복원 알고리즘

### 3. 실험 결과

그림2는 그림 1에서 제안한 알고리즘의 리메싱을 수행한 결과를 표시한 영상이다. 총 100프레임의 3D모델 시퀀스 중, 키 프레임으로 선정된 10번째 프레임의 3D모델과 중간 프레임인 15번째 프레임의 모델을 리메싱 적용 전 후로 구분하여 그림 3에 그 결과를 표기 하였다. 그림3 (a)의 리메싱 적용 전 영상에 비해 그림3(b)의 리메싱 적용 후 영상이 구조적으로 유사한 특징을 나타낸다.

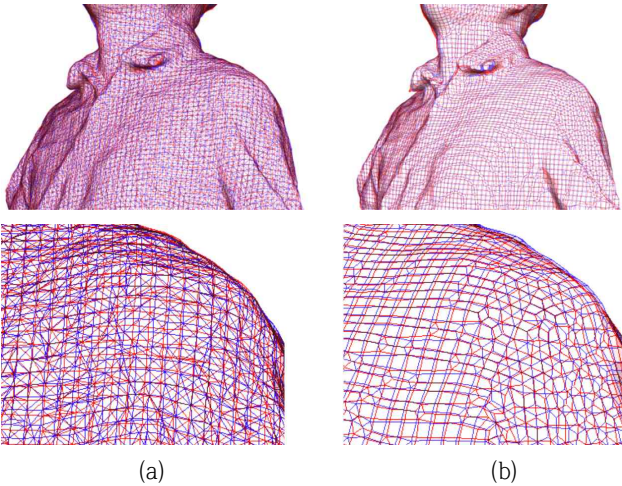


그림 2. 리메싱 알고리즘을 이용한 키 프레임(10프레임)과 중간프레임(15프레임)의 3D 모델의 구조 (a)적용 전, (b)적용 후

그림3은 그림 1에서 제안한 알고리즘의 3D 특징점 추출과 매칭을 이용한 변형 과정의 각 결과 영상을 나타낸다. 그림 3(d)는 키 프레임과 변형된 중간 프레임간의 에러율을 나타내는 영상으로 클라우드컴페어(CloudCompare)[7]의 에러 측정 함수(Distances)를 통해 에러의 평균과 표준편차를 계산하였다. 두 모델의 일치도가 높을 수록 파란 색을 일치도가 낮을수록 붉은 색을 띄게 된다. 두 모델의 평균 에러(Mean distance)는 0.009277m, 표준편차(std deviation)는 0.022681m를 나타내었다.

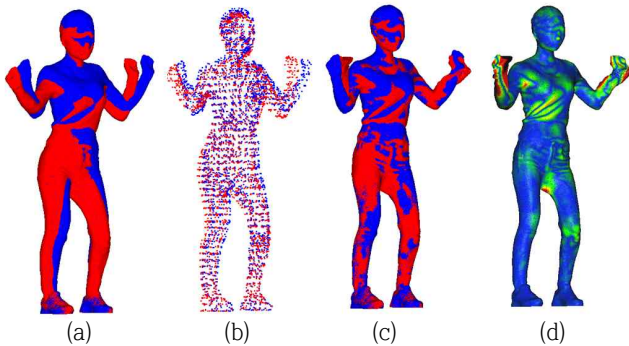


그림 3. 키 프레임과 중간 프레임 간 변형 결과 영상 (a) 기본 모델 정렬 결과, (b) 3D 특징점 추출 및 매칭 결과, (c) 변형 결과, (d) 변형 된 중간 프레임 영상과 키 프레임 영상의 일치도 평가 영상

그림4는 그림 1에서 제안한 알고리즘의 경사 하강법을 이용한 변형 과정의 수행 결과를 나타낸다. 매칭 된 2,382개 특징점의 에러 합계가 총 100회의 반복을 통해 40.21cm에서 1.3cm 수준으로 최적화 되었다.

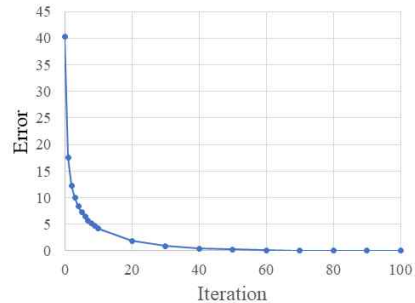


그림 4. 제안한 알고리즘을 통한 모델 최적화 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 3D 볼류메트릭 모델의 동적 복원 알고리즘을 제안하고, 성능을 평가하였다. 리메싱과 3D 특징점을 이용해 모델을 점진적으로 누적하여 모델의 완성도를 높여가는 방법이 사진 측량법(Photogrammetry)을 통해 생성된 3D모델 시퀀스의 일관된 품질을 확보하기 위한 방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

### Acknowledgement

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020-0-00192, 유니버설 혼합현실 서비스를 위한 AR Cloud 기반 오픈 Anchor 개발)

### References

- [1] R. Newcombe et al., "KinectFusion: Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking," in IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR), 2011, pp.127-136.
- [2] K. Guo, F. Xu, T. Yu, X. Liu, Q. Dai and Y. Liu, "Real-Time Geometry, Albedo, and Motion Reconstruction using a Single RGB-D Camera," in ACM Trans. on Graphics(ToG), Vol.36, No.3, 2017, pp. 32:1-13.
- [3] R. Newcombe et al., "DynamicFusion: Reconstruction and tracking of non-rigid scenes in real-time," in IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015, pp.343-352.
- [4] Y. Wang et al., "Isotropic Surface Remeshing without Large and Small Angles," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 25, no. 7, pp. 2430-2442.
- [5] R. Rusu, N. Blodow and M. Beetz, "Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration," 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009, pp. 3212-3217.
- [6] R. Sumner, J. Schmid and M. Pauly, "Embedded deformation for shape manipulation." in ACM SIGGRAPH, 2007. pp. 80-es.
- [7] <https://www.danielgm.net/cc/>