
마커 없는 매칭을 활용한 3 차원 인체 스캔 데이터의 기준점 추출

Landmark Extraction for 3D Human Body Scan Data Using Markerless Matching

윤동욱, DongWook Yoon*, 허남빈, Nambin Heo **, 고흥석, Hyeong-Seok Ko ***

요약 3 차원 인체 스캔 기술의 활용도는 정확도의 개선과 가격의 저렴화로 인해 산업계에서 점점 부각되고 있다. 이런 인체 스캔 데이터의 활용도를 높이기 위해서는 인체 스캔 데이터의 기준점 추출이 필수적이다. 본 논문에서는 자동으로 인체 스캔 데이터의 기준점을 추출하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 여러 인체 스캔 데이터들을 활용하여 주 성분 분석을 하고 최적화를 거쳐 마커 없는 매칭을 수행한다. 최종적으로는 생성된 인체 모델의 위상 구조에서 기준점을 추출한다.

Abstract 3D human body scan technique is known to be practically useful in industrial field as the technique becomes more precise and cheaper. Landmark extraction is essential for full utilization of the scan data. In this paper, we suggest an algorithm for automatic landmark extraction. For this purpose, we perform markerless matching to the target data using PCA analysis and quasi-Newton optimization. Landmarks are extracted from the topology of resulting body.

핵심어: *Anthropometric landmark extraction, 3D human body scan data, Markerless matching, PCA analysis, Optimization.*

본 논문은 2008 년 BK21 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*주저자: 서울대학교 전기공학부 석사과정 e-mail: yoon@graphics.snu.ac.kr

**공동저자 : 서울대학교 전기공학부 박사과정 e-mail: heo@graphics.snu.ac.kr

***교신저자 : 서울대학교 전기공학부 교수; e-mail: ko@graphics.snu.ac.kr

1. 서론

인체의 형태는 개인마다 모두 다르다. 따라서 인체를 체계적으로 연구하기 위해서는 서로 다른 인체 형상간의 통일성을 얻는 과정이 필요하다. 인체측정학(anthropometry)적 관점에서 그러한 통일성을 부여하는 인체 표면의 특징점들을 인체측정학적 기준점(body landmark)이라고 한다. 본 논문의 목표는 주어진 인체 스캔 데이터에서 기준점들을 정확하게 추출하는 것이다.

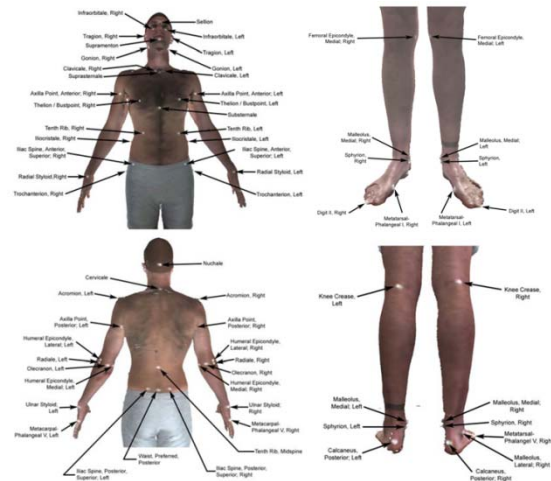


그림 1. 인체 측정학적 기준점들 [35]

3 차원 인체 스캔 기술 이하 인체 스캔 기술 은 빠르고 정확하게 스캔 대상과 동일한 표면 정보(geometry)를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 3 차원 스캐너 이하 스캐너 의 성능이 개선되고 단가가 낮아짐에 따라 산업의 다양한 분야에서의 필요성과 활용도가 대두되고 있으며 이에 발맞추어 Size USA, CAESAR, Size Korea 등의 대규모 인체 스캔 프로젝트들 또한 국내외에서 수행되고 있다. 주로 의복 공학, 인체 공학, 인체 측정학, 컴퓨터 그래픽스 분야에서 3 차원 인체 스캔 데이터 이하 스캔 데이터 의 선도적 활용이 이루어지고 있다.

여러 인체 스캔 데이터들이 있을 때 그 데이터들 사이의 대응 관계(correspondence)를 찾는 것이 중요한 문제이다. 대응 관계는 스캔 데이터의 특정 지점이 인체에서 해부학적으로 어느 부위에 위치하는가에 대한 정보이다. 대응 관계를 이용한 응용으로는 [1], [2], [3] 등이 있으며 이처럼 대응 관계를 알아냄으로써 인체 스캔 데이터의 활용도를 높일 수 있다. BL 들은 인체 표면에 대한 해부학적 관찰로 얻어진다 [4]. 따라서 이 점들은 스캔 데이터들의 대응관계를 알아내는데 기준이 되는 중요한 정보라고 할 수 있다. Allen et al. 은 [1] 에서 스캔 데이터들의 대응관계를 알아내는 강건한 알고리즘을 제안하였으며 역시 기준점을 활용하고 있다.

인체 측정학에서 기준점은 숙련된 측정자가 다양한 측정 도구를 사용하거나 시진 및 촉진(palpation)을 해서 얻는다. 측정자가 직접 기준점을 추출하는 방식은 다양한 상황에 대처할 수 있으며 비교적 정확하다. 하지만 측정자가 매우 숙련되어 있어야 하며 측정에 많은 시간이 소모되기에 비용상의 단점이 크다. 또한 [4] 에서 언급되었듯이 측정자와 피험자의 신체 접촉으로 인한 프라이버시의 문제 또한 무시할 수 없다.

주어진 스캔 데이터에서 자동으로 기준점을 추출할 때 다양한 형태의 인체에 강건하게 대응하기 위해서 여러 서로 다른 인체 스캔 데이터에 미리 기준점을 추출해 놓은 데이터 집합인 3 차원 인체 스캔 데이터베이스 이하 데이터베이스 를 활용한다. 알고리즘의 요지는 [1] 에서 제안된 마커 없는 매칭(markerless-matching) 알고리즘을 활용하는 것이다. 마커 없는 매칭 알고리즘은 데이터베이스를 활용하여 주어진 스캔 데이터와 동일한 형태를 가지고 표준적인 대응관계 정보를 가진 인체 모델을 만들 수 있다. 따라서 생성된 인체 모델의 대응관계 정보를 활용하면 자동적으로 기준점을 추출하는 것이 가능하다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 관련 연구에 대한 설명이 이어진다. 제 3 장에서는 본 논문에서 활용할 데이터베이스를 구축하는 과정을 설명한다. 제 4 장, 제 5 장에서는 구체적인 알고리즘과 실험 결과를 보인다. 마지막으로 제 6 장에서는 결론을 내리고 향후 과제에 대한 제안을 한다.

2. 관련 연구

이번 장에서는 기존에 시도된 다양한 기준점 추출 알고리즘을 몇 가지 범주로 나누고 분석한다.

스캔 데이터로부터 자동적으로 기준점을 추출하는 방식에 대한 연구는 의류학, CAD, 컴퓨터 그래픽스 등의 분야에서 이루어져왔으며 크게 세 가지 방식으로 구분 지을 수 있다. 첫 번째 방식은 마커 기반 방식 [5], [6]으로 인체에 미리 기준점에 해당되는 부위에 마커를 부착하고 스캔 후 마커를 검출한다. 이 방식은 기준 자료(ground truth)에 가장 정확하게 부합하는 기준점을 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 모든 스캔 대상에 마커를 직접 부착하는 번거로움이 있으며 피험자와의 신체적인 접촉이 불가피하다는 단점 때문에 본 논문에서는 마커를 부착하는 방식을 고려하지 않았다.

두 번째 방식은 발견적(heuristic)방식 이다. 대표적 선행 연구로는 [7], [8] 등이 있다. 이 방식에서는 기준점의 정의에 따라 각각의 기준점을 구하기 위한 함수를 모두 따로 만든다. 마커를 부착하지 않고도 기준점을 추출할 수 있는 장점이 있지만 정의가 서로 다른 기준점들에 대한 함수를 각기 따로 만들어야 하는 것이 단점이다. 또한 기준점들은 표면 정보에 대한 관찰에 더하여 체표 근골격계에 대한 측진에 의해 더 정확하게 추출 될 수 있는데 이 사실은 해부학적 정보가 부족한 표면 정보의

해석만으로 기준점을 추출하려는 발견적 방식으로는 정확한 결과를 보장할 수 없다는 것을 시사한다.

세 번째 방식은 데이터베이스 기반 방식이다. [9]에서는 이미 기준점이 추출되어있는 데이터베이스를 기반으로 기계 학습을 시도했다. 300 개 가량의 CAESAR 스캔 데이터들에서 기준점의 표면 기술자(surface descriptor) [10] 및 기준점들 사이의 공간적인 변위를 가우시안 분포로 모델링하고 주성분분석으로 데이터베이스를 구축하였다. 최종적으로, 주어진 스캔 데이터에서 데이터베이스를 활용한 BP 알고리즘[11]을 적용하여 기준점을 추출하였다. 인체 표면은 개인별 편차가 크기 때문에 다양한 형태의 스캔 데이터를 활용하는 데이터베이스 기반 방식을 활용하는 것이 정확하고 안정적이다.

3. 매개변수화된 데이터베이스 구축

데이터베이스는 다수 인체에 대한 스캔 정보를 매개변수화(parameterization) 하여 구축한다. 매개변수화는 서로 다른 스캔의 표면 정보를 각기 유지하면서 연결 정보(connectivity)만을 일관되게 통일하는 것이다. 이것은 인체의 해부학적 특정 부위는 여러 스캔 데이터들에서 표면 정보와 무관하게 항상 연결 정보의 특정 지점에 위치해야 함을 의미한다. 기준이 되는 표준적인 연결정보와 표준적인 위치정보를 가진 인체 모델을 템플릿 T 라고 한다. 매개변수화를 하고 나면 데이터베이스의 모든 스캔 데이터는 모두 T 와 동일한 연결 정보 K 를 가지게 된다.

본 논문에서 사용된 매개변수화 기법은 매쉬 트랜스포메이션(mesh transformation) 기법 [1] 이다. 매쉬 트랜스포메이션은 최근에 연구된 스캔 데이터 매개변수화 기법들 중 가장 성공적인 것이다. 이 알고리즘은 미리 추출 해 둔 마커를 기준으로 템플릿 T 의 각 버텍스에 어파인 변환(affine transformation)을 적용하여 스캔 데이터 D 와 같은 표면 정보를 가지게 하는 방식으로 동작한다. 이때 변환된 템플릿을 T' 라 한다. 어파인 변환은 T' 와 D 로 정의되는 에러에 대해서 어파인 변환을 최적화하여 구한다. 에러는 마커 에러, 데이터 에러, 평탄성(smoothness) 에러 세 가지의 가중치 합이다. 마커 에러는 T' 와 D 의 마커 불일치도이다. 데이터에러는 T' 와 D 의 표면 정보 차이이다. 평탄성 에러는 T 의 연결 정보에서 서로 인접한 버텍스들에 적용되는 변환들 사이의 불일치도이다. 최적화 알고리즘은 L-BFGS-B 준뉴턴최적화(quasi-Newton optimization)를 사용한다.

모든 매개변수화 된 인체 모델은 각기 다른 위치정보 d_i 를 가지고 연결정보 K 는 공유한다. K 는 $\{0, \dots, n-1\}$ 의 부분집합의 집합인 simplicial complex 이다. K 에는 오직 3 종류의 원소만이 존재하는데 그것은 버텍스 $v = \{i\} \in K$, 엣지 $e = \{i, j\} \in K$, 페이스 $f = \{i, j, k\} \in K$ 이다. 인체 스캔에서는 K 의 모든 원소들이 각기 특정한 해부학적인 의미를 지닌다. 만일 템플릿 T 가 버텍스 개수가 n 개라면

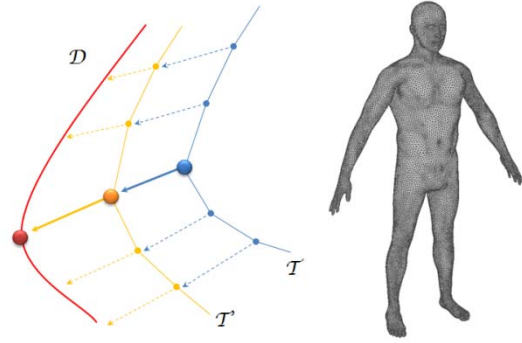


그림 2. 매쉬 트랜스포메이션 알고리즘. (좌)매쉬 트랜스포메이션 알고리즘의 도식화. 원은 마커를 의미한다. 점선 화살표는 데이터 에러를 최소화 하려는 버텍스의 움직임이며 실선 화살표는 마커 에러를 최소화 하려는 버텍스의 움직임이다. 평탄성 에러는 인접한 버텍스의 화살표들이 서로 유사해야함을 의미한다; (우)템플릿 모델. 데이터베이스의 모든 스캔 데이터는 매개변수화를 거치고 나면 템플릿 모델과 같은 연결 정보를 가지게 된다.

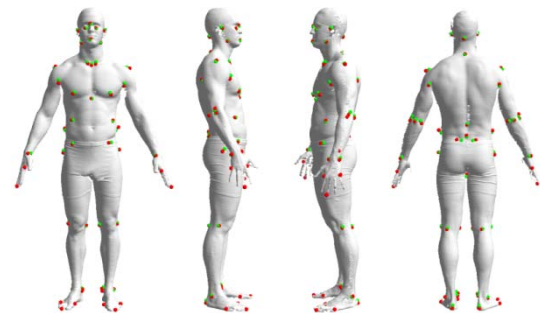
d_i 는 $3n$ 크기의 벡터이다. d_i 는 각 버텍스 원소 $v \in K$ 에 해당하는 위치정보를 가지고 있다.

우리는 기하학적 실체화 $\varphi(d_i, k)$ 를 위상공간에서 기하공간으로 매핑으로 정의한다. $\varphi(d_i, k)$ 를 사용하면 기하원소 $k \in K$ 를 d_i 로 표현되는 3 차원 기하공간상의 실체로 나타낼 수 있다. 예를 들면 $\varphi(d_0, \{vol\})$ 는 첫 번째 매개변수화 된 인체 모델의 첫 번째 버텍스가 실체화 된 것이다.

모든 매개변수화 된 모델은 미리 표기된 마커의 위치를 기반으로 매개변수화 되었다. 따라서 위상공간 K 에서는 마커를 공유하게 된다. 위상공간에서 정의된 마커의 집합 $L = \{l_i = \{i, w_i\} | i \in K, w_i \in R^3\}$ 들이 기준점을 기반으로 매개변수화 되어 있으므로 모든 모델은 L 을 기준점으로 공유한다. $\varphi(d_i, l_j)$ 은 i 번째 모델의 표면에 표기된 j 번째 기준점이 기하공간상에서의 실체화된 위치이다.

마커 없는 매칭 알고리즘에서 데이터베이스의 주성분분석 자료를 활용하므로 미리 d_i 들에 대한 주성분분석을 한다. d_i 벡터 전체의 평균을 \bar{d} 로 표시하고 변위벡터 $d_i - \bar{d}$ 를 u_i 로 표시한다. 이때 전체 데이터베이스의 u_i 들은 $3n$ 행 k 열의 행렬 U 를 구성하고 U 에 대한 주성분분석으로 주성분 벡터 집합 $\{p_i\}$ 를 구할 수 있다. 이때 i 색인은 p_i 에 대응되는 분산값 σ_i 의 크기에 따라 내림차순으로 정렬되어 있으며 1 에서 $k-1$ 까지의 범위이다.

4. 마커 없는 매칭



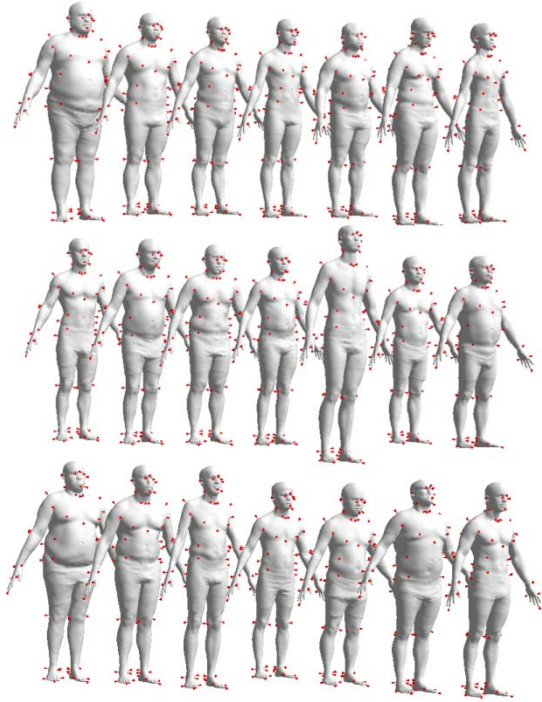


그림 4. 매개변수화 된 데이터베이스. 붉은 표시는 실체화 된 기준점들이다.

마커 없는 매칭 알고리즘의 목표는 기준점 정보가 없는 D의 표면 정보만으로 매개변수화를 수행하여 그 결과로 D와 유사한 표면 정보와 T와 동일한 연결구조를 가진 인체 모델 R을 생성하는 것이다. R의 벡터스 벡터를 r로 표시한다. r은 데이터베이스의 평균 벡터스 벡터 \bar{r} 에 주성분 p_i 들을 가중치 합한 결과이다.

$$r = \bar{r} + \sum w_i p_i \quad (1)$$

가중치집합 $\{w_i\}$ 는 $k-1$ 개를 모두 사용하지 않는다. 상위 k' 개만 사용하더라도 나머지 가중치들은 해당되는 p_i 들의 크기가 상대적으로 작기 때문에 R에 큰 영향을 주지 않게 때문이다. 빠른 속도를 위해 k' 개를 제외한 나머지 가중치들은 무시하였다. $\{w_i\}$ 는 주성분가능성 에러 E_p 와 데이터 에러 E_d 의 가중치 합을 최적화 하여 구한다. 최적화에는 L-BFGS-B 알고리즘을 사용한다.

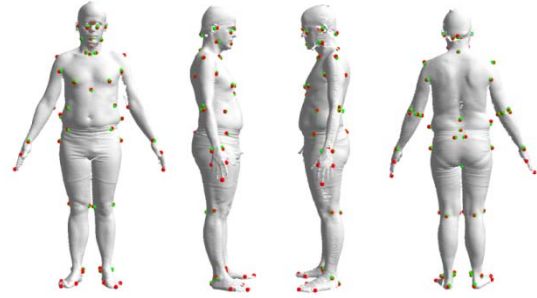
$$E_p = \sum_{i=1}^k \left(\frac{w_i}{p_i} \right)^2 \quad (2)$$

$$E_d = \sum_{i=1}^k \text{dist}^2((r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}), D) \quad (3)$$

여기서 dist 항은 r의 i번째 벡터스와 D사이의 최단거리를 의미한다. 최단거리는 D의 표면 정보를 옥트리(octree) 구조로 해석하여 빠르게 구할 수 있다. 마커 없는 매칭으로 구해진 R은 D와 유사한 표면 정보를 가지고 있으면서 이미 매개변수화가 되어있다.

5. 기준점 추출

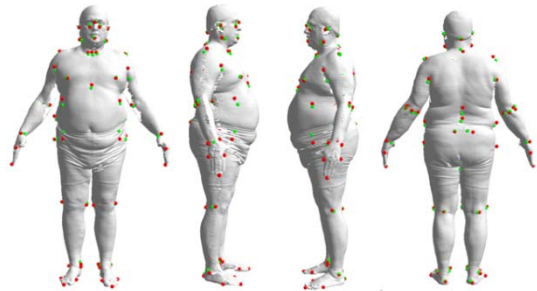
4.에서 마커 없는 매칭으로 구해진 인체 모델은 D와 동일한 표면정보를 가지고 연결 구조 K를 데이터베이스와 공유한다. 따라서 위상공간에서 L로 정의되어 있는 기준점을 표면정보 r에 대해 기하학적 실체화를 하면 D의 기준점이 구해진다. 즉 $\{\varphi(r, l_i)\}$ 이 D표면의 기준점 집합이다.



6. 결론 및 향후 과제

이번 장에서는 우리는 논문을 간략히 정리하고 향후 과제에 대한 제안을 한다.

기준점을 추출하기 위해 마커 없는 매칭을 하여 정규화된 위상구조를 가진 매쉬를 생성한다. 정규화된



위상구조의 각 원소는 모두 특정한 해부학적 의미를 지닌다. 따라서 이 위상구조를 이용하여 기준점을 자동으로

그림 3. 기준점 추출 결과. 초록색 마커가 이 논문의 알고리즘으로 구한 것. 붉은색 마커는 수동으로 구한 것이다.

추출하였다.

본 논문의 주된 가정 중 하나는 데이터베이스의 인체들이 취하고 있는 자세가 모두 동일하며 주어진 인체 스캔의 자세 또한 데이터베이스의 인체들이 취하고 있는 자세와 동일하다는 것이다. 이는 PCA 해석이 동일한 인체에 대해서도 자세에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 필수적으로 요구되는 조건이다. 이런 경우에는 [12]에서 제안된 비강체 매쉬 정합이나 [13]에서 제안된 비강체 매칭을 활용할 수 있다.

더 정확한 위치에 기준점들을 추출하고 싶다면 [9]에서 제안된 것처럼 표면기술자를 사용할 수도 있다. 표면 기술자는 기준점 자체가 표면에서 가지는 기하학적 정보

자체로 기준점을 특징짓는다. 따라서 [14], [15] 등의 표면 기술자로 기준점을 특징지으면 PCA 해석 과정에서 소산될 여지가 있는 표면의 미세한 변화를 기준점 추출 과정에 반영할 수 있을 것이다.

매쉬 정합 기법인 ICP 알고리즘을 가속하기 위한 방법은 [16] 등에서 제안되었으며 아직 활발한 연구가 진행 중이다. 수렴성이 개선된 ICP 알고리즘 또는 또 다른 매쉬 정합 기법의 적용을 통해 본 논문의 알고리즘을 개선 할 수 있는 여지가 남아있다.

참고문헌

- [1] B. Allen, B. Curless, and Z. Popovic, "The space of human body shapes : reconstruction and parameterization from range scans," *ACM Transactions on Graphics, Proc. ACM SIGGRAPH 2003*, 22(3):587-594, 2003.
- [2] Nadia Magnenat Thalmann, Hyewon Seo and Frederic Cordier, "Automatic modeling of virtual humans and body clothing," *Journal of Computer Science and Technology*, 19(5):575-584, 2004.
- [3] Volker Blanz and Thomas Vetter, "A morphable model for the synthesis of 3D faces," *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Proc. ACM SIGGRAPH 99*, 187-194, 1999.
- [4] Simmons, K.P., & Istook, C. "Body measurement techniques: A comparison of 3-D body scanning and physical anthropometric methods," *Seoul KSCT/ITAA Joint World Conference*, 2001.
- [5] D. Burnsides, M. Boehmer and K. Robinette, "3-D landmark detection and identification in the CAESAR project," *Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*, 393-398, 2001.
- [6] Berthold K. P. Horn, "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions," *Journal of the Optical Society of America*, 4(4):629-642, 1987.
- [7] J. H. Nurre, "Locating landmarks on human body scan data," *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling table of contents*, 289-295, 1997.
- [8] Jun-Ming Lu, Mao-Jiun J. Wang, "Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners," *Expert Systems with Applications*, 35(1-2):407-414, 2008.
- [9] Zouhour Ben Azouz, Chang Shu and Anja Mantel, "Automatic locating of anthropometric landmarks on 3D human models," *Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data*, 750-757, 2006
- [10] Andrew E. Johnson and Martial Hebert, "Using spin images for efficient object recognition in cluttered 3D scenes," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence archive*, 21(5):433-449, 1999.
- [11] J.S. Yedidia, W.T Freeman and Y. Weiss, "Understanding belief propagation and its generalizations", *Exploring Artificial Intelligence in the New Millennium*, 8:239-236, 2003.
- [12] Dirk Hahnel, Sebastian Thrun and Wolfram Burgard, "An extension of the ICP algorithm for modeling non-rigid objects with mobile robots," *18th Joint Conference on Artificial Intelligence*, 915-920, 2003.
- [13] D. Anguelov, P. Srinivasan, et al., "The correlated corresponding algorithm for unsupervised registration of nonrigid surfaces," *Advances in Neural Information Processing Systems*, 17:33-40, 2005.
- [14] Sotiris Malassiotis and Michael G. Strintzis, "Snapshots: A novel local surface descriptor and matching algorithm for robust 3D surface alignment," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 29(7):1285-1290, 2007.
- [15] Michael Kazhdan, Thomas Funkhouser and Szymon Rusinkiewicz, "Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors," *Proceedings of the Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Geometry Processing*, 43:156-164, 2003.
- [16] Szymon Rusinkiewicz and Marc Levoy, "Efficient Variants of the ICP Algorithm", *Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*, 145-152, 2001.