

곡률 정보를 이용한 3차원 거리 데이터 정합

김상훈* · 김태은**

요 약

본 논문은 3차원 모델 표면의 특징 곡률(Feature Curvature) 정보를 이용하여 3차원 거리정보 데이터(Range Image)를 자동으로 정합하는 효율적인 방법을 제안하고 그 성능을 분석하였다. 제안한 알고리즘은 3차원 데이터에 대한 거리정보의 물리적 특성인 가우스 곡률(Gaussian Curvature)을 이용하여 모델의 특징점을 검출하고, 공분산 행렬(Covariance Matrix)을 이용하여 각 데이터의 지역좌표계(Local Coordinate System) 사이의 변위를 계산한다. 3차원 형상 취득장치의 카메라 위치는 3차원 데이터와 투영된 2차원 영상과의 사영행렬(Projection Matrix) 관계식으로 계산한다. 결론부분에서는 실험결과를 기존 연구방법과 비교하여 제안된 방법이 더 빠르고 정확하게 정합하는 결과를 보임으로써 3차원 물체인식이나 모델링에 응용성을 제시하였다.

Registration of the 3D Range Data Using the Curvature Value

Sang Hoon kim* · Tae Eun kim**

ABSTRACT

This paper proposes a new approach to align 3D data sets by using curvatures of feature surface. We use the Gaussian curvatures and the covariance matrix which imply the physical characteristics of the model to achieve registration of unaligned 3D data sets. First, the physical characteristics of local area are obtained by the Gaussian curvature. And the camera position of 3D range finder system is calculated from by using the projection matrix between 3D data set and 2D image. Then, the physical characteristics of whole area are obtained by the covariance matrix of the model. The corresponding points can be found in the overlapping region with the cross-projection method and it concentrates by removed points of self-occlusion. By the repeatedly the process discussed above, we finally find corrected points of overlapping region and get the optimized registration result.

Key words : Registration, 3D Data, Curvature

* 성균관대학교 지능시스템 연구소

** 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

1. 서 론

최근 들어 컴퓨터 산업 발전과 더불어 하드웨어의 발달로 인해 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 실시간(30 frame/sec)으로 3차원 데이터 취득 및 표현이 가능하다[1]. 대부분의 3차원 형상 취득장치(Range Finder System)의 원리는 카메라로부터의 투영(Projection)영상과 장치의 시점방향(Viewpoint)으로부터 레이저의 도달시간에 따른 거리 정보를 동시에 계산하여 3차원 데이터로 변경하는데 이러한 영상정보를 3차원 거리정보 데이터(Range Data)라 한다. 이 데이터의 취득은 3차원 형상 취득장치의 레이저 주사 방향이 시점방향으로 고정된 지역좌표계(Local Coordinate System)를 가지고 있으므로 전방향의 입체 모델을 얻기 위해서는 모델의 위치 혹은 시점방향을 변경하면서 측정해야 한다. 따라서 서로 다른 지역좌표계를 가진 3차원 데이터들을 하나의 공간좌표계(World Coordinate System)를 가진 3차원 입체 모델로 복원하는 과정이 정합(Registration)이다[2, 3]. 이것은 3차원 데이터 통합(Integration)에 대한 전처리 과정으로 반드시 필요하다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 모델에 대한 가우스 곡률(Gaussian Curvature)정보를 이용한 국부 물리적 특성과 공분산행렬(Covariance Matrix)을 이용한 전체 물리적 특성을 이용하여 정합한다. 이 두 가지 특성은 정합에 유용한 정보가 된다. 전자의 특성은 3차원 데이터의 특징이 되는 점들을 추출하여 두 3차원 데이터 사이의 유사 공통영역을 찾는다. 후자의 특성은 추출된 유사 공통영역에 대한 각각의 지역 직교좌표계를 생성한다. 이들 정보를 이용하여 각 좌표계 사이의 변위를 계산한다. 3차원 형상입력기(3D Scanner)의 카메라 위치 추정 방법은 3차원 데이터와 2차원 영상과의 투영행렬로 얻을 수 있다. 각 3차원 데이터마다 카메라의 위치가 정해지면 교차-투영방법에 의해 각 3차원 데이터에서 가려지는 영역(Occlusion Region)

을 제외한 나머지 영역으로 중복 영역(Overlapping Region)을 찾을 수 있다. 변위에 의해 수정된 각각의 3차원 데이터를 교차-투영을 반복적으로 수행함으로써 정합은 이루어진다.

2. 3차원 데이터의 물리적 특성 분석

2.1 3차원 데이터 분석 및 삼각화 기법

삼각형 메쉬에 대한 법선 벡터는 두 벡터의 외적(Cross Product)을 통해 계산하며, 단위화(Normalize)를 통한 단위 표면 법선 벡터(Unit Surface Normal Vector, n_f)를 계산한다.

이 과정의 수식은 다음과 같다.

$$n_v = \frac{1}{A} \sum \frac{a \cdot n_f}{\|a \cdot n_f\|} \quad (1)$$

2.2 점에 대한 가우스 곡률 계산

본 논문에서는 3차원 데이터의 국부 물리적 특성을 파악하기 위한 각 점에 대한 가우스 곡률(Gaussian Curvature)을 구하는 두 가지 방법을 제시한다. 즉, 점에 대한 가우스 맵(Gauss Map)을 이용한 직접적인 방법과 점에 인접한 삼각형 메쉬의 가우스 곡률 값들을 면적 가중치 평균값(Weight Area Average Curvature Value)으로 계산하는 간접적인 방법이다. 전자는 점에 인접한 삼각형 메쉬에 대한 가우스 맵 면적(a')의 합계를 점에 인접한 삼각형 메쉬 면적(a)의 합계로 나누면 점에 대한 가우스 곡률(k^p)이 계산된다.

Gauss-Bonnet 방법으로 면적 a' 은 다음과 같이 정의된다[3].

$$a' = \theta_a + \theta_b + \theta_c - \pi \quad (2)$$

여기서, 가우스 맵의 내각 θ_a 은

$$\theta_a = \arccos\left(\frac{t_{ab} \cdot t_{ac}}{\|t_{ab}\| \cdot \|t_{ac}\|}\right) \quad (3)$$

이고, 같은 방법으로 내각 θ_b 와 θ_c 을 구하고, 가우스 맵의 외곽 접선벡터(Tangent Vector, t_{ab})는

$$t_{ab} = (n_b - n_a) - ((n_b - n_a) \cdot n_a) n_a \quad (4)$$

이고, 벡터 t_{ba} 와 t_{ca} 는 같은 방법으로 구한다[4].

점을 둘러싼 각 삼각형 메쉬 면적의 합(A)과 가우스 맵 면적의 합(A')은 아래와 같다.

$$A = \sum a \quad (5)$$

$$A' = \sum a' \quad (6)$$

결국, 점에 대한 곡률 k^p 는 다음 식으로 계산된다.

$$k^p = \sum \frac{A'}{A} \quad (7)$$

두 번째 방법으로 점에 인접한 삼각형 메쉬에 대한 면적 가중치 평균 가우스 곡률(\hat{k}^p)은 각 삼각형 메쉬의 가우스 곡률(k^s)을 면적비에 의한 가중치 평균으로 계산된다. 즉, 삼각형 메쉬는 3개 이하의 다른 삼각형 메쉬와 연결되므로 이들 삼각형 메쉬들의 네 중점을 연결하여 구(Sphere)를 생성한다. 곡률 k^s 는 구 반지름의 제곱에 대한 역수가 되므로 곡률 \hat{k}^p 는 다음과 같이 전개된다[5~8].

구의 일반해 정의는

$$x^2 + y^2 + z^2 + \alpha x + \beta y + \gamma z + \omega = 0 \quad (8)$$

이고, 연립방정식에 의해 상수 $\alpha, \beta, \gamma, \omega$ 가 계산되며 4개 중점에 의해 형성된 구의 곡률 k^s 는 다음과 같이 정리된다.

$$k^s = \frac{4}{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} - \frac{1}{\omega} \quad (9)$$

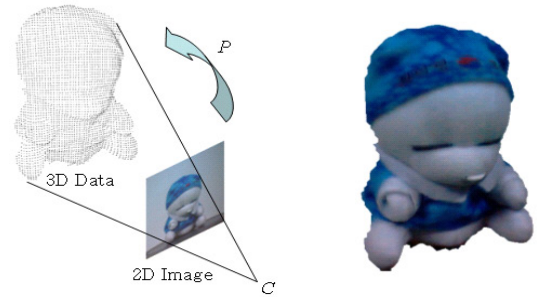
가중치를 적용하기 위한 면적의 계산과정으로 삼각형 메쉬와 연결된 4개 삼각형 메쉬의 면적은

$$\hat{A} = \sum_i^4 \hat{a}_i \quad (10)$$

이다. 여기서, \hat{a} 는 삼각형 메쉬의 면적, \hat{A} 은 \hat{a} 의 합계이다. 결국, 면적 가중치에 의한 곡률 \hat{k}^p 는

$$\hat{k}^p = \frac{1}{\hat{A}} \sum_i^n \hat{a}_i k_i^s \quad (11)$$

이다. 여기서, $i \in \{1, \dots, n\}$, n 는 점에 인접한 삼각형 메쉬의 개수이다.



(a) 사영카메라 원리 (b) 텍스처 맵핑
(그림 1) 사영카메라 원리 텍스처맵핑

3. 특징 곡률을 포함한 특징점 추출

3.1 특징 곡률의 검출

3차원 데이터의 첫 번째 여과 처리(Filtering)과정으로 특징 곡률값을 갖는 점의 선정은 표준편차에 의한 두 3차원 데이터의 전체 평균 가우스 곡률값(k^{Avr})은

$$k^{Avr} = \frac{1}{s \times v} \sum_{i=1}^s \left(\sum_{j=1}^v k^p \right) \quad (12)$$

이고, 여기서 s 는 3차원 데이터 개수, v 는 점의 개수이다. 집합 $D^s(k^p)$ 는 아래의 조건에 의해 여과 처리 하여 집합 $D^s(\bar{k}^p)$ 으로 추출한다.

$$D^s(\bar{k}^p) > k^{Av} \tag{13}$$

두 번째 필터링 과정으로 1차 필터링 된 두 3차원 데이터 사이의 점에 대한 곡률 값이 유사한 값을 특징 점에 대한 일대일 매칭으로 검색하여 추출한다.

$$D^s(\tilde{k}^p) = D^s(\bar{k}^p \approx D^{s+1}(\bar{k}^p)) \tag{14}$$

이 같은 두 가지 필터링 과정으로 특징 가우스 곡률을 갖는 3차원 데이터($D^s(\tilde{k}^p)$)들을 각각 그룹화하여 공간상의 3차원 데이터의 초기 위치를 결정한다.

3.2 교차-투영에 의한 정합

1차적 변환을 통하여 수정된 3차원 데이터와 카메라의 위치는 교차-투영에 의한 반복과정으로 정합이 이루어지게 된다. 첫 번째 3차원 데이터를 수정된 두 번째 데이터의 카메라 위치로 투영하고, 수정된 두 번째 3차원 데이터를 첫 번째 3차원 데이터의 카메라 위치로 투영하여 해당 3차원 데이터의 다른 면들에 의해 가려지는 영역의 점(Self-occlusion)을 제거한다. 또한, 각 카메라의 위치에서 서로 다른 3차원 데이터의 점의 방향으로의 벡터와 3차원 데이터의 점에 대한 법선 벡터의 각도가 90도 이상인 점들은 가려지는 점(Occlusion Vertexes)들이므로 제거한다. 앞의 과정에서 제거된 점들을 제외한 나머지 점들은 중복되는 영역으로 판단되어 결국 중첩되는 대응영역으로 선별된다.

이와 같은 방법으로 중첩되는 대응영역에 대해 직교좌표계설정방법 이후 모든 과정을 반복적으로 수행하면 결과적으로 근사적 정합이 이루어지게 된다.

4. 실험 결과 및 검증

4.1. 기존 방법과의 비교

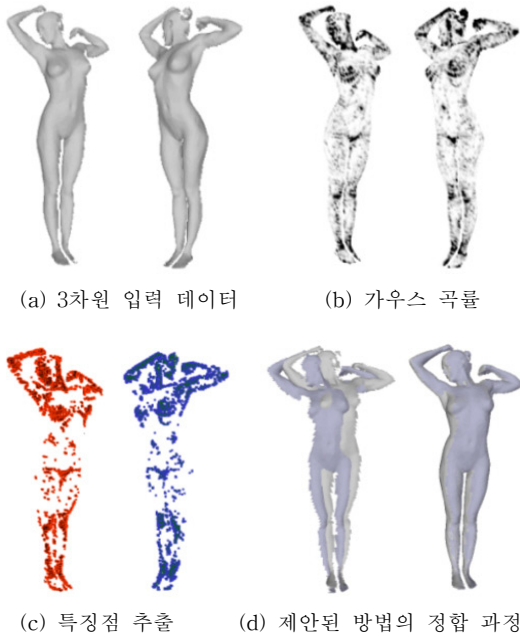
기존 방법은 ICP알고리즘과 연계하여 정합하는 방법이 대부분이다. 따라서 대응점 추출 방법이 모든 점을 대상으로 검색하므로 시간상 부하가 매우 크다[3]. 기존 방법은 3차원 데이터 취득시의 카메라 시점정보를 미리 알고 있어야 한다. 사용자 입력에 의한 정합 방법은 두 데이터 사이에 최소한 한 평면에 존재하지 않는 3점 이상의 대응점이 있어야 하는데 대응점을 입력하는 방법이 까다롭다[4]. 제안된 방법은 특징곡률을 이용하여 특징 대응점을 추출하므로 기존 방법보다 연산속도가 매우 빠르며, 카메라의 정확한 시점위치를 추정함으로써 카메라 시점 정보가 불필요하다. 또한, 중복영역의 대응쌍을 정확히 추출함에 따라 기존 방법보다 우수한 결과를 보였다

〈표 1〉 초기 정합의 기존연구와의 비교(female)

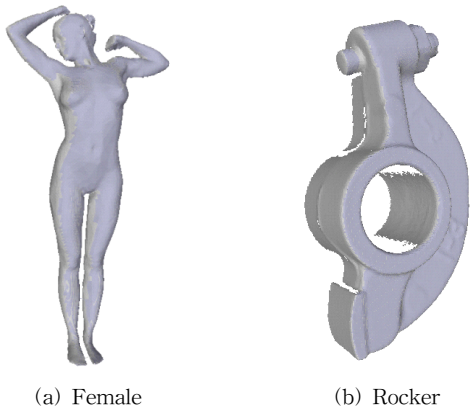
	기존 방법	제안 방법
초기 정합 후 카메라 사이 각도(°)	53.9	55.5
물체의 중심거리	3.15	1.4
반복 회수	많다	적다
초기 정합 연산 시간(초)	6.81	1.18
계층적 정합 연산 시간(초/10회)	64	21

〈표 2〉 기존 ICP와 제안된 방법의 비교

	기존 방법	제안 방법
Chen(1992)[16]	모든 점에 대한 법선 벡터	○
Besl(1992)[4]	모든 점에 대한 근접	○
Truk(1994)[17]	일정하게 추출된 점의 법선 벡터	○
Pulli(1999)[5]	임의로 추출된 점의 법선 벡터	○
제안된 방법	시점 정보로 추출된 점의 근접 점	×



(그림 2) 제안된 방법을 이용한 정합(female)



(그림 3) 제안된 방법을 적용하여 정합된 3차원 데이터

6. 결 론

본 논문에서 제안된 알고리즘은 변위측정장치
이나 사용자의 입력 없이 모델의 물리적 특성을 이

용하여 계층적 정합이 된 결과를 보였다. 또한, 특
징 가우스 곡률에 의해 추출된 특징점만을 이용하
므로 기존 방법보다 빠르고 정확하게 정합함으로
써 우수한 성능이 검증되었다. 기존의 방법은 미리
알고 있어야 할 카메라의 위치정보와 반복연산에
의한 시간의 과부하 등 단점들이 있으나, 제안된 알
고리즘은 대략적 정합을 통해 3차원 데이터와 초
기 카메라의 위치를 근접시킴으로써 이후 반복과
정을 현저히 줄여, 보다 빠르고 정확하게 정합이
안정적으로 수행되었다. 또한, 영상기반 3차원 재
구성 데이터에도 적용할 수 있는 가능성을 보였다.
결과적으로 제 4장의 비교실험을 통하여, 정확도
면에서 우수성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Redert, M. Op de Beeck, C. Fehn, W. Ijsselstein, M. Pollefeys, L. Van Gool, E. Ofek, I. Sexton, and P. Surman, "ATTEST : Advanced Three-dimensional Television System Technologies", Proceedings of the First International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002.
- [2] L. Nyland, D. McAllister, V. Popescu, C. McCue, and A. Lastra, "The Impact of Dense Range Data on Computer Graphics," In Proceedings of IEEE Workshop on Multi-View Modeling and Analysis of Visual Scenes, pp. 3-10, 1999.
- [3] D. F. Huber and M. Herbert, "Fully Automatic Registration of Multiple 3D Data Sets" In Proceedings of IEEE Computer Society Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum. Dec. 2001.
- [4] P. J. Besl and N. D. McKay, "A Method of Registration of 3-D Shapes", IEEE Trans.

Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp. 239-255, Feb. 1992.

- [5] K. Pulli, "Multiview registration for large data sets", In Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'99), pages 160-8, Oct. 1999.
- [6] G. Roth, "Registering two overlapping range images", In Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'99), pages 191-200, Oct. 1999.
- [7] R. Benjema and F. Schmitt, "Fast Global Registration of 3D Sampled Surfaces Using a Multi-Z-Buffer Technique", In Proceedings IEEE International Conference on Recent Advances in 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM '97), Ottawa, Canada, May 1997.
- [8] Johnson and M. Hebert, "Using spin images for efficient object recognition in cluttered 3D scenes", IEEE Transactions on Pattern

Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 5, May, 1999, pp. 433-49.



김 상 훈

인하대학교 전자공학과(공학사)
중앙대학교 영상공학과(공학석사)
중앙대학교 영상공학과(공학박사)
현재 성균관대학교 지능시스템
연구소 박사후 과정

관심분야 : 3차원 재구성, 증강인식, 카메라 교정



김 태 은

중앙대학교 전기공학과(공학사)
중앙대학교 전자공학과(공학석사)
중앙대학교 전자공학과(공학박사)
한국재단참여연구원
삼성전자 휴먼테크논문
대상은상수상

현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

관심분야 : 멀티미디어시스템, 영상인식, 증강현실,
웹3D처리기술