

텍스처를 고려한 다중 레인지 이미지의 3 차원 형상 복원을 위한 정합

최 가 나 김 창 현
고려대학교 컴퓨터학과

E-mail : {gnchoi | chkim}@cgvr.korea.ac.kr

Registration for 3D Object Reconstruction from Multiple Range Images Considering Texture

Ga-Na Choi Chang-Hun Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Korea Univ.

요 약

본 논문은 한 물체에 대해 스캔 위치 정보가 없는 여러 시점의 레인지 이미지들로부터 3 차원 형상 복원을 위한 정합 알고리즘을 제안 한다. 기존의 정합 방법은 스캔 위치 정보와 기하학 정보를 이용하여 레인지 이미지들을 정렬 시킨 반면, 본 논문의 정합 방법은 스캔 위치와는 독립적으로 수행되며 기하학 정보와 텍스처 정보를 함께 이용하여 정렬 시킨다. 그러므로 텍스처가 있는 여러 장의 레인지 이미지들로부터 3 차원 형상을 보다 정확하고 효율적으로 복원할 수 있다.

1. 서론

최근 3 차원 레인지 스캐너는 의학, 역공학(reverse engineering), 그리고 디지털 영화 제작 등에서 다양한 데이터를 제공하고 있다. 특히, 레이저 스캐너는 정밀도의 향상과 색 또는 광도 등의 부수적인 정보를 저렴하고, 정확하게 얻을 수 있다. 이런 장점이 있는 반면, 현재까지의 3 차원 형상 입력 시스템의 문제점은 복잡한 물체에 대해서 한번의 스캔으로 전체적인 모델을 얻어 낼 수 없다는 단점을 가진다. 따라서, 여러 번 스캔한 다중 레인지 이미지를 사용하여 하나의 모델로 결합 할 필요가 있다.

레인지 이미지에서 하나의 모델을 생성시키는 방법은 데이터 획득(acquisition), 정합(registration), 통합(integration), 최적화(optimization)의 네 단계로 나눌 수 있다[4].

서로 다른 시점에서 스캔 된 레인지 이미지를 결합시키기 위해서는 각 레인지 이미지를 물체 중심의 하나의 좌표계로 통합시켜야 한다. 이 때, 하나의 레인지 이미지를 중심으로 다른 레인지 이미지의 공유 부분을 정렬(alignment)시키는 rigid transformation 의 계산을 정합이라고 한다.

그리고 이러한 레인지 이미지들의 공유되는 부

분을 단일 표면으로 합쳐 하나의 모델로 생성시키는 과정을 통합이라고 한다.

최적화단계는 단일의 표면을 가진 물체를 데이터 용도에 따라 적당히 변화 시키는 것이다.

본 논문에서는 레인지 이미지의 텍스처를 고려한 정합 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 물체의 방향과 위치 측정에 독립된 정합 알고리즘으로, 다음 두 단계를 통해서 이루어 진다. 먼저, 사용자의 조작에 의해 초기의 대략적인 정렬이 이루어지고, 텍스처 정보를 고려한 확장된 ICP(Iterated Closest-Point)알고리즘으로 정밀한 정렬을 이룬다.

2. 관련 연구

대부분의 정합 알고리즘은 사용자가 각 시점에서 본 레인지 이미지의 스캔 좌표에 대한 정보를 가지고 있다. 특히 ICP 알고리즘은 초기 정렬을 어떻게 하느냐에 따라, 정렬 속도나 결과를 알아내는 데 많은 영향을 준다.

ICP 알고리즘은 Besl 과 Mckey[2]가 처음 제안하였는데, 각 점들의 쌍을 빠르게 정렬시켜 주는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 각 매쉬의 표면상의 모든 점들이 대응되는 쌍을 가지고 있어야 하기에, 일부분만 공유되는 레인지 이미지에서는 부적합한

방법이다.

이런 알고리즘을 Horn[3]은 거리의 제곱의 합의 최소가 되는 rigid transformation 으로 발전 시켰고, Turk 와 Levoy[1]는 각 매쉬의 신뢰도(confidence)를 계산하여 가중치를 부여 하였다.

본 논문에서는 기존 연구와는 다르게 텍스처 정보를 포함하는 레인지 이미지에 대해, 초기 정렬로 사용자가 대화적으로 대응되는 세 점을 지정해주는 3 point 알고리즘(3.1 절)을 사용하였고, 기존의 ICP 알고리즘을 확장하여 텍스처 값에 대한 가중치를 첨가 하였다.

3. 레인지 이미지의 정합

생성된 레인지들은 물체 중심의 하나의 좌표계로 변환하여야 한다. 본 논문에서는 다음의 두 단계를 거쳐서 정확한 정합을 이룬다.

3.1 3 point 를 사용한 초기 정렬

임의의 3 차원 실물을 여러 위치에서 스캔하여 생성된 삼각형 매쉬는 그 자체만으로는 물체의 어느 부분에서 스캔 된 것인지를 자동적으로 알 수 없다. 그러므로 사용자가 두 개의 이미지 간의 관계를 어느 정도 설정해 주어야 한다.

본 논문에서는 이러한 초기 정렬 방법으로 각 매쉬의 세 점을 지정하고 이를 바탕으로 빠른 정렬이 실행되는 3 point 알고리즘을 사용하였다.

ICP 알고리즘을 이용할 경우에는 초기 정렬이 매우 중요하다. 위상이 다를 경우에는, 초기 정렬을 하지 않아도 중복되는 부분이 많으면 무수히 많은 반복을 통해 결과 해를 찾을 수 있지만, 굉장히 많은 시간을 소요하게 된다. 또한 위상의 변화가 거의 없는 경우에는 결과가 존재하지 않는 경우가 있다. 즉, 원통형, 육면체 그리고 구와 같은 기준이 되는 축이나 면에 대해 대칭성(symmetry)이 존재하는 물체에 대해서는 다중 결과의 문제가 발생한다.

3 point 알고리즘은 두 매쉬 사이에 일치되는 점으로 추측되는 세 점을 순서대로 찍는다. 이 때 매쉬의 위상이나 텍스처가 주위의 부분과 구분되는 점을 지정하는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있다. 지정된 세 점을 바탕으로 목표 매쉬에 이동 매쉬의 이동(translation)과 회전 벡터(quaternion)를 추출한다. 이 세 쌍들의 점은 정확히 일치되는 점이 아니라 대략적인 값이므로 하나의 결과가 존재 하지 않는다. 따라서 세 쌍의 점들이 유사한 위치에 있도록 만드는 최적의 이동 벡터와 회전 벡터를 계산한다.

이동벡터는 각 매쉬 세 점의 중점($C_i - C_m$)이 일치하도록 하는 벡터로 두 중점의 차이가 된다. 회전 벡터는 각 매쉬의 세 점의 첫 번째 점에서 나머지

두 점으로 향하는 방향 벡터의 차를 최소화 시키는 quaternion 으로 정의한다.

3 point 알고리즘에 대한 의사코드는 다음과 같다.

```

Algorithm regist3PtsAlignment

Input : target points set  $X = \bigcup x_i$  ,
         Move points set  $Y = \bigcup y_i$ 

Output : translation and quaternion rotation vector pair  $\langle T, Q \rangle$ 

1. Initialize  $\langle T_i, Q_i \rangle$  &  $\langle T, Q \rangle$ 
2. While (angle( $Q_i$ ) > threshold)
3.   for each  $y_i$ 
4.     do  $y_i \leftarrow Q * (0, y_i) + T$ 
5.      $c_i \leftarrow (x_1 + x_2 + x_3)/3$ 
6.      $c_m \leftarrow (y'_1 + y'_2 + y'_3)/3$ 
7.      $T_i \leftarrow c_i - c_m, T \leftarrow T + T_i$ 
8.      $v_1 \leftarrow x_2 - x_1$ 
9.      $v_2 \leftarrow y'_2 - y'_1$ 
10.     $q_1 \leftarrow \text{calcMatchingQuaternion2V}(v_2, v_1)$ 
11.     $v_1 \leftarrow x_3 - x_1$ 
12.     $v_2 \leftarrow y'_3 - y'_1$ 
13.     $v_2 \leftarrow q_1 * (0, v_2)$ 
14.     $q_2 \leftarrow \text{calcMatchingQuaternion2V}(v_2, v_1)$ 
15.     $Q_i \leftarrow q_2 * q_1, Q \leftarrow Q_i * Q$ 
16.  return  $\langle T, Q \rangle$ 
    
```

그림 1.3 point 알고리즘에 대한 의사 코드

그림 1 의 10 과 14 번째 줄에 사용된 calcMatchingQuaternion2V 함수는 두 개의 벡터(v_2, v_1)을 일치시키는 quaternion 을 계산한다.

3.2 텍스처를 고려한 ICP 알고리즘의 확장

Horn[3]은 Besl 과 Levoy[2]가 사용한 알고리즘의 문제점을 해결하고, 최소 자승법을 선형적으로 풀었다. Horn 이 사용한 방법은 식 (1)과 같다.

$$E = \sum_{i=0}^n |A_i - R(B_i - B_c) - T|^2 \quad (1)$$

- A_i, B_i : 3 차원의 점의 쌍의 위치
- B_c : B_i 의 중심
- T : A_i, B_i 의 중심의 차이를 나타내는 이동벡터
- R : 인접하는 이웃 쌍의 중심 사이의 cross-covariance 행렬

측정된 거리 값은 모든 위치에서 동일한 오차 범위를 갖는 것이 아니기에, Turk[2]는 각 점에서의 신뢰도를 고려하여 가중치를 적용한 식 (2)의 방법

을 사용했다. 신뢰도는 각 메쉬상의 surface normal 값과 꼭지점에서 레인지 이미지까지의 방향 벡터의 내적을 사용하였고, 가중치는 두 메쉬상의 신뢰도의 곱을 사용하였다.

$$E = \sum_{i=0}^n w_i |A_i - \mathbf{R}(B_i - B_c) - \mathbf{T}|^2 \quad (2)$$

w_i : 두 메쉬 상의 대응 점의 신뢰도의 곱

식(2)에 본 논문은 텍스처의 값을 또 다른 가중치로 추가하였다. 본 논문에서 사용한 식은 식(3)과 같다.

$$E = \sum_{i=0}^n w_i t_i |A_i - \mathbf{R}(B_i - B_c) - \mathbf{T}|^2 \quad (3)$$

t_i 는 0에서 1사이의 값을 갖는 텍스처에 대한 가중치로, A_i 와 B_i 의 각 쌍의 점의 텍스처 주위 값의 합의 평균 차에 대한 정규화 하였다.

텍스처 값을 고려함으로써, 기하학적인 정보만으로 정합 시킴으로써 발생하는 위상의 변화가 거의 없는 물체의 정렬을 가능케 한다.

4. 실험 결과



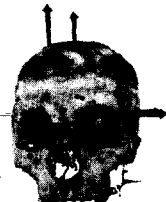
(가) 목표 메쉬



(나) 이동 메쉬



(다) 동일 좌표계의 두 메쉬



(라) 정렬된 두 메쉬
그림 2. 3 point 알고리즘과 텍스처를 고려한 ICP 알고리즘을 써서 정렬한 예

그림 2는 두 장의 skull 레인지 이미지에 대해 본 논문이 제안한 3 point 알고리즘과 텍스처를 고려한 ICP 알고리즘을 사용하여 정합 시킨 결과이다.

(가)의 목표 메쉬와 (나)의 이동 메쉬에 대해, 초기 정렬에서 사용자가 비슷하다고 생각되는 3개의 점을 동일한 순서로 찍어 주었고, 두 개의 메쉬를 하나의 좌표계에서 본 결과가 (다) 그림이다.

세 점이 선택되면, 자동으로 3 point 알고리즘과 텍스처를 고려한 알고리즘으로 (라)와 같이 자동 정렬의 결과를 보여 준다.

5. 결론

본 논문은 두 메쉬간의 관계를 전혀 알지 못할 경우의 3차원 물체 복원을 위한 정합 방법을 제안한다.

본 논문의 정합 방법은 스캔 위치와는 독립적으로 수행되며 기하학 정보와 텍스처 정보를 함께 이용하여 정렬 시키므로 텍스처를 갖는 여러 장의 레인지 이미지들로부터 복원되는 3차원 형상의 경우, 본 논문이 제안하는 정합 방법으로 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있다.

본 알고리즘은 텍스처 값의 좀더 정확한 계산을 위해 빛에 대한 반사율과 음영효과를 고려하는 방법을 향후 연구과제로 삼는다. 텍스처에서 빛에 대한 diffuse 값을 추출하는 알고리즘을 사용하면, 복잡한 텍스처를 가진 물체의 정렬 시에도 속도의 향상과 결과의 더욱 큰 신뢰를 기대한다.

6. 참고문헌

[1] G. Turk and M. Levoy, "Zippered Polygon Meshes from Range Images," *In Proceeding of SIGGRAPH '94*, pp 311-318, 1994.
 [2] P. J. Besl and N. D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp239-256, 1992.
 [3] Horn, Berthold K. P, "Closed-Form Solution of Absolute Orientation Using Unit Quaternions," *Journal of the Optical Society of America. A*, Vol. 4, No. 4(April 1987), pp. 629-642.
 [4] K. Puilli, T. Duchamp, H. Hoppe, J. McDonald, L. Shapiro, and W. Stuetzle, "Robust Meshes from Multiple Range Maps," *In Proceeding of International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Image Modeling*, pp. 205-211, May 1997.
 [5] Hoppe, Hugues, Tony DeRose, Tom Duchamp, John McDonald and Werner Stuetzle, "Surface Reconstruction from Unorganized Points," *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2(SIGGRAPH '92), pp. 71-78.
 [6] Chen, Yang and Gerard Medioni, "Object Modeling by Registration of Multiple Range Images," *Image and Vision Computing*, Vol.10, No.3(April 1992), pp. 145-155.