

AR환경에서 특징 포인트를 효율적으로 매칭하기 위한 실린더 기반의 각도 보간

문예린^o, 김종현^{*}

^o강남대학교 소프트웨어응용학부,

^{*}강남대학교 소프트웨어응용학부

e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr

Cylinder-based Angular Interpolation to Efficiently Feature Point Matching in AR Environment

YeRin Moon^o, Jong-Hyun Kim^{*}

^oSchool of Software Application, Kangnam University,

^{*}School of Software Application, Kangnam University

● 요약 ●

본 논문에서는 가상 물체를 현실과 오차 없이 정확하게 증강 시켜야 하는 상황에서 특징 포인트를 이용하여 효율적으로 매칭하기 위한 실린더 기반의 각도 보간 기법을 제안한다. 증강현실에서 활용되는 대표적인 객체를 증강하는 방법은 특징 포인트들을 트래킹하여 찾아낸 후, RANSAC 알고리즘을 기반으로 포인트 셋에서 바닥, 벽과 같이 하나의 평면을 구성하고 그 위에 객체를 증강한다. 이 방법은 평면을 사용하기 때문에 계산량이 적지만, 증강 위치에 대한 오차가 존재하기 때문에 때때로 잘못된 위치에 객체가 배치되는 경우가 발생한다. 특히, 의료시설, 도로 공사에서 증강 현실을 사용했을 때에 증강된 가상물체의 위치, 크기 등이 현실에서 작은 오차라도 어긋날 경우 크게 사고가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 평면 생성 없이 특징 포인트만을 이용하여 효율적으로 매칭 할 수 있는 실린더 기반의 각도 보간을 이용하여 정확하게 객체를 증강할 수 있는 결과를 보여준다.

키워드: 가상 물체 (Virtual object), 특징 포인트 (Feature point), 각도 보간 (Angle interpolation), 증강 현실 (Augment reality), 점 구름 (Point cloud), 실린더 (Cylinder)

1. Introduction

증강현실에서 영상 속 현실 세계의 특징 포인트를 인식하여 실시간으로 가상 물체를 증강하는 과정은 AR 시스템에서 중요하며, 대부분 이 과정에서 높은 정확도를 요구한다. 보통 가상물체가 증강되는 좌표는 트래킹 후 그려지게 되는 평면에 의존하기 때문에 평면의 위치가 조금이라도 차이가 있으면 가상물체의 좌표는 변경된다[1, 2]. 이때 발생하는 오차는 도로 속 배수관처럼 연결관의 시공품질 검수 및 길이 측정 등을 확인하는 데 쓰이게 될 때, 의료시설에서 뇌나 척추 수술 등에 쓰이게 될 때 더 큰 사고로 이어지게 된다 (Fig. 1 참조). 정확도를 높이기 위해서 고가의 장비를 사용하면 되지만, 정확도를 높여 주는 장비가 가격이 높고 부피도 크기 때문에, 쉽게 사용하기가 어렵다.

본 논문에서는 모바일 디바이스를 이용해 특징 포인트를 수집한 후에 실린더 기반의 각도 보간 알고리즘을 활용하여 효율적이고 정확하게 증강 위치를 개선할 수 있는 시스템을 제안한다.



Fig. 1. Brain surgery using AR medical facilities.

II. The Proposed Scheme

1. 오차 개선을 이용한 선형보간 기법

본 논문에서는 특정 포인트들을 수집해 하나의 점 구름(Point cloud)으로 지정하고, 사용자의 위치, 카메라의 방향을 고려하여 ICP(Iterative closest point) 알고리즘을[3, 4] 적용해 해당 점 구름이 기준에 있던 점 구름과 얼마나 일치하는지 확인하여 오차를 확인한다. 특정 포인트를 수집할 때에는 AR Foundation에 내장된 트래킹 방법을 사용하여 찾는다. 오차율을 줄이기 위해서 평면을 이용하는 것이 아닌 특정 포인트 그대로를 이용해야 하며, 사용자의 위치, 카메라의 방향을 고려하여 점 구름의 더 정확한 위치를 파악해야 한다.

본 논문에서는 특정 포인트의 위치를 파악하는 것에 끝나는 것이 아닌 ICP 알고리즘을 이용하여 새로 추적한 점 구름과 기준에 있던 점 구름을 비교하며 그 두 점 구름의 오차를 계산한다. 일정 오차율 이하일 때, 객체를 증강하기 위해 두 점 구름의 오차율을 알아내는 것은 중요하다. 그렇기에 기준 점 구름에서 기준 각도를 결정하는 과정이 필요하다. 기준이 되는 점 구름의 각도와 새로 수집한 점 구름의 각도의 사이에서 발생하는 오차율은 객체를 바라보는 시점마다 달라진다. 기준이 되는 점 구름과 새로 수집한 점 구름의 사이 각이 180도가 될수록 오차율이 높아지는 것을 볼 수 있다. (Fig 2. 참조). 여기서 말하는 각도는 두 점 구름을 바라보는 시야의 차이로 인해 발생하는 각도이다.

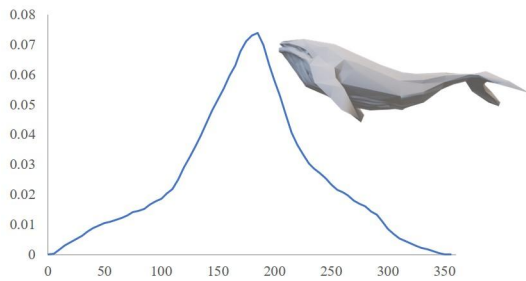


Fig. 2. Error rate depending on the viewing angle (x-axis : error rate, y-axis : degree).

본 논문에서는 사이 각에 따라 발생하는 오차율을 줄여주기 위해 사용자의 위치와 모바일 디바이스의 자자기 센서를 이용하여 카메라의 방향을 알아낸 뒤, 수집한 점 구름과 사이 각이 가장 작은 점 구름을 호출하여 비교한다. 사이 각을 비교하기 전에 사이 각이 어느 정도이어야 안전 범위인지 파악할 필요가 있으며, 우리는 가상공간에서 3D 모델을 넣고 실험을 진행하였다. 기준 각도를 우선으로 잡고, 각도를 1도씩 돌려가며 ICP 알고리즘을 적용했으며, 앞면(정면)을 0도로 가정하였고, 이 실험을 반복하여 결과를 확인하였다. 기준 각도는 0도로 설정하고 그 외에는 랜덤 값으로 설정하여 실험을 진행했으며, 기준 각도로부터 각도 차이가 어느 정도에서 해당 오차율이 발생하는지 아래와 같은 결과가 나왔다 (Fig 3. 참고).

기준 각도 \ 오차율	0.020	0.036	0.051	0.063	0.08	0.1
0	15	25	25	30	35	35
34	15	20	25	25	25	30
143	15	25	25	30	30	35
205	10	20	25	30	35	40
210	10	20	25	30	35	35
270	10	20	20	25	25	30
327	25	35	40	45	45	50
333	15	30	35	40	45	50

Fig. 3. Error rate according to angle.

Fig. 3을 확인해보면 각도의 차이가 20도를 벗어난 순간부터 기준 각도에 따라 오차율이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 이용하여 수집한 점 구름의 각도와 비교하게 되는 기준 각도의 차이가 20도 이하가 되도록 기준의 점 구름을 호출한다. Fig 2에서의 오차율은 기준 각도에 멀어짐에 따라 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 이용해 ICP 알고리즘을 적용하지 않고도 주변 각도를 이용하면 오차율을 추정해낼 수 있다. Fig. 3에서 보듯이 사이 각이 20도 내에서는 큰 오차율을 발생하지 않는 것을 알 수 있으니, 이를 이용하여 오차율을 추정한다. 오차율은 선형 보간(Linear interpolation)을 적용하여 ICP 값을 추정한다 (수식 1 참조).

$$f(p) = \frac{d_2}{d_1 + d_2} f(p_1) + \frac{d_1}{d_1 + d_2} f(p_2) \quad (1)$$

사이 각이 0~360도인 것에서 20 간격으로 오차율을 계산한다. 여기서 p 는 추정해야 하는 오차율이며, p_1 과 p_2 는 각각 가까운 사이 각의 오차율을 가져온다. d_1 과 d_2 는 각각 p 와 p_1 사이 그리고 p 와 p_2 사이의 각도 차이이다. 결과적으로는 주변 각도의 오차율과 주변 각도와의 각각의 차이를 통해 오차율 추정해낸다. 이를 이용한 그래프 모양은 다음과 같다 (Fig. 4 참조). Fig. 4a는 비교하기 위해 1도씩 계산한 오차율 그래프이며, Fig. 4b는 수식 1을 적용한 오차율 그래프이다.

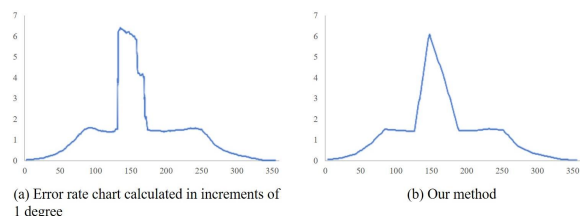


Fig. 4. Error rate estimation graph (x-axis : error rate, y-axis : degree).

2. 오차율을 위한 데이터 최적화

실제 AR을 사용하기 위해서는 많은 데이터 수집이 필요하다. 가장 이상적인 데이터 수집은 하나의 지점으로부터 전 방위 방향으로

특정 포인트들을 저장하는 것이지만, 특정 포인트의 개수가 비교적 적어도 전 범위 방향으로 데이터를 저장하게 되면 많은 데이터 저장소가 필요하기 때문에 리소스와 계산 비용이 커진다. 본문에서는 필요로 하는 사이 각의 오차율만을 저장하여 최적의 비용을 계산한다. Fig. 4b를 보면 20도 간격으로 설정할 때 오차율이 급격하게 높아졌다가 낮아지는 부분에서 오차율이 차이가 크게 벌어지는 것을 볼 수 있다. 최적의 비용을 계산하면서 이를 해결하기 위해 수식 1을 다음과 같이 변경한다 (Fig. 5 참조).

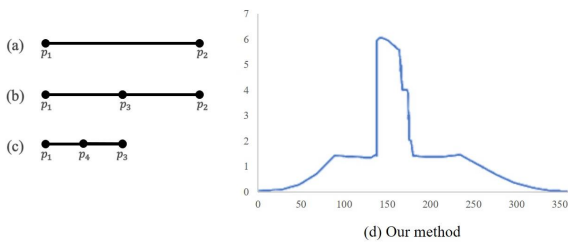


Fig. 5. Adaptive weighting and error correction chart.

사이 각 p_1 과 p_2 의 두 오차율의 차이가 크면 Fig. 5b에서 보이는 것처럼 두 각의 오차율을 이용하여 중간 각의 오차율을 찾는다. 그리고 p_1 과 p_3 혹은 p_2 과 p_3 를 비교했을 때, Fig. 5c같이 오차율이 더 큰 각들로 다시 그 두 각의 중간 각에 대한 오차를 구하는 방식을 반복하여 두 각 사이의 오차율의 차이를 줄인다. 이때, 오차율의 차이는 0.08로 하여 최적화한다. 그렇게 되면 한 기준 각도 당 360개의 데이터에서 29개로 85% 이상의 비용을 절약할 수 있고, 차트 모양도 정교해진 모습을 볼 수 있다. (Fig. 5d 참조).

3. 최소의 데이터를 위한 허용범위

본 논문에서는 최소한의 데이터들만을 이용하여 특정 포인트를 비교하고자 한다. 가상물체를 증강할 때 처음부터 그곳에 대한 데이터가 존재하면 좋지만, 대부분이 데이터가 없는 상태에서 시작한다. 이상적으로 사용자가 직접 전 범위를 돌면서 데이터를 수집하면 좋지만, 실제로 모든 증강 객체에서 이러한 식으로 처리하는 것을 불가능하기 때문에 본 논문에서는 임의로 허용범위를 표시한다 (Fig. 6. 참조).

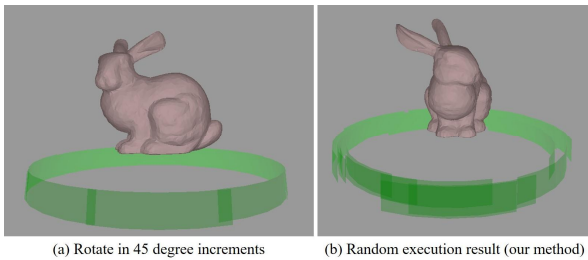


Fig. 6. Visualization of allowable range in virtual space.

Fig. 3을 통해 한 지점으로부터 사이 각이 20도까지는 허용된다는 것을 알 수 있었다. 이를 이용하여 왼쪽, 오른쪽 각 방향으로 20도씩

허용되므로 총 약 40도의 허용 범위를 준다. 임의도 허용 범위를 45로 지정한다. 전 범위가 360이므로 8개의 방향에 대한 데이터가 존재하면 이를 이용해 비교할 때, 낮은 오차율을 가지고 증강 시킬 수 있다.

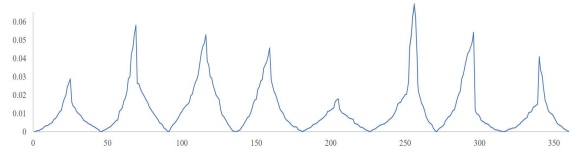


Fig. 7. Error rate graph generated with 8 data sets.

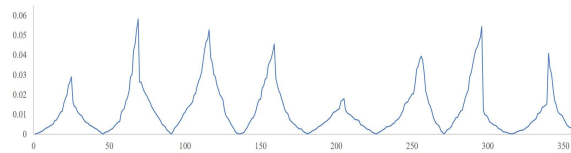


Fig. 8. Error rate graph with modified reference point cloud.

Fig. 7은 8개의 데이터 세트를 가지고 오차율을 구한 오차율 그래프이다. 먼저 8개의 점 구름을 저장해둔다. 새로 수집할 랜덤한 값의 각도의 점 구름으로부터 저장된 데이터 중에 가까운 점 구름 두 개를 가지고 와 ICP 알고리즘을 적용해 오차율을 구한다. 대부분의 오차율이 0.05 미만으로 현저히 낮은 것을 볼 수 있다. Fig. 4a 그래프의 오차율이 낮은 부분을 확대해 비교해보면 그 차이를 더 확실하게 볼 수 있다. Fig. 7의 중간에 250도 부근을 보면 급격하게 비교적 큰 오차가 발생하게 되는 지점이 있다. 이런 경우 그다음으로 가까운 각도로 기준 점 구름으로 바꾸면 된다 (Fig. 8. 참조). Fig. 8의 250도 부근을 보면 Fig. 7보다 상대적으로 오차율이 확연히 줄어든 것을 보여준다.

III. Results

본 논문에서는 제안한 방법을 보여주기 위해서 가상공간에서 3D 객체를 배치하여 실험을 진행하였다. Fig. 9는 토끼 모델링의 앞면만을 이용하여 하나의 점 구름으로 만든 이미지이다. 임의로 8개의 지점의 점 구름을 미리 저장하여 초록색으로 허용범위를 호 형태로 그리고, 이후 랜덤한 각도에서 찍었을 경우를 실험하였다. 랜덤한 각도에서 계산된 새로운 허용 범위는 보라색으로 표시한다. Table 1에서 angle은 랜덤한 각도이고, ICP는 오차율을 나타낸다. 오차율을 보면 알 수 있듯이 비교한 특정 포인트들이 어떠한 각도에서든 낮은 오차율이라는 것을 확인할 수 있다. (Table 1 참조).

3-D Digital Imaging and Modeling, 3DIM 2003. Proceedings., pp. 260-267, 2003.

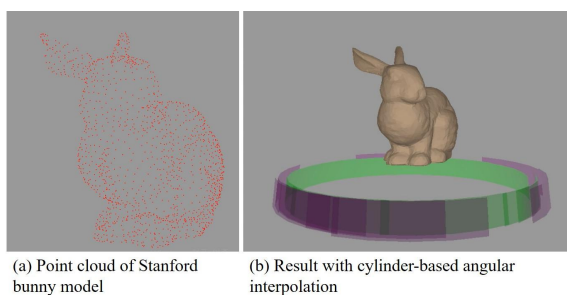


Fig. 9. Our results.

Table 1. ICP error rate with angle.

Angle	ICP
7	0.003074
249	0.020322
263	0.008414
218	0.003321
288	0.031282
254	0.048947
54	0.005292
10	0.004223
129	0.005508
301	0.005825

IV. Conclusions

본 논문에서는 증강현실에서 증강할 객체의 특징 포인트를 효율적으로 매칭하기 위한 실린더 기반의 각도 보간 기법을 제안했다. 이 기법은 각도 보간을 통해 효율적이고 빠르게 값을 찾아내기 때문에 적은 데이터로도 높은 정확도를 보여준다. 우리는 제안하는 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 가상공간에 3D 객체를 추가하여 실험하였지만, 향후 이 방법을 증강현실로 확장하여 다양한 실험을 진행할 예정이다. 또한, 온전한 3차원 공간을 보간하기 위해 실린더 기반 각도 보간을 반구(Hemisphere) 기반 비선형 각도 보간 기법으로 알고리즘을 확장할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Derpanis, K. G. "Overview of the RANSAC Algorithm". Image Rochester NY, Vol.4, No. 1 , pp. 2-3,2010.
- [2] Nguyen, Ngoc. "Developing a multiplayer AR game using AR Foundation and Unity.", 2020.
- [3] Rusinkiewicz, Szymon, and Marc Levoy. "Efficient variants of the ICP algorithm." In Proceedings third international conference on 3-D digital imaging and modeling, pp. 145-152, 2001.
- [4] Gelfand, Natasha, Leslie Ikemoto, Szymon Rusinkiewicz, and Marc Levoy. "Geometrically stable sampling for the ICP algorithm." In Fourth International Conference on