

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제1호, 2019년 1월 (JBE Vol. 24, No. 1, January 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.1.32>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

AR 게임을 위한 위치추정 정확도 향상 알고리즘

한 서 우^{a)}, 서 덕 영^{a)†}

Algorithm to Improve Accuracy of Location Estimation for AR Games

Seo Woo Han^{a)} and Doug Young Suh^{a)†}

요 약

실내에서 위치를 추정하는 연구는 다양한 분야에서 필요하다. 실내에서 위치를 추정하는 방법은 하드웨어를 이용하는 방법과 하드웨어를 이용하지 않는 방법으로 나눌 수 있다. 하드웨어를 사용하는 방법은 정확도가 높지만, 하드웨어 설치비용이 든다는 단점이 있다. 반대로 하드웨어를 사용하지 않는 방법은 설치비용이 들지 않지만, 정확도가 떨어진다. AR 게임을 위한 위치추정에 제일 중요한 목표는 정확도를 높이는 것이다. 위치를 추정하기 위해서는 Perspective-N-Point (PnP)의 해를 얻어야 한다. PnP 문제의 해를 구하기 위해서는 위치를 추정하고 싶은 공간의 삼차원 좌표와 그 공간에서 찍은 영상이 필요하다. 삼차원 좌표와 매칭 되는 이차원 좌표 6쌍을 통해 위치를 추정할 수 있다. 해의 정확도를 높이기 위해 어떤 점들을 선택하면 정확도가 높아지는지 확인할 비공면도(non-coplanarity degree)를 추가로 사용할 것을 제안했다. 점 6개 이상인 상황에서 비공면도가 커질수록 위치추정 정확도가 높아질 확률이 높다. 제안한 방법의 장점은 모든 기존 위치추정 방법에 적용할 수 있다는 것과 하드웨어를 사용하여 위치를 추정하는 것보다 더 높은 정확도를 보인다.

Abstract

Indoor location estimation studies are needed in various fields. The method of estimating the indoor position can be divided into a method using hardware and a method using no hardware. The use of hardware is more accurate, but has the disadvantage of hardware installation costs. Conversely, the non-hardware method is not costly, but it is less accurate. To estimate the location for AR game, you need to get the solution of the Perspective-N-Point (PnP). To obtain the PnP problem, we need three-dimensional coordinates of the space in which we want to estimate the position and images taken in that space. The position can be estimated through six pairs of two-dimensional coordinates matching the three-dimensional coordinates. To further increase the accuracy of the solution, we proposed the use of an additional non-coplanarity degree to determine which points would increase accuracy. As the non-coplanarity degree increases, the accuracy of the position estimation becomes higher. The advantage of the proposed method is that it can be applied to all existing location estimation methods and that it has higher accuracy than hardware estimation.

Keywords : non-coplanarity, AR game, pose estimation, perspective projection, point select

Copyright © 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

기계가 자신의 위치를 아는 것은 21세기 기술에 필수적인 요소이다. 증강현실(AR)^[1], 무인 자동차와 보행자 위치 검출^[2,3] 등 많은 분야에서 필요로 하는 기술이다. 위치를 추정하는 것은 매우 중요하지만 정확한 위치 인식이 불가능하다면 실생활에서 이용할 수 없다. 특히 AR 기술에서는 장치의 위치를 아는 것이 더 중요하다. 왜냐하면, 장치가 정확한 자신의 위치를 추정할 수 있다면 정교한 서비스를 제공할 수 있기 때문이다^[4]. 현재 AR 게임이 많이 나오고 있지만, 게임 시장을 장악하지 못하였다. 그 이유는 정확도가 떨어지는 위치추정 방법으로 서비스를 제공하기 때문에 게임 사용자의 욕구를 채워주지 못하기 때문이다.

AR 게임의 대표적인 예로 2016년에 만들어진 포켓몬고(Pokemon Go)를 들 수 있다. 이 게임은 GPS를 사용한 AR 게임인데 포켓볼이라는 공을 포켓몬스터라는 물체에 드래그 하여 맞추면 포켓몬스터가 포켓볼에 잡히는 방식이다. 포켓몬고는 GPS를 이용하여 위치를 추정한다. 포켓몬고는 포켓몬스터가 포켓볼에 맞았다는 인식 영역을 넓게 적용하여 실제 위치를 정확하게 잡지 않더라도 게임을 진행할 수 있다. 하지만 가장 큰 문제는 실내에서 위치가 잘못 잡힌다는 것이다. 따라서 포켓몬고는 포켓몬스터를 잡는데 정교한 기술이 필요하지 않아 사용자에게 쾌감을 주기 어렵다는 것이다.

2018년에 만들어진 고스트버스터즈월드 (Ghostbusters World)는 몬스터를 잡기위한 총을 몬스터에게 정확하게 맞춰야만 몬스터를 잡을 수 있다. 포켓몬고보다 높은 정확도를 보여줌으로써 게임 사용자에게 높은 쾌감을 줄 수 있다. 따라서 AR 게임은 위치 추정 정확도가 매우 중요한 게임이라는 것을 알 수 있다. 아래 Fig. 1은 고스트버스터즈월드 게임 중 일부 장면이다.



그림 1. 고스트버스터즈월드 게임
Fig. 1. The ghostbusters world game

실내 위치를 추정하는 방법은 하드웨어를 이용하여 위치를 추정하는 방법과 별도의 위치 측정 하드웨어 없이 위치를 추정하는 방법으로 나눌 수 있다. 하드웨어를 이용하여 위치를 추정하는 방법 중 하나는 실내에 설치된 BLE (Bluetooth Low Energy) 태그를 이용하는 것이다. 블루투스로 실내 공간을 스캔하여 BLE 태그의 수신 신호 세기와 송신 전력을 측정한 후 위치를 파악하는 방법은 10~14 centimeters (cm)의 거리 오차를 나타낸다^[5]. 또 다른 방법으로는 Wireless Fidelity (Wi-Fi) Access Point (AP) 정보를 이용하는 것이다. 이 방법은 AP의 개수와 수식에 따라 위치 추정 정확도가 달라진다는 특징이 있다. 4개의 Wi-Fi AP 정보를 스마트폰의 수신된 신호 강도 표시기 (Received Signal Strength Indicator, RSSI)를 이용하여 받은 후 피타고라스 이론을 사용하여 사용자의 위치를 구하는 방법^[6]은 평균 0.6 m의 거리 오차 평균을 보여준다. 하드웨어를 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 기술은 정확도가 높지만, 하드웨어를 설치해야만 사용 가능하다는 단점이 있다.

이와 반대로 위치 측정 하드웨어 없이 위치를 추정하는 대표적인 방법으로는 컴퓨터 비전이 있다. 컴퓨터 비전에서 사용자 위치를 추정하는 기술은 영상 매칭이 있다. 영상 매칭은 실내 공간의 여러 위치와 다양한 각도에서 찍은 수많은 이미지를 데이터베이스화한 다음, 사용자 위치에서 찍은 사진을 매칭 하는 기법이다^[7]. 그러나 위치 측정 하드

a) 경희대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University)

‡ Corresponding Author : 서택영(Doug Young Suh)

E-mail: suh@khu.ac.kr

Tel: +82-31-201-2586

ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3120-0737

※ This research has been sponsored by the Korea Electric Power Corporation under grant number R18XA02.

· Manuscript received November 10, 2018; Revised December 17, 2018; Accepted January 10, 2019.

웨어 없이 위치를 추정하는 기술들은 그 자체만으로는 위치추정 정확도가 하드웨어로 위치 추정하는 것보다는 떨어지므로 다른 기술과 함께 사용한다면 보다 높은 정확도를 얻을 수 있다^[8].

이 논문은 2장에서 위치 추정하는 방법에 관한 기존 연구 설명할 것이다. 3장에서는 위치를 추정하기 위한 문제의 해를 구하기 위해 사용하는 점들의 얼마나 입체적인지를 측정하는 정도를 정의하고 정확도가 높게 나올 확률을 높여 줄 방법을 제안할 것이다. 4장에서는 3장의 방법을 이용하여 정확한 해를 높은 확률로 얻어낸 실험 결과에 대해서 정리할 것이다. 마지막으로 5장에서 전체 논문에 대한 결론을 분석 및 서술할 것이다.

II. 관련 연구

이 연구에서는 단일 카메라로 위치를 추정한 정확도를 높이는 방법에 대해 서술한다. 위치를 추정하기 위해서 PnP (Perspective-n-Point) 문제의 해를 찾아야 한다. PnP 문제는 Fischler^[9]이 제안하였다. 이 문제는 3D 물체와 이미지 투영 사이의 알고 있는 3D에서 2D 로의 대응점으로부터 캘리브레이션 된 카메라의 위치와 방향을 추정하는 것이다. PnP의 해를 구하는 대표적인 방법으로는 P3P와 EPnP가 있다.

Hao et al.^[10]는 점 3개(P3P)만을 이용하여 위치를 추정한 방법에 대해 견고한 분석을 했다. 그 결과 카메라의 영상 중심 좌표는 위치 오류와는 상관없다는 것을 알아내었고 중심 비율이 증가할수록 위치 파라미터의 최대 오차가 증가한다는 것을 확인했다. 또한, 피사체의 중심점이 카메라와 멀수록 위치 파라미터의 최대 오차가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Hao는 P3P라는 제한적인 상황에 대해서 해를 제안하여 반복적 초깃값의 안정성을 높였는데 본 논문은 제한이 감소한 상황에서 5개 이상의 점을 사용하여 PnP의 해를 구할 수 있는 방법을 제안하였다.

Efficient PnP (EPnP) 방법은 Lepetit et al.^[11]에 의해 제안되었다. EPnP는 n 개의 삼차원 점을 4 개의 가상 제어 점의 가중 합으로 표현하여 알고리즘의 계산 복잡성을 표현하는 O(n)을 줄이는 동시에 추정 정확도를 좋게 유지했

다. 하지만 n=4거나 n=5인 중복된 경우에는 기본 선형화 체계 때문에 정확도가 낮다. 정확성을 향상시키기 위해, Li et al.^[12]는 두 개의 특별한 중단점의 좌표를 추정하고 단 하나의 비선형 제약을 무시하는 또 다른 비반복적 O(n) 해를 제안했다. 점 좌표를 추정하지 않고 잘 알려진 직접 선형 변환 Direct Linear Transformation (DLT) 방법^[13]은 다단계 방법이다. 먼저 투영 행렬을 결정한 다음 교정 매개 변수와 카메라 포즈를 추출하기 때문이다. 보정 된 카메라의 시나리오에서, DLT 방법은 알려진 보정 매개 변수를 간과하기 때문에 상당히 부정확하다. 요약하면, 앞서 언급한 모든 다단계 방법은 주로 비선형 상관관계를 무시하기 때문에 일반적으로 정확성이 떨어진다. 이 논문에서 제시하는 비평면도는 PnP의 n의 값이 5개 이상일 때 사용이 가능하다. 이 방법을 사용하면 해를 구하기 위해 사용하는 점들을 임의로 선택하는 것이 아닌 비평면도 값이 큰 점들의 집합을 이용하게 된다. 따라서 각 논문에서 보여준 결과보다 더 높은 정확도를 얻을 수 있다.

III. 제안

실제 환경에서 카메라를 추정할 때, 데이터에 오차가 존재할 수밖에 없다. 정확한 해를 구하는 경우에는 작은 오차가 생겨도 괜찮지만 본 논문에서 사용하는 알고리즘은 작은 오차에서도 민감하게 반응하기 때문에 오차를 줄여주는 입력을 사용해야 한다. 이 논문에서는 삼차원 표준편차와 비공면도를 도입했다. 표준편차는 삼차원 점들의 거리를 표현하고 비공면도는 점들의 방향에 대한 정보를 가지고 있다. 이 정보를 사용하여 오차를 줄여주는 입력 데이터 선택 방법에 대해 제안한다.

1. 점들의 삼차원 표준편차

n이 6 이상인 점 n개의 입체 분포 정도를 표현하기 위해 각 점의 x , y , z 값에 대한 표준 편차를 구한다. 각 x , y , z 의 표준편차를 이용하여 점 6개의 3차원 표준편차 식을 아래와 같이 제안하였다. 점1(x_1, y_1, z_1), 점2(x_2, y_2, z_2), 점3(x_3, y_3, z_3), 점4(x_4, y_4, z_4), 점5(x_5, y_5, z_5), 점6(x_6, y_6, z_6)이

있다고 하자. 6 점에 대하여 각 x, y, z 좌표에 대한 표준편차를 Equation (1)와 같이 정의한다.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 (x_k - \bar{x})^2} \text{ where } \bar{x} = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 x_k \quad (1)$$

얻어진 x 의 표준편차를 σ_x 라 하고 y 의 표준편차를 σ_y 라 하고 z 의 표준편차를 σ_z 라 한다.

Equation (2)의 산술 기하평균 부등식의 등호 성립 조건은 $x = y = z$ 일 때이다.

$$\frac{x+y+z}{3} \geq \sqrt[3]{xyz} \quad (2)$$

이 부등식에서 착안하여 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 의 값이 일정한 값을 갖고 각자의 값을 최대로 갖는 경우를 표현하고자 삼차원 표준 편차(3DSD)를 Equation (3)으로 정의했다.

$$= \frac{(\sigma_x \sigma_y \sigma_z)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}} \quad (3)$$

3DSD의 값에 따라 삼차원에서 점들의 분포를 원근 투영하여 이차원 영상으로 표현한 것이 Fig. 2이다. Fig. 2(a)의 점들을 보면 세 점이 한 평면처럼 놓여있는 것을 볼 수 있다. 반대로 Fig. 2(b)는 3DSD가 Fig. 2(a)보다 크다. 영상에서 점들의 위치를 보면 입체적인 모습을 띠고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 3DSD가 3차원의 점들의 분산 정도를 표현하는 수식으로 합리적이라고 판단할 수 있다.

2. 비공면도

공면은 점들이 한 평면에 있다는 것을 뜻한다. 점 세 개는 무조건 한 평면을 이루고 이는 공면을 항상 만족한다. 점 10개를 모두 공면으로 만들어서 카메라의 위치를 추정하는

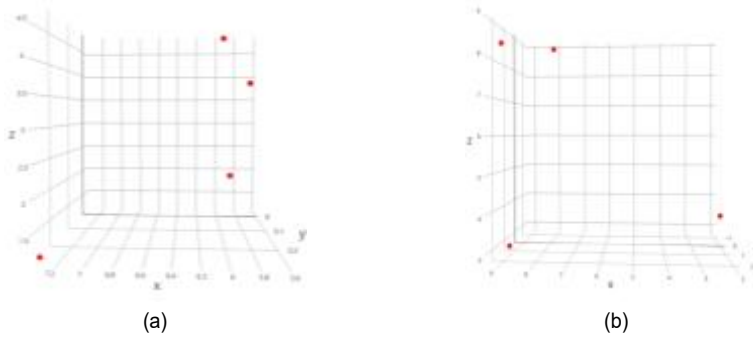


그림 2. 3DSD 값에 따른 점들의 위치 분포
 Fig. 2. Distribution of points position according to 3DSD value: (a) 3DSD = 0.308095; (b) 3DSD = 0.53084

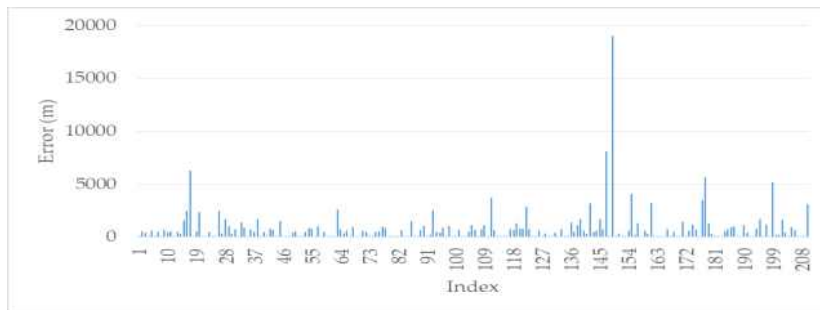


그림 3. 공면 실험 결과
 Fig. 3. A result of a coplanar test

테스트를 진행한다. 실제 카메라의 위치는 $(x, y, z) = (15.27, 0.76, -3.42)$ m로 설정하였다. 그 후 Han et al.^[14] 식으로 카메라 위치를 추정해보면 Fig. 3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 점 10개에서 6개의 점을 랜덤하게 선택하여 테스트해본 결과 카메라의 위치와 계산된 카메라의 위치의 오차는 평균 769 m이다.

$$NCD = \frac{\min h}{3DSD} \quad (4)$$

위의 실험에서 보았듯이 공면한 경우에는 위치추정 정확도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 한 평면 위에 있지 않다는 것은 공면하지 않다고 표현할 수 있다. 본 논문에서는 비공면도를 정의하여 한 평면에 점들이 있지 않다는 정도를 수치화하였고 그 수치에 따라 위치추정 정확도가 어떻게 달라지는지를 분석하였다.

$$\text{거리 오차} = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2 + (z - \hat{z})^2} \quad (5)$$

다음 상황은 Fig. 4를 참고한다. 공간에 점이 6개가 있다고 가정하자. 각 점을 point1, point2, point3, point4, point5, point6이라 하자.

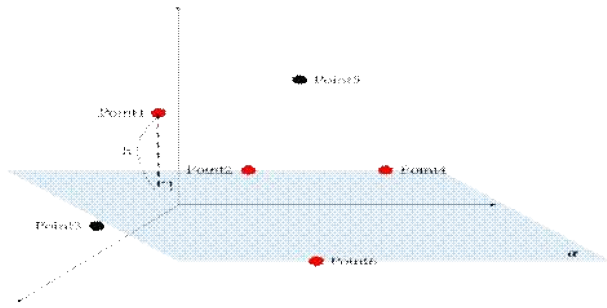


그림 4. 비공면도의 설명 그림

Fig. 4. An illustration of a non-coplanarity degree (Points 2, 4, and 6 are on the same plane, from which distance of Point 1 is h.)

점 6개에서 점 4개를 선택하는 경우의 수는 ${}_6C_4 = 15$ 가지이다. 선택된 4개의 점을 point1, point2, point4, point6라 가정하자. 비공면도를 구하기 위해서는 평면의 방정식을 구해야 한다. 점 3개만으로도 한 평면이 정해지는데 점 4개

에서 나올 수 있는 평면의 가짓수는 4가지이다. 가정된 상황에서 얻어지는 평면은 point1, 2, 4로 만들어지는 평면, point1, 2, 6으로 만들어지는 평면, point1, 4, 6으로 만들어지는 평면, point2, 4, 6으로 만들어지는 평면으로 총 4개의 평면을 얻을 수 있다. 그 중 point2, 4, 6을 선택하여 얻은 평면(α)을 Fig. 5에 표현하였다. 평면을 이루는 세 점을 제외한 나머지 세 점에서 평면 α 까지의 최단거리(h)를 구한다. 이와 같은 방법으로 모든 경우에 대해서 최단 거리를 구하면 ${}_6C_4 \times {}_4C_3 = 60$ 개를 얻을 수 있다. 다양한 h 중 가장 작은 h 의 값을 $\min h$ 로 정의한다. 최종적으로 비공면도(non-coplanarity degree, NCD)는 Equation (4)로 정의된다.

IV. 실험 결과

사용자의 위치를 (X, Y, Z) 라 하고 추정된 위치를 $(\hat{X}, \hat{Y}, \hat{Z})$ 라 하면 위치추정에 대한 오차를 Equation (5)와 같이 공간상의 두 점의 거리로 정의한다.

1. 가상 실험 환경

Fig. 5와 같은 실제 상황을 OpenGL (Open Graphics Library) 가상 환경에서 똑같이 점을 배치하고 테스트한 결과 카메라 추정 값에 차이가 거의 없다는 것을 확인하였다. 하지만 Fig. 5는 공간도 제한적이고 점을 배치하는 것도 제한적이기 때문에 자유로운 실험 환경을 구성하기 위하여

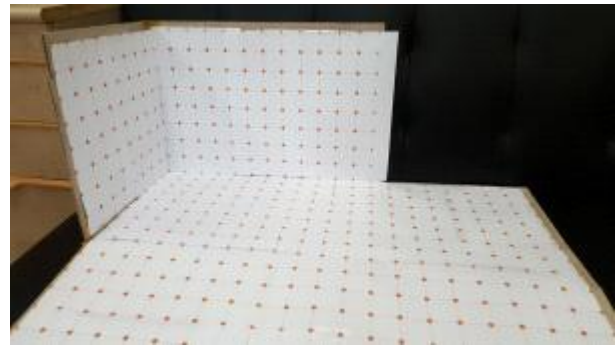


그림 5. 점 선택 알고리즘을 위한 실제 실험 환경

Fig. 5. A real experimental environment for point selection algorithm

OpenGL를 이용하여 테스트 환경을 구현하였다.

원근 투영법의 수학적 모델은 카메라가 핀홀 모델이라는 가정이다. 실제 사용하는 카메라는 완벽한 핀홀 모델이 아니다^[19]. 왜냐하면 렌즈의 왜곡이 있기 때문이다. 어떤 점들을 선택하는 것이 위치추정 정확도를 높이는데 도움을 주는지 확인하기 위해 노이즈가 없는 가상 환경 테스트를 진행하였다.

2. 비평행성 정도에 따른 정확도 분석

OpenGL에서 영상 크기를 너비는 2000, 높이는 1000으로 설정하였다. 카메라의 위치는 (x, y, z) = (16.03, -5.74, 21.37)(m)로 설정하였다. 총 20개의 점을 x, y, z 각각 0~10m 범위에 랜덤하게 생성되도록 설정하였다. 20개의 점을 가상 환경 3차원에 위치시킨 후 가상카메라로 촬영한 2D 영상은 Fig. 6에 있다.

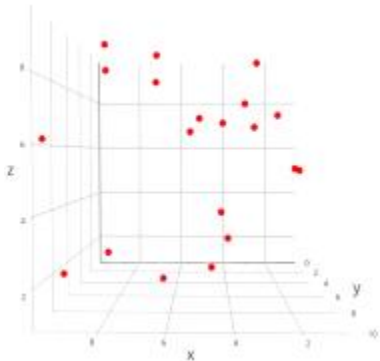


그림 6. OpenGL에서 20개의 점들 위치
 Fig. 6. A picture of 20 points in OpenGL

20개 중 6개를 선택하는 가짓수는 ${}_{20}C_6$ 이다. 이 모든 경우에 대해서 비공면도를 구했다. 그 결과 표 1과 같이 나왔다. 이를 통하여 비공면도가 작으면 작을수록 오차가 큰 경우가 나타날 확률이 크다는 것을 확인할 수 있다. 오차가 1보다 큰 영역을 살펴보면 비공면도가 1.5 미만인 부분에서 많이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 비공면도가 1.5 미만인 부분을 보면 오차가 1보다 작은 영역에 많은 점이 분포해 있는 것을 확인할 수 있다. 즉, 비공면도가 1.5 미만인 경우에 정확하게 위치를 추정하는 경우도 많지만 잘못 위치를 추정하는 확률이 높다는 결론을 내릴 수 있다.

표 1. 오차가 1 이상인 점 데이터 표

Table 1. Table of the point data of error ≥ 1

Range of the non-coplanarity degree	The number of data	The number of error $\geq 1m$	The probability of error $\geq 1m$
3.5~2.0	120	2	0.0166
2.0~1.5	441	13	0.0294
1.5~1.0	1679	75	0.0446
1.0~0.5	7157	592	0.0827
0.5~0.25	8689	1426	0.164
0.25~0	21008	7020	0.334

비공면도의 범위 값이 3.5부터 0까지 오차가 1m 이상일 확률이 점차 증가한다. 따라서 비공면도의 값이 클수록 점들의 삼차원 위치가 입체적으로 분산되어있는 것을 확인할 수 있다. 실제로 응용프로그램에 사용할 때는 다음과 같이 진행한다. 비공면도의 값이 1.5 미만인 점들의 집합을 제외함으로써 위치추정 오차가 큰 경우를 배제한다. 나머지 점들의 집합을 사용하여 위치를 추정한다. 나머지 점들의 집합이 얻어낸 위치 추정 값의 평균을 위치추정 결과로 사용한다. Fig. 6의 경우 위와 같은 방법으로 위치추정을 해보면 카메라의 위치는 (16.03, -5.74, 21.4)m 로 나온다. 이는 실제 카메라의 위치와 거리 오차가 0.0776m이다.

3. 거리에 따른 정확도 분석

위에서 설명한 위치추정 방법으로 추가 테스트를 진행했다. 10개의 점을 Fig. 7과 같이 가상 환경 공간에 배치한다.

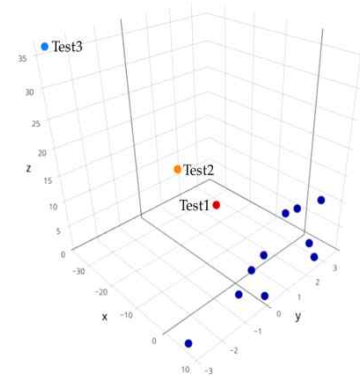


그림 7. OpenGL에서 10개의 점과 카메라의 위치
 Fig. 7. A position of 10 points and camera in OpenGL

보라색은 점들이다. 빨간색 점은 test1에서 실제 카메라가 위치한 곳이다. 주황색 점은 test2의 실제 카메라 위치다. 파란색 점은 test3에서 실제 카메라 위치이다.

카메라의 위치를 바꿔가며 테스트를 진행하였다. 카메라의 삼차원 위치는 표 2에 있다. 카메라와 점들과의 거리 계산은 점들의 평균 위치와 카메라의 위치 차이로 하였다. 이 값은 표 2에 정리했다.

표 2. 거리에 대한 테스트들의 정보
Table 2. Information of tests about distance

Test	Real Camera position x (m)	Real Camera position y (m)	Real Camera position z (m)	Distance between points' position and real camera position
Test1	-4.89	-0.174	13.4	14.1 (m)
Test2	-12.2	-0.804	19	23.3 (m)
Test3	-35.5	-2.79	36.2	52.4 (m)

10개의 점 중 6개의 점을 택해서 만드는 경우의 수가 210개이다. 이 중 비공면도의 값이 1.5 이상인 데이터 집합을 사용하여 추정된 카메라의 위치 추정 값들의 평균을 최종 카메라 추정 위치로 정하였다. 카메라의 거리가 멀어질수록 거리오차가 표 3과 같이 거리 오차가 급증하는 것을 확인할 수 있다.

표 3. 거리에 대한 테스트들의 결과
Table 3. Results of tests about distance

Test	Estimated Camera position x (m)	Estimated Camera position y (m)	Estimated Camera position z (m)	Distance Error
Test1	-4.91	-0.173	13.5	0.0232 (m)
Test2	-12.5	-0.882	19.1	0.327 (m)
Test3	-40.6	-3.43	39.9	6.25 (m)

따라서 본 논문에서 제안한 방법은 카메라와 삼차원 점들 사이의 거리가 15m 이내인 상황에 사용하는 것이 추정 카메라 위치의 거리 오차를 줄일 수 있다. 15m 이내의 환경에서 테스트하게 될 때, 하드웨어를 사용하여 위치를 추정하는 방법보다 더 높은 정확도를 얻을 수 있다. 하드웨어를 사용하는 방법과 제안하는 방법의 위치추정 정확도와 사용 범위를 표 4로 정리하였다.

표 4. 하드웨어 방법과 제안하는 방법의 비교
Table 4. A comparison of hardware method and proposed method

Method	Available Range	Distance Error	Indoors/Outdoors
GPS	10 m	15 m	Outdoors
BLE Tag	3.5 m	0.10 ~ 0.14 m	Indoors
Wi-Fi	5 ~ 15 m	Average 0.6 m	Indoors
Our method	15 m	0.1 m	Indoors/Outdoors

본 논문에서 제안하는 방법은 삼차원 공간 정보가 존재한다면 실내, 실외 구분 없이 사용할 수 있다. 또한, 하드웨어 설치비용이 필요 없고 하드웨어를 사용한 방법들보다 정확도가 더 높고 사용 가능한 범위가 넓다.

V. 결론

본 논문은 위치를 추정하는 다양한 방법 중 컴퓨터 비전의 카메라를 사용하는 방법을 위치 추정 방법으로 선택했다. 본 논문은 단일 카메라를 이용하고 PnP 문제의 해를 통해 위치 추정한다. 그런데 이 방법은 삼차원 위치 정보를 미리 알고 있어야 한다. 그리고 PnP의 수학적 모델은 핀홀 카메라를 기준으로 만들어졌다. 실제 카메라를 이용할 때에는 렌즈의 왜곡을 보정해줘야 한다. 하지만 이 보정 또한 카메라 내부 파라미터를 추정하는 것이기 때문에 오차가 발생한다. 정확도를 높이는 방법에 대해 추정 카메라 위치와 실제 카메라 위치의 거리 차이의 원인을 정확하게 파악하기 위해 다른 노이즈를 배제한 가상 환경에서 테스트를 진행하였다. 그리고 비공면도를 만들어 3차원에 있는 점들이 얼마나 독립적으로 공간을 차지하고 있는지 계산했다. 그 결과 비공면도 값이 커질수록 위치추정 정확도가 높게 나올 확률이 높다는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 비공면도 값을 사용하여 위치를 추정하는 방법은 다음과 같다. 비공면도 값이 1.5 미만인 점들의 집합을 제거한다. 나머지 점들의 집합을 통하여 얻은 위치 추정 값들을 평균을 내서 위치를 추정하면 위치추정 정확도를 높일 수 있다. 정확도가 중요한 응용프로그램일 경우 이 방법을 다른 PnP 문제의 해법과 함께 사용하게 된다면 더 높은 정확도를 얻을 수 있다. 제안하는 방법을 이용하여 많은 테스트를 진행하

였고 그 결과 이 방법을 통해 15m 내의 환경에서 사용하는 것이 높은 정확도를 얻을 수 있고 거리오차는 10cm 이내라는 결과를 얻었다. 이 결과는 하드웨어를 이용하는 방법보다 정확도가 높고 사용 가능 범위도 적당히 넓다는 것을 보여준다. 렌즈의 왜곡이라는 노이즈를 포함했을 때 점들을 어떤 방식으로 선택하는 것이 좋을지에 대한 추가적인 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] F. Wei, L. Zheng, H. Deng, and H. Zhang, "Real-time motion tracking for mobile augmented/virtual reality using adaptive visual-inertial fusion," *Sensors* Vol.17, No. 5, p.1037, May 2017, doi: 10.3390/s17051037.
- [2] Y. Ma, X. Wu, G. Yu, Y. Xu, and Y. Wang, "Pedestrian detection and tracking from low-resolution unmanned aerial vehicle thermal imagery," *Sensors*, Vol.16, No. 4, p.446, March 2016, doi: 10.3390/s16040446.
- [3] Ming, M, Song, Q, Y. Gu and Z. Zhou, "Use of Magnetic Field for Mitigating Gyroscope Errors for Indoor Pedestrian Positioning," *Sensors*, Vol.18, No.8, p.2592, August 2018, doi: 10.3390/s18082592.
- [4] J. Bang, D. Lee, Y. Kim and H. Lee, "Camera Pose Estimation Using Optical Flow and ORB Descriptor in SLAM-Based Mobile AR Game," *2017 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, Busan, Korea, pp.1-4, 2017, doi: 10.1109/PlatCon.2017.7883693.
- [5] Y. Alexander, N. Lo and D. Winata, "An Indoor Positioning-Based Mobile Payment System Using Bluetooth Low Energy Technology," *Sensors*, Vol.18, No.4, p.974, March 2018, doi: 10.3390/s18040974.
- [6] S. Benfano, I. Faahakhododo and F. Gunawan, "Increasing the accuracy of distance measurement between access point and smartphone," *11th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS)*, Yogyakarta, Indonesia, pp.1-6, 2016, doi: 10.1109/KICSS.2016.7951423.
- [7] H. Robert, G. Schroth, S. Hilsenbeck, F. Schweiger and E. Steinbach, "Virtual reference view generation for CBIR-based visual pose estimation," *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, Nara, Japan, pp.993-996, 2012.
- [8] L. Wen, D. Wei, Q. Lai, X. Li and H. Yuan, "Geomagnetism-Aided Indoor Wi-Fi Radio-Map Construction via Smartphone Crowdsourcing," *Sensors*, Vol.18, No.5, p.1462, May 2018, doi: 10.3390/s18051462.
- [9] F. Martin A and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Communications of the ACM* Vol.24, No.6, pp.381-395, June 1981, doi: 10.1145/358669.358692.
- [10] H. Yingming, F. Zhu, J. Ou, Q. Wu, J. Zhou and S. Fu, "Robust analysis of P3P pose estimation," *2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Sanya, China, pp.222-226, 2007.
- [11] L. Vincent, F. Moreno-Noguer, P. Fua, "Epnnp: An accurate O(n) solution to the pnp problem," *International journal of computer vision* Vol.81, no.2, pp.155-166, February 2009, doi: 10.1007/s11263-008-0152-6.
- [12] S. Li, C. Xu, and M. Xie, "A robust O(n) solution to the perspective-n-point problem," *IEEE TPAMI*, Vol.34, No.7, pp.1444 - 1450, July 2012, doi: 10.1109/TPAMI.2012.41.
- [13] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge Univ. Press, 2nd edition, 2003.
- [14] S. Han, Y. Lee, J. Yun, C. Han, D. Lee and D. Suh, "Perspective Projection Algorithm Enabling Mobile Device's Indoor Positioning," *Journal of Computer and Communications*, Vol.6, No.1, p.159, December 2017, doi: 10.4236/jcc.2018.61017.

저 자 소 개

한 서 우



- 2014년 3월 ~ 2018년 8월 : 경희대학교 전자공학과 학사
- 2018년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2427-4669>
- 관심분야 : 인공지능, 영상처리, 컴퓨터비전

저 자 소 개



서 덕 영

- 1976년 3월 ~ 1980년 2월 : 서울대학교 원자핵공학과 학사
- 1984년 1월 ~ 1985년 6월 : Georgia Tech 핵공학과 석사
- 1985년 6월 ~ 1990년 6월 : Georgia Tech 전자공학과 박사
- 1990년 9월 ~ 1992년 3월 : 상공부 생산기술연구원 HDTV 연구개발단 선임연구원
- 1992년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수
- 1996년 7월 ~ 현재 : MPEG 표준화 회의 한국대표
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-3120-0737>
- 주관심분야 : 컴퓨터게임, 적정기술