JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 24, No. 7: 866~872, Jul. 2020

ILOCAT: 실내 위치 기반 서비스를 위한 3차원 위치 획득 인터랙티브 GUI Toolkit

김석환*

ILOCAT: an Interactive GUI Toolkit to Acquire 3D Positions for Indoor Location Based Services

Seokhwan Kim*

*Senior Research Engineer, Robot Business Division, Hanwha Precision Machinery, Seongnam, 13488, Korea

요 약

실내 위치 기반 서비스는 사람과 물체 간의 거리에 기반한 서비스를 제공한다. 이러한 실내 위치 기반 서비스는 최근 키넥트와 같은 저렴한 가격의 깊이 센서를 활용하여 구현하는 경우가 증가하고 있다. 다수의 깊이 센서들은 사람의 위치를 트랙킹하는 기능을 기본으로 제공한다. 하지만 물체의 위치는 직접 수동으로 측정해야 한다. 물체의 3차원 위치를 획득하기 위해서는 3차원 인터랙션이 필요한데 이는 일반 사용자들에게는 어렵다는 단점이 있다. 반면에 일반 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 GUI (Graphical User Interface) 의 경우에는 3차원 위치 획득이 제한된다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고자 개발된 ILOCAT (Interactive LOcation Context Authoring Toolkit)을 제안한다. ILOCAT 은 일반 사용자들이 실공간에서 GUI를 활용하여 쉽게 물체의 3차원 위치를 취득할 수 있도록 설계되었다. 본 논문은 ILOCAT 의 디자인 및 구현을 상세히 설명한다.

ABSTRACT

Indoor location-based services provide a service based on the distance between an object and a person. Recently, indoor location-based services are often implemented using inexpensive depth sensors such as Kinect. The depth sensor provides a function to measure the position of a person, but the position of an object must be acquired manually using a tool. To acquire a 3D position of an object, it requires 3D interaction, which is difficult to a general user. GUI(Graphical User Interface) is relatively easy to a general user but it is hard to gather a 3D position. This study proposes the Interactive LOcation Context Authoring Toolkit(ILOCAT), which enables a general user to easily acquire a 3D position of an object in real space using GUI. This paper describes the interaction design and implementation of ILOCAT.

키워드 : 실내, 위치, 서비스, 유비쿼터스, IoT

Keywords : Indoor, Location, Service, Ubiquitous, IoT

Received 27 May 2020, **Revised** 2 June 2020, **Accepted** 13 June 2020

* **Corresponding Author** Seokhwan Kim (E-mail: kim@seokhwan.net Tel: +82-70-7147-7403)
Senior Research Engineer, Robot Business Division, Hanwha Precision Machinery, Seongnam, 13488, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.7.866 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

마크와이저가 주창한 유비쿼터스 컴퓨팅부터 최근의 인터넷 기반 IoT 서비스들은 사람과 물체 사이의 거리를 측정하고, 그 거리에 기반한 서비스를 제공한다. 이러한 위치 기반 서비스는 크게 GPS (Global Positioning System) 와 같은 기술을 활용하는 실외 위치 기반 서비스와 특정 건물 등 실내를 대상으로 하는 실내 위치 기반 서비스로 나누어질 수 있다[1]. 본 연구는 이 중 실내 위치 기반 서비스에서 물체의 위치 확보를 도와주는 ILOCAT(Interactive LOcation Context Authoring Toolkit) 시스템을 제안한다.

실내 위치 기반 서비스는 많은 유용한 서비스를 제공한다. 예를 들어, 박물관에서 관람객이 전시물에 가까이 가면 관련된 설명을 자동으로 보여주거나, 환자가 약통 주변에 있는 경우 어떤 약을 언제 복용해야 하는지 미리 알려주는 서비스와 같은 것이 그 예시들이다[2, 3].

실내 위치 기반 서비스의 구현에는 사용자의 위치 정보와 사물의 위치 데이터베이스 정보가 필요하다. 이를 활용하여 사용자와 사물 간의 거리를 측정할 수 있고, 그 거리에 기반한 서비스의 제공이 가능하다. 이러한 서비스의 구현은 WiFi, 비콘 등과 같은 통신 인프라를 활용하는 비영상 방식과 Microsoft 의 키넥트와 같은 깊이 센서(Depth Sensor)를 활용하는 영상 방식이 존재한다 [1, 4, 5].

키넥트와 같은 깊이 센서는 실내에서 사용자 위치 추적과 같은 필수 기능을 SDK(Software Development Kit)를 통해 기본으로 제공한다. 반면에 사물의 위치 데이터베이스 축적은 여전히 수동으로 작업하고 있다. 이를 위하여 여러 도구가 개발되었는데, 다수의 연구가 3차원 가상 환경을 제공한다[6]. 가상 환경은 시각적으로 직관적인 장점이 있지만, 사용자 인터랙션을 위해서 3차원 인터페이스를 사용해야 하는 단점이 있다. 기존 연구결과에서 보이듯이 3차원 인터페이스는 일반 사용자에게 익숙하지 않아 인터랙션이 어렵다[7].

최근에는 기계학습을 활용하여 자동으로 데이터베이스를 축적하는 방법도 소개되고 있다[8]. 하지만 기계학습 역시 학습 데이터를 제작하기 위해서 사람이 수동으로 사물의 정보를 입력해야 한다. 그리고 대량의 학습 데이터 축적을 위해 대중참여(crowdsourcing) 방식도 사용하는데, 이 경우에는 더욱이 일반 사용자들이 좀 더 쉽게 사물의 3차원 위치 및 이름을 입력할 수 있는 인터페이스가 필요하다[8].

본 연구에서는 실내 위치 기반 서비스를 위한 사물의 위치 데이터베이스 축적을 쉽고 간단하게 도와주는 ILOCAT를 제안한다. ILOCAT 시스템은 여러 개의 키넥트 센서를 사용하여 3차원 공간을 재현하고, 사물의 3차원 위치 획득을 위해 2차원 이미지 위에 한 점을 선택한 후 텍스트 필드에 사물 이름을 입력하는 데스크톱 PC에서 널리 사용되는 인터랙션 방식을 사용한다. 따라서 일반 사용자들이 ILOCAT을 활용하여 직관적인 3차원 실제 공간을 활용하면서도 복잡한 3차원 인터랙션 없이 사물의 3차원 위치의 획득이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 인터랙션 기법 중심으로 관련 연구를 설명하고, 3장에서 ILOCAT의 주요 요구사항 및 설계를 제시한다. 4장에서 ILOCAT의 구현에 대해 자세히 설명하고 5장에서 결론 및 향 후 연구 방향을 제시한다.

Ⅱ. 관련 연구

본 논문에서 제안하는 ILOCAT 은 사용자들이 쉽게 실내에서 사물의 3차원 위치를 획득하는 것을 목적으로 설계되었다. 따라서 본 장에서는 실제 실내 공간에서 사용 가능한 사물 위치 획득 관련 인터랙션 기법 중심으로 기술한다.

2.1. 다이렉트 포인팅

어떤 물체가 있을 때, 해당 물체가 있는 위치를 어떤 방법을 통해 직접 지칭하여 (포인팅) 선택하는 것을 다이렉트 포인팅 이라고 한다. 대표적으로 레이저 포인터 등을 활용한 인터페이스를 예로 들 수 있다. 대형 디스플레이 혹은 로보틱스 등 다양한 분야에서 많이 사용된다[9].

다이렉트 포인팅 방식의 가장 큰 장점은 쉽다는 점이다. 사용자는 별도의 교육 없이도 쉽게 사용할 수 있다. 단점으로는 어떤 물체 가려짐(occlusion)이 발생하는 경우 사용이 제한된다는 점과 방향을 제시하는 것은 쉽지만 거리의 표현이 필요한 경우에는 추가적인 수단(modality)이 필요하다는 것이다.

2.2. 모바일 증강현실 (Mobile AR) 응용

스마트폰 등에 장착된 카메라를 통해 어떤 물체를 촬영한 후, 영상처리를 통해 인식하는 방법으로 물체의 위치 획득이 가능하다[10]. 스마트폰으로 촬영하는 것은 현재 대부분의 이용자가 쉽게 실행할 수 있는 인터랙션이다. 따라서 다이렉트 포인팅과 마찬가지로 별도의 교육없이 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 모바일 증강현실 역시 물체 가려짐 문제로부터 완벽히 자유로울 수 없고, 모바일 디바이스의 카메라가 물체를 정확히 촬영할 수 있도록 물리적으로 근접해야 한다는 단점이 있다. 가령 사용자와 물체 사이에 어떤 장애물이 있는 경우 제한적일 수 있다. 또한 증강현실의 특성으로 영상처리에 의존하게 되는데, 이는 영상처리의 신뢰성이라는 잠재적 문제를 가질 수 있다.

2.3. 가상 공간 활용

어떤 실제의 실내 공간을 정교하게 모델링한 3차원 가상공간이 존재할 때, 사용자는 이 가상공간을 탐색하며 물체의 위치 획득이 가능하다[6]. 이 방법은 사용자가 실제와 동일한 공간을 탐색하며 직관적으로 사물의 3차원 위치를 획득할 수 있다.

하지만 정교한 3차원 공간 모델링은 많은 비용이 수반되고, 일반 사용자들은 익숙하지 않은 3차원 인터랙션을 활용해야 한다는 단점이 있다.

2.4. GUI를 활용한 취득

GUI(Graphical User Interface)를 통해 취득하는 방법 중 많이 사용하는 방법은 천정에 설치한 카메라를 활용하는 방법이다[11, 12]. 천정에 카메라를 설치하면 자연스럽게 물체 가려짐 문제를 최소화할 수 있고, 천정에서 촬영한 (top-view) 2차원 영상은 마치 지도와 같은 친숙한 환경을 제공할 수 있다.

이렇게 천정에 설치된 카메라의 사진을 활용하는 GUI 방식은 물체 가려짐 문제로부터 어느 정도 자유로우면서 또한 GUI 소프트웨어를 활용하기 때문에 사용자가 직접 물체에 근접해야할 필요가 없다는 장점이 있다. 그리고 2차원 화면에서 사용자에게 익숙한 마우스, 키보드 등의 입력 장치를 활용할 수 있다는 장점도 있다.

하지만 GUI는 기본적으로 2차원 기반이기 때문에 직접적으로 3차원 입력을 할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 ILOCAT은 키넥트의 점 구름을 활용하여 추가 비용없이 2.3 절에서 설명한 가상공간의 장점(직관적인 3차원 공간 활용)을 제공하고, GUI 의 장점인 쉬운 2차원 인터랙션을 통해 3차원 위치의 획득이 가능하도록 설계되었다. 먼저 다음 장에서는 ILOCAT의 주요 요구사항 및 시스템 설계를 설명한다.

Ⅲ. ILOCAT 주요 요구사항 및 시스템 설계안

본 장에서는 주요 요구사항을 제시하고, 구현에 핵심이 되는 설계안(案)을 제시한다.

3.1. 3차원 위치 획득

- **요구사항**: ILOCAT 은 앞서 이야기 하였듯이 위치 기반 서비스를 위한 데이터베이스 축적을 목적으로 한다. 이러한 위치 기반 서비스는 실제의 3차원 공간에서 이루어지기 때문에 3차원 위치 획득이 가능해야 한다.
- **설계안**: ILOCAT은 키넥트 센서를 활용하여 구현한다. 키넥트 센서의 깊이 데이터는 3차원 데이터로 변환이 가능하다. 시스템은 변환된 3차원 데이터를 3차원 위치로 활용한다.

3.2. 사용자 친화 인터랙션

- **요구사항**: 일반적으로 물체의 3차원 위치를 확보하기 위해서는 3차원 콘텐츠와의 인터랙션이 필요하다. 하지만 상술한 것과 같이 3차원 인터랙션은 익숙하지 않은 사용자에게 어려움이 수반된다. ILOCAT을 통해 사용자는 별도의 3차원 인터랙션 없이 2차원 데스크톱 인터랙션만으로 3차원 위치 획득이 가능해야 한다.
- **설계안**: 키넥트 카메라는 RGB 영상을 제공한다. 사용자는 RGB 영상에서 마우스 클릭을 활용하여 물체를 선택한다. 이 때 시스템은 RGB 영상에 클릭된 픽셀에 사상(mapping)되는 깊이 픽셀을 추출하고 이를 3.1에 기술한 것과 같이 3차원 위치로 변경한다.

3.3. 직관적 가상환경 제공

- **요구사항**: 실제 공간을 모사한 가상환경은 사용자가 이미 보유하고 있는 공간 기억력(spatial memory)을 활용할 수 있고, 이는 인터페이스 활용에 유익하다[13]. 따라서 ILOCAT은 사용자가 직관적으로 사용할 수 있는 3차원 가상환경을 제공해야 한다.

• **설계안**: 3.1과 3.2의 설계안이 구현되면 시스템은 어떤 컬러 픽셀에 사상되는 3차원 데이터를 보유한다. 이러한 컬러 정보와 3차원 데이터 정보를 합성하여 컬러 점 구름 데이터를 생성하고 이를 가상환경 제공에 활용한다.

```
1  Let x, y be the location of Raw Depth Pixel
2
3  if (Raw Depth Pixel[x][y] is valid and a Mapped RGB pixel exists):
4      <Color R, G, B> = GetMappedRGBColor (x, y)
5      <3D point X, Y, Z> = ConvertDepthTo3DPt(Raw Depth Pixel[x][y])
6      RGB Mapped Point Cloud[x][y] = <Color R, G, B>, <3D point X, Y, Z>
7      Depth Mapped RGB Image[x][y] = <Color R, G, B>
8
9  function MouseClickEventHandler (clicked point x, y):
10     return <3D point X, Y, Z> of RGB Mapped Point Cloud[x][y]
```

Fig. 2 Pseudocode to generate RGB Mapped Point Cloud and Depth Mapped RGB Image. Line 9-10 explains how the interaction is implemented.

Ⅳ. ILOCAT 시스템 및 인터랙션 구현

그림 1은 위에 설명한 요구사항 및 설계안을 구현한 ILOCAT 시스템의 전체 구조를 보여준다. ILOCAT 구현의 핵심은 깊이 데이터의 3차원 데이터 변환(3.1의 설계안), RGB 픽셀과 깊이 데이터의 사상(3.2의 설계안), 3차원 컬러 점 구름 생성(3.3의 설계안) 이다. 본 장에서는 각 과정 및 인터랙션 구현에 대해 자세히 설명한다.

4.1. 기본 데이터 (Raw Data Set)

키넥트 카메라로부터 별도의 처리 없이 캡쳐한 원본 데이터(Raw Data Set)를 보면 Raw RGB Image, Raw Depth Image 으로 이루어져 있다. ILOCAT 시스템은 Microsoft Kinect SDK를 활용하여 해당 데이터를 캡쳐하였다.

4.2. Mapped Data Set 생성

그림 2는 그림1을 조금 더 구체화한 의사코드(Pseudocode) 이다. 본 절에서는 그림 1 및 그림 2를 활용하여 그림 1에 보이는 RGB Mapped Point Cloud와 Depth Mapped RGB Image 의 생성을 자세히 설명한다.

그림 1의 Raw Data Set 을 활용하여 Mapped Data Set 을 생성하는 첫 번째 과정은 Raw Depth Image 의 깊이 값의 유효 여부 판단이다. 깊이 값의 유효함은 두 가지 판단 기준이 존재하는데, 하나는 깊이 값이 유효한 3차원 포인트로 변환 가능한지의 여부이고 다른 하나는 깊이 값에 해당하는 컬러 정보가 존재하는지의 여부이다.

구체적으로 키넥트 버전 2의 깊이 데이터는 16 비트의 해상도를 사용한다. (즉, 최대 값 65535) 따라서 측정된 깊이 값이 16비트의 부호없는 정수의 범위 안에 있는 경우 유효한 값으로 간주할 수 있다. 이 경우에 유효한 3차원 포인트의 변환이 가능하다. 또한 키넥트 버전 2의 깊이 영상은 512 X 424의 해상도를 가지고 있고, RGB 영상의 경우 1920 X 1080의 해상도를 갖고 있다. 따라서 깊이 데이터와 RGB 이미지는 1:1 관계가 아니기 때문에 어떤 깊이 픽셀은 이에 사상되는 RGB 픽셀이 존재하지 않을 수 있다. 그림 2의 라인 3은 깊이 값의 유효 여부와 사상되는 컬러 정보가 Raw RGB Image 에 존재하는지를 검사하는 코드이다.

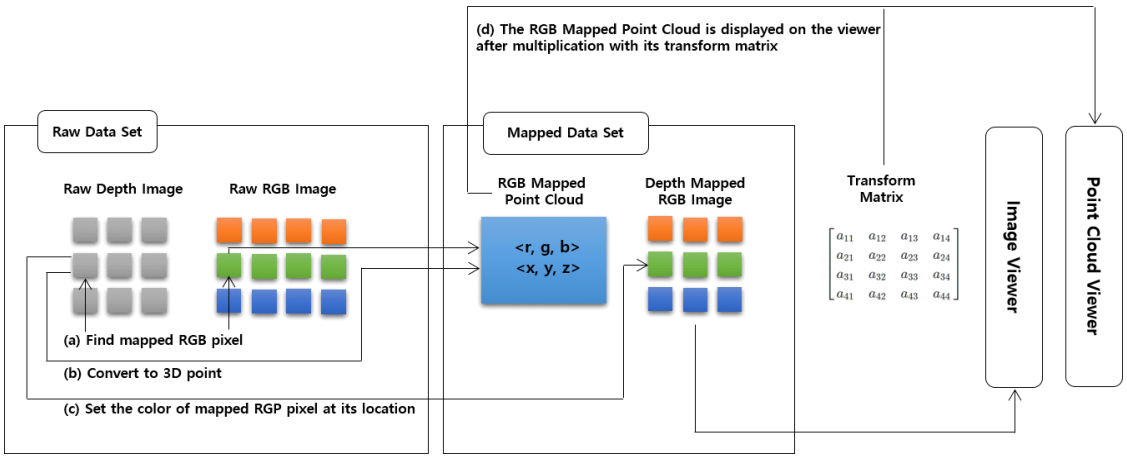


Fig. 1 Process of Generating the RGB Mapped Point Cloud and the Depth Mapped RGB Image from Raw Depth Image and Raw RGB Image

유효한 픽셀에 대해서는 그림 2의 라인 4와 같이 사상되는 RGB 컬러를 찾는다. 그림 1(a)는 이 과정을 그림으로 보여준다. 그리고 그림 2의 라인 5와 같이 깊이값을 3차원 포인트로 변환한다. 그림 1(b)는 이 과정을 그림으로 보여준다.

본 연구에서 개발한 프로토타입은 각각에 대해 Kinect SDK에서 제공하는 “MapDepthFrameToCameraSpace”와 “MapDepthFrameToColorSpace” 메소드를 활용했다.

그림 2의 라인 6 - 7 은 이렇게 생성된 데이터를 활용하여 RGB Mapped Point Cloud 및 Depth Mapped RGB Image를 생성하는 것을 보여준다. 먼저 라인 6은 RGB 컬러와 3차원 포인트 값을 함께 저장하여 RGB Mapped Point Cloud 라는 3차원 점 구름 데이터를 생성한다. 라인 7은 깊이 픽셀에 사상되는 RGB 컬러를 저장하여 Depth Mapped RGB Image를 생성한다. 그림 2(c)는 이 과정을 그림으로 보여준다.

이 과정을 모든 카메라의 깊이 픽셀에 적용하면 복수의 RGB Mapped Point Cloud 및 Depth Mapped RGB Image가 생성되는데, RGB Mapped Point Cloud 는 미리 계산된 변환 행렬 (Transform Matrix)을 적용하여 합성한 뒤 그림 1의 Point Cloud Viewer 에 보여준다. 그림 1(d)가 이 과정을 보여준다.

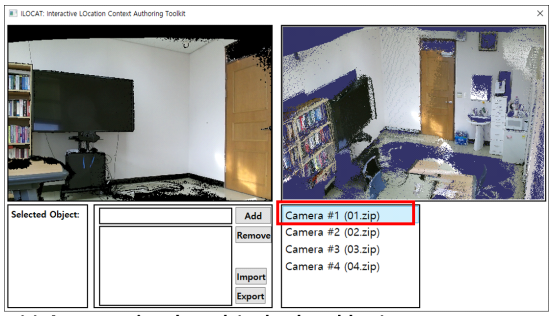
4.3. 인터랙션 구현

생성된 RGB Mapped Point Cloud 데이터와 Depth Mapped RGB Image 는 모두 깊이 픽셀의 x, y 위치를 첨자(index)로 사용하는 2차원 배열에 저장된다(그림 2의 라인 6, 7). 따라서 사용자가 마우스를 통해 2차원 영상(즉, Depth Mapped RGB Image)을 클릭하면, 클릭된 x, y 위치 값을 사용하여 이에 상응하는 RGB Mapped Point Cloud 의 3차원 정보의 획득이 가능하다. 그림 2의 라인 9 - 10의 함수 “MouseClickEventHandler”는 이를 보여준다.

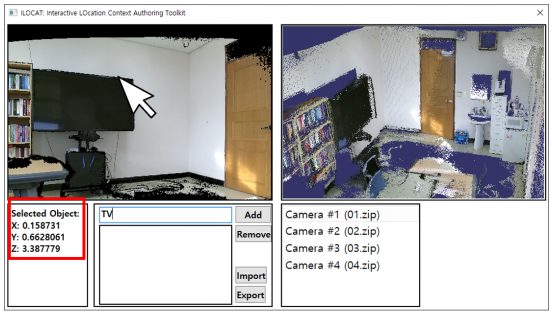
4.4. 구현 결과

그림 3은 위에 설명한대로 구현한 ILOCAT의 화면 및 인터랙션 과정을 보여준다. 사용자는 익숙한 키보드 마우스 인터페이스를 사용하여 물체의 3차원 위치 획득이 가능하다.

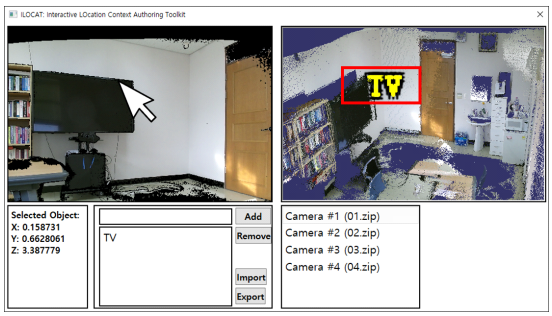
그림 3에 보이는 것과 같이 화면 구성은 왼쪽에는 2차원 영상이 보이고, 오른쪽에는 3차원 컬러 점 구름 공간이 보인다. 3차원 점 구름 공간은 4.2에서 설명한대로 그림 2의 라인 6에서 생성된 데이터를 보여준다(그림 1의 Point Cloud Viewer).



(a) A camera is selected (red colored box), and the corresponding image is shown on left pane.



(b) After a point on the left pane is clicked (white cursor), its corresponding location is shown (red colored box)



(c) After its name is input and “Add” button is clicked, the name is added on the list as well as on the point cloud on the right pane. (red colored box)

Fig. 3 Screen shots of user interaction on ILOCAT

사용자가 그림 3(a)에 보이는 것과 같이 오른쪽 아래 화면의 리스트에 존재하는 카메라 중 하나를 선택하면 왼쪽 화면에는 해당 카메라의 2차원 컬러 이미지가 보인다. 이 2차원 컬러 이미지는 4.2절에서 설명한 것과 같이 깊이 데이터와 RGB 이미지의 픽셀을 맵핑한 이미지

이다. 따라서 그림 3(b)에 보이듯이 왼쪽 화면의 컬러 이미지 위에 사물을 선택하면 클릭된 지점에 상응하는 3차원 정보의 획득이 가능하다. 추가로, 그림의 검은 부분은 깊이 정보 또는 RGB 픽셀 정보의 사상이 존재하지 않는 경우이다. 그림 3(c)에 보이듯이 사물 이름 입력란에 이름을 넣고, 추가(Add) 버튼을 클릭하면 오른쪽의 실제 공간과 동일한 점 구름 영상 위에 지정한 사물의 이름이 그 위치에 나타난다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구

본 논문은 여러 개의 키넥트 카메라를 활용하여 일반 사용자들이 쉽게 실내의 사물 위치 데이터베이스(사물의 이름 및 3차원 위치 정보)를 축적할 수 있는 ILOCAT 인터페이스의 설계 및 구현을 제시하였다. ILOCAT은 실내에서 위치 기반 서비스를 위한 주요 요소인 사물의 위치 데이터베이스 축적을 일반 사용자들이 쉽게 사용할 수 있는 인터페이스를 제안하고, 또 인터페이스를 가능케 하는 하나의 구현 방법을 제시했다. 이 방법을 통해 관련 연구들은 대중참여와 같이 일반 사용자들이 참여가 필요한 환경에서 더욱 효과적으로 사물의 위치 데이터베이스를 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 여러 개의 깊이 카메라를 활용하였는데, 각 카메라의 3차원 공간을 단일 공간으로 합성하는 과정(즉, 그림 2의 Transform Matrix 추출)은 사전에 완료된 것으로 간주하였다. ILOCAT은 향 후 이 부분에 자동화 알고리즘을 적용하거나 사용자가 쉽게 편집할 수 있는 기능의 추가를 계획하고 있다. 이 부분이 완료되면 관련 연구자들은 더욱 쉽게 ILOCAT을 활용하여 위치 기반 서비스의 프로토타입 개발이 가능할 것이다.

REFERENCES

[1] M. Kim, D. Kim, J. Hwang and B. Chang, “Implementation of Location-Based Smart Campus and Class Guide System Using Beacon,” *Journal of Korea Contents Association*, vol. 18. no. 2, pp. 419-426, 2018.

[2] M. Vochin, A. Vulpe, G. Scuicu and L. Boicescu, “Intelligent Displaying and Alerting System Based on an Integrated Communications Infrastructure and Low-Power Technology,” *World Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 135-141, 2017.

[3] J. Lundell, J. Kimel, T. Dishongh, T. Hayes, M. Pavel and J. Kaye, “Why Elders Forget to Take Their Meds: A Probe Study to Inform a Smart Reminding System,” *Assistive Technology Research Series*. vol. 19, pp. 98-105, 2006.

[4] J. Paek, J. Ko and H. Shin, “A Measurement Study of BLE iBeacon andGeometric Adjustment Scheme for Indoor Location-BasedMobile Applications,” *Hindawi Mobile Information Systems*, vol. 2016, Article ID 8367638, 2016.

[5] S. Kim, S. Takahashi and J. Tanaka. “A location-sensitive visual interface on the palm: interacting with common objects in an augmented space,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 19, no. 1, pp. 175 – 187, 2015.

[6] S. Helal, W. Mann, H. El-Zabadani, J. King, Y. Kaddoura and E. Jansen, "The Gator Tech Smart House: a programmable pervasive space," *IEEE Computer*, vol. 38, no. 3, pp. 50-60, 2005.

[7] K. Pietroszek, L. Tahai, J. R. Wallace and E. Lank, "Watchcasting: Freehand 3D interaction with off-the-shelf smartwatch," *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 172-175, 2017.

[8] A. Dai, A. X. Chang, M. Savva, M. Halber, T. Funkhouser and M. Nießner, "ScanNet: Richly-Annotated 3D Reconstructions of Indoor Scenes," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2432-2443, 2017.

[9] Gualtieri, M., Kuczynski, J., Shultz, A. M., Ten Pas, A., Platt R. and Yanco, H. Open world assistive grasping using laser selection, *The International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4052-4057. 2017.

[10] E. S. Goh, M. S. Sunar and A. W. Ismail, “3D Object Manipulation Techniques in Handheld Mobile Augmented Reality Interface: A Review,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 40581-40601, 2019.

[11] Seifried, T., Haller, M., Scott, S. D., Perteneder, F., Rendl, C., Sakamoto, D. and Inami, M, “CRISTAL: a collaborative home media and device controller based on a multi-touch display,” *The ACM Interactive Tabletops and Surfaces*, pp. 33 – 40. 2009.

[12] Kim, S., Takahashi, S. and Tanaka, J. “Point-Tap, Tap-Tap, and The Effect of Familiarity: to Enhance the Usability of See-and-Select in Smart Space.” *Transaction of Human Interface Society*. vol. 14, no. 4, pp. 445-455, 2012.

[13] M. Löchtefeld, F. Wiehr and S. Gehring. “Analysing the effect of tangibile user interfaces on spatial memory,” *Symposium on Spatial User Interaction*, pp. 78 – 81, 2017.

김석환 (Seokhwan Kim)

2007년: 상명대학교 소프트웨어공학과 학사
2009년: 상명대학교 컴퓨터과학과 학사
2013년: 츠쿠바대학교 컴퓨터과학과 공학박사
2013년 ~ 현재: 한화 정밀기계 로봇사업부 책임연구원
※ 관심분야: 휴먼 컴퓨터 인터랙션 (HCI), 내츄럴 유저 인터페이스 (NUI), 유비쿼터스, 머신러닝