

영상 데이터를 활용한 실내 토폴로지 구현에 관한 연구

A Study on the Implementation of Indoor Topology Using Image Data

김문수¹⁾ · 강혜영²⁾ · 이지영³⁾ ·

Kim, Munsu · Kang, Hye-Young · Lee, Jiyeong

Abstract

As the need of indoor spatial information has grown, many applications have been developed. Nevertheless, the major representations of indoor spatial information are on the 2D or 3D, recently, the service based on omni-directional image has increased. Current service based on omni-directional image is used just for viewer. To provide various applications which can serve the identifying the attribute of indoor space, query based services and so on, topological data which can define the spatial relationships between spaces is required. For developing diverse applications based on omni-directional image, this study proposes the method to generate IndoorGML data which is the international standard of indoor topological data model. The proposed method is consist of 3 step to generate IndoorGML data; 1) Analysis the core elements to adopt IndoorGML concept to image, 2) Propose the method to identify the element of 'Space' which is the core element of IndoorGML concept, 3) Define the connectivity of indoor spaces. The proposed method is implemented at the 6-floor of 21century-building of the University of Seoul to generate IndoorGML data and the demo service is implemented based on the generated data. This study has the significance to propose a method to generate the indoor topological data for the indoor spatial information services based on the IndoorGML.

Keywords: IndoorGML, Indoor Topology, Omni-directional Image, Indoor Spatial Information

초 록

최근 실내공간정보에 대한 수요가 증가함에 따라 다양한 활용 서비스가 개발되고 있다. 그동안 2차원 또는 3차원 실내공간정보 서비스에서, 최근에는 전방위 영상 기반의 실내공간정보 서비스가 증가하고 있다. 단순히 실내공간의 가시화만을 제공하는 기존 전방위 영상 기반 서비스가 속성 검색, 질의 가능 서비스 등을 제공하기 위해서는 공간간의 위치 관계가 정의된 토폴로지 데이터가 반드시 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 전방위 영상 기반의 다양한 실내공간정보 서비스를 위해 필요한 실내 토폴로지 데이터를 국제 표준인 IndoorGML 형식에 맞춰 생성하는 방법을 제안하도록 한다. 본 연구에서는 영상으로부터 IndoorGML 데이터 생성을 위해 1)IndoorGML 기본 개념의 영상 적용을 위한 고려사항 분석, 2)IndoorGML 데이터 생성을 위해 필수 정의 요소인 '공간'을 대표하는 객체 식별 방법 제시, 3)공간 사이의 연결성을 정의로 구분하여 IndoorGML 데이터 생성 방법을 제안한다. 제안한 방법은 서울시립대학교 21세기관 6층을 대상으로 적용되어 IndoorGML 데이터를 생성하도록 한다. 본 연구는 향후 IndoorGML을 기반으로 개발되는 다양한 실내공간정보 서비스에 토폴로지 데이터를 생성하는 한 가지 유형의 방법을 제시한다는 점에서 의의가 있다.

핵심어: IndoorGML, 실내 토폴로지, 전방위 영상, 실내공간정보

Received 2016. 05. 30, Revised 2016. 06. 22, Accepted 2016. 06. 29

1) Member, Dept. of Geoinformatics, The University of Seoul (E-mail: rlaanstn01@gmail.com)

2) Member, Dept. of Geoinformatics, The University of Seoul (E-mail: hyezero@gmail.com)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Geoinformatics, The University of Seoul (E-mail: jlee@uos.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 배경 및 목적

최근 건물의 대형화로 인해 실내 구조가 복잡해짐에 따라 실내공간에서 수행되는 활동들의 유형이 더 다양해지고 복잡해졌다. 이로 인해, 실내에서 수행되는 활동들을 지원할 수 있는 다양한 IT 서비스들이 개발되고 있으며, 그 중 실내공간정보를 기반으로 제공되는 실내 LBS(Location Based Service)가 최근 주목받고 있다.

현재 제공되고 있는 실내공간정보 기반 서비스는 다양한 데이터를 통해 실내 구조를 표현하고 있는데, 대부분의 서비스는 2차원 벡터 지도 또는 3차원 지도를 기반으로 서비스되고 있다. 2차원 벡터 지도의 경우 평면도와 같이 실내공간을 일반화하여 표현함에 따라 간략하게 실내 구조를 표현할 수 있다는 장점이 있지만, 최근 복잡해지고 있는 실내공간의 구조를 반영한 서비스에 활용되기에는 실내공간의 복잡성을 충분히 표현하지 못한다는 한계점이 존재한다. 3차원 지도의 경우 실제 실내공간 구조와 유사한 기하 정보와 실제 현장에서 촬영한 사진을 사용하여 텍스처를 하기 때문에 실세계에 존재하는 객체와 거의 유사한 형태로 실내공간을 묘사할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 3차원 데이터를 구축하는데 소요되는 시간, 예산, 노동력 등의 데이터 구축 비용이 높고 3차원 데이터를 효율적으로 활용하기 위한 고사양의 시스템이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 이러한 2차원 및 3차원 실내공간 표현 데이터의 한계점을 극복할 수 있는 대안으로 전방위 영상을 기반한 실내공간 표현 방법이 주목받고 있다. 최근 전방위 영상의 3차원 좌표를 결정하는 연구(Oh and Lee, 2012)와 같은 관련된 다양한 연구가 진행되고 있으며, 네이버의 실내 뷰, 다음의 스토어 뷰, 구글의 아트프로젝트 등이 대표적인 응용 서비스 사례들이다.

실내공간 세밀도 모델에 관한 연구(Kang and Lee, 2014)에 따르면, 전방위 영상 기반의 실내 표현은 실내 세밀도 2단계에 해당되는 실내공간 데이터로서 실내의 다양한 공간들을 실사 사진으로 보여줄 수 있으며, 실내공간에 대한 간단한 속성 및 질의를 수행할 수 있는 서비스를 구현하기 충분한 실내공간 데이터로 정의하고 있다. 이러한 점을 기반으로 현재 전방위 영상 기반 실내공간정보 서비스를 살펴보았을 때 현재 제공되고 있는 전방위 영상 기반의 실내공간정보 서비스는 서비스 대상 공간의 구조를 파악할 수 있는 실내 뷰어 형태의 서비스를 제공하는 수준에 머무르고 있다. 일부 서비스에서는 미리 구축된 실내 POI에 속성 정보를 연계하여 해당 위치의 속성 정보를 사용자가 조회만 해 볼 수 있는 서비스가 제공되고 있는 하지만, 세밀도 모델에서 정의하고 있는 간단한 질의 기

반 서비스는 현재 제공되고 있지 않다. 이와 같이 현재 전방위 영상 기반 실내공간정보 서비스가 단순 뷰어 서비스에서 벗어나 질의 가능 서비스로 확장하지 못하고 있는 이유는 서비스를 위해 필요한 토폴로지 데이터의 부재 때문이다. 이에 따라, 본 연구에서는 다양한 실내공간정보 서비스를 위해 필요한 실내 토폴로지 데이터를 영상으로부터 구현하는 방법에 대해 제시하며, 국제 표준으로 제정된 OGC IndoorGML을 기반한 데이터 구현 방법을 제안하도록 한다.

이를 수행하기 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장은 관련 연구를 통해 기존 실내 토폴로지 생성 방법에 관한 연구를 살펴보고 본 연구에 적용가능한 한 시사점을 도출하도록 하며, 제3장에서는 IndoorGML 기반의 토폴로지 데이터 구축을 위한 고려사항 및 영상으로부터 실내 토폴로지 데이터를 생성하는 방법을 제시하도록 한다. 제4장에서는 제안하는 방법을 실제 데이터에 적용하여 실내 토폴로지 데이터를 생성하며, 생성된 토폴로지 데이터를 기반으로 전방위 영상 기반의 실내공간정보 데모 서비스를 제시하도록 한다. 마지막으로 제5장에서는 이러한 연구를 통해 도출된 시사점과 한계점 등을 포함한 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

실내 토폴로지 데이터 생성에 관한 연구는 원천데이터의 유형에 따라 다양하게 진행되고 있다. 본 부분에서는 다양한 원천데이터로부터 IndoorGML과 동일한 그래프 혹은 네트워크 형태의 토폴로지 데이터 생성에 관하여 수행된 연구들을 살펴보고자 한다.

실내공간을 표현하기 위해 가장 많이 활용되고 있는 데이터 유형은 건축도면이다. 건축도면에 관한 데이터 유형은 지원하는 소프트웨어에 따라 다양하게 존재하지만 현재는 DXF, DWG와 같은 포맷이 가장 대중적으로 활용되고 있다. 이러한 건축도면에 존재하는 고유한 표식을 식별하여 실내 네트워크 데이터를 생성하는 방법에 관한 연구들이 진행되었다. 건축도면에서 활용하는 여러 가지 기호 혹은 표식들은 표준화된 것이다. 이에 따라, 건축도면 데이터에 존재하는 기하 객체들의 제약조건을 활용하여 출입문, 창문 등을 도면으로부터 인식하거나(Ah-soon and Tombre, 2001), 분할, 벡터화, 객체 인식 등의 컴퓨터 비전 기법들을 활용하여 도면상에 존재하는 기호들을 인식하거나(Dosch *et al.*, 2000), 허프 변환 기법을 활용하여 수기로 작성한 건축도면으로부터 기호들을 인식하는 연구(Lladós *et al.*, 1997) 등을 통해 건축도면 내 존재하는 기호들 중 복도, 창문, 출입문 등을 식별하여 실내 토폴로

지 데이터를 생성한다. 또한 건축도면에서 기호들을 인식하여 실내 토폴로지 데이터를 생성하는 방법에 관한 연구 중 다수는 실내공간을 구성하는 가장 기본적인 요소를 벽(혹은 복도)과 출입문으로 정의하고, 건축도면으로부터 이러한 요소들을 잘 식별할 수 있는 다양한 알고리즘을 정의함으로써 실내 토폴로지 데이터 생성 방법을 제시하고 있다(Dominguez *et al.*, 2012). 그 밖에도, Schafer *et al.*(2011)는 CAD파일로부터 건물의 의미적인요소를 자동으로 추출할 수 있는 해석기를 개발하여 실내 토폴로지 데이터를 생성할 수 있는 방법을 제시하였고, Jeong and Ban(2011)은 실내 토폴로지 데이터 생성을 위해 공간 구분론을 활용하였다.

건축도면은 2차원으로 실내공간을 표현하는 데이터인데 반해, 3차원 데이터 중 실내공간에 대해 자세하게 표현하고 있는 대표적인 데이터인 BIM(Building Information Management) 데이터도 실내 토폴로지 데이터를 생성함에 활용되는 원천 데이터 유형이다. 실내공간을 표현하는 3차원 데이터모델은 BIM 부문에서는 IFC(Industry Foundation Classes), GIS에서는 CityGML(City Geography Markup Language)을 대표적인 표준으로 제정하여 활용하고 있다. IFC의 경우 실내 구조물과 같이 건물 내부에 존재하는 세부적인 구성요소들까지 모두 정의하여 시설물관리 및 운영을 위해 활용된다. CityGML의 가장 큰 목적은 도시를 구성하는 여러 구성요소(도로, 건물 등), 속성, 관계성 등을 정의한 국제표준이다. 이에 따라, CityGML의 경우 가장 자세하게 묘사하는 세밀도 수준에서 건물 내부 구조를 표현하고 있기는 하지만 IFC와 같이 세밀하게 실내공간을 구성하는 요소들을 정의하거나 표현하지는 못한다. 따라서, 최근에는 실내공간에 대한 다양한 서비스 개발을 위해 BIM이 갖는 실내공간 구성요소에 대한 상세한 묘사와 GIS가 가지는 공간에 대한 질의 및 분석기능 등을 융합하여 활용하고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있다(Oh, 2010; Hwang *et al.*, 2012). 이러한 연구의 일환으로 BIM 데이터가 포함하고 있지 않은 토폴로지 개념을 데이터 변환을 통해 생성하는 다수의 연구가 진행되고 있다. 대표적으로, 매우 세밀한 표현이 가능한 BIM 데이터의 기하정보를 통해 S-MAT 알고리즘을 적용하여 실내 네트워크 데이터를 자동으로 추출할 수 있는 연구가 수행되었다(Taneja *et al.*, 2011). 또한 IFC 기반의 알고리즘을 통해 3차원 공간상에 존재하는 객체들 간의 토폴로지 관계성을 자동 생성하는 방법에 관한 연구도 수행되었다(Khalili and Chua, 2015). 본 연구를 통해 생성된 토폴로지 데이터는 가중 그래프 이론을 반영한 형태로 생성되며, 연결, 포함, 분리, 교차 등의 관계성을 생성된 데이터로부터 확인할 수 있었다. 또한 응급상황 발생 시 생성된

토폴로지 데이터로 연결성을 확인하여 대피를 위한 최적 경로를 도출하는 상황에 활용됨을 증명하기도 하였다.

이 밖에 실내 토폴로지 데이터 생성 방법으로 실내공간에 존재하는 시설물 관련 데이터를 활용하여 실내 토폴로지 데이터를 생성하는 연구들이 진행되었다. Ryu *et al.*(2014)은 시각 장애인을 위해 존재하는 점자 유도 블록을 노드(Node)와 엣지(Edge)로 구성된 실내 네트워크 형태의 데이터로 생성하여 시각장애인을 위한 실내 내비게이션 서비스 구현 시 활용할 수 있는 VIM(Voice-based Indoor Map)을 프로토타입으로 구현하였다. 실내공간에 존재하는 기반 시설물 중 최근에는 건물 내 모든 위치에서 무선인터넷 활용을 위해 Wi-Fi AP(Access Point)가 많이 설치되어 있다. 이에 따라, 실내 공간에 존재하는 Wi-Fi AP를 기준으로 발생하는 Wi-Fi 신호 세기를 활용하여 실내 토폴로지 지도를 생성하고 이를 실내 측위 시스템에 적용하여 실내 측위를 위한 한 요소로 활용한 연구가 진행되었다(Shin and Cha, 2010).

기존 실내 토폴로지 데이터 생성에 관한 연구들은 다양한 형태의 실내공간의 구조 또는 시설물과 관련된 데이터로부터 연구들이 진행되었으며, 특히 건축도면, BIM 데이터 등을 변환하여 실내 토폴로지 데이터 구축 시 기존 실내 구조물 배치를 활용할 수 있어 세밀한 토폴로지 데이터를 생성할 수 있었다. 그러나 이러한 기존 방법들을 전방위 영상 서비스에 그대로 적용하기에는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 첫 번째는 기존 방법들을 기반으로 토폴로지 데이터를 생성하려면 건축도면, BIM 데이터와 같은 추가적인 참조데이터가 필요하다. 그러나 고굴, 재래시장과 같이 오래된 건물들의 경우 상황에 따라서는 실내 토폴로지 데이터 생성에 필요한 참조데이터가 존재하지 않을 수 있다. 이러한 경우에는 기존 방법들을 통한 실내 토폴로지 데이터 생성에 한계가 존재한다. 두 번째는 기존 방법을 통해 생성된 실내 토폴로지 데이터를 전방위 영상과 융합하여 서비스하기 위해서는 전방위 영상 기반 서비스에 알맞은 형태로 추가적인 변환 프로세스가 필요하다는 점이다. 이러한 상황은 추가적인 변환 프로세스에 따라 데이터 구축에 여러 유형의 비용이 소요될 수 있기 때문에 비효율적으로 데이터가 구축될 수 있다. 마지막으로, 기존 방법들의 경우 실내공간에 대한 상세한 정보를 담고 있는 건축도면, BIM 데이터를 활용하기 때문에 매우 세밀한 토폴로지 데이터를 구축할 수는 있겠지만, 앞서 살펴본 세밀도 모델에 관한 연구에서 정의한 것처럼, 전방위 영상 기반 서비스에서는 간략한 질의를 수행할 수 있는 서비스정도가 제공되는 것이 적합하기 때문에 비용 및 효율적인 데이터 처리를 고려하여 적절한 데이터 상세도 적용이 필요하다. 이에 따라, 전방위 영상 기반 서비

스 구현을 위해 필요한 토폴로지 데이터 생성 방법은 영상으로부터 바로 생성하여 활용할 수 있고, 생성된 데이터의 형태는 서비스 구현에 필요한 필수적인 토폴로지 관계만을 포함할 수 있는 방법이 필요하다.

3. 영상 데이터 기반 실내 토폴로지 구현 방법

3.1 IndoorGML 기반 데이터 구축을 위한 고려 사항 정의

IndoorGML은 실내공간정보의 표현과 교환을 위한 기본적인 프레임워크를 제공할 수 있는 데이터 모델과 XML 스키마를 정의한 OGC 표준이다. IndoorGML은 실내 내비게이션 서비스를 위한 네트워크에 중점을 두고 설계된 모델로써, 멀티 레이어 및 노드-링크(Link) 개념을 이용하여 실내공간을 다양한 의미의 관점에서 모델링 할 수 있도록 지원한다. IndoorGML에서는 기존의 데이터와의 연계 없이 독립적으로 사용될 때만 단위공간의 기하적 요소를 표현하고, 그 이외의 경우에는 단순화된 기하요소(점, 선)만으로 실내공간과 실내공간을 연결하는 경로를 표현한다(Li and Lee, 2013; Lee *et al.*, 2014). 실내공간에서 각 단위 실내공간 사이의 위상 요소는 크게 인접성과 연결성로 나누어진다. 이러한 위상 관계를 효과적으로 표현하기 위해 IndoorGML에서는 그래프 형태의 토폴로지 표현 방법을 기반으로 한다.

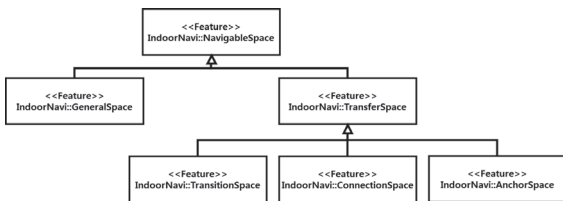


Fig. 1. Type of space for indoor navigation of IndoorGML

IndoorGML에서는 실내 내비게이션을 위해 Fig. 1과 같이 공간을 의미적으로 더 자세하게 정의하였다. General Space는 인간이 주로 활동하는 공간을 의미하며, 방, 테라스, 로비 등의 공간이 해당된다. Transfer Space는 General Space들 사이에 존재하는 공간으로 General Space로 이동하기 위해 사용하는 공간을 의미한다. 이러한 Transfer Space는 다시 Connection Space, Anchor Space, Transition Space등으로 구분된다. Connection Space는 문과 같이 General Space를 통과하기 위해 반드시 거쳐야 하는 공간을 의미하며, Anchor Space는 실내와 실외를 연결하는 1층 출입구와 같은 공간을

의미한다. Transition Space는 일반적으로 General Space 사이에 존재하며 이동하기 위해 활용되는 공간으로서, 복도가 대표적인 예이다. 이처럼, IndoorGML의 개념을 기반으로 실내 공간의 연결성 및 인접성을 표현하기 위해서는 공간이 정의되어야 하며, 특히 내비게이션과 같은 서비스적인 측면에서는 공간의 의미에 따른 세부적인 구분도 필요하다.

앞서 살펴본 IndoorGML의 기본 요소와 같이 IndoorGML 기반의 실내 토폴로지 데이터를 생성한다는 것은 공간 사이의 연결성 또는 인접성을 표현하는 데이터를 생성하는 것을 의미하며, 이를 위해서는 기본적으로 공간을 정의할 수 있어야 한다. 이러한 개념을 기반으로 보았을 때, 영상에서 IndoorGML 형태의 토폴로지 데이터를 생성하기 위해서는 영상 내에서 공간에 해당되는 영역이 무엇인지가 우선적으로 정의될 수 있어야 한다. 그러나 영상에 존재하는 셀 값만을 가지고 어느 영역이 공간을 의미하고, 어느 영역이 공간사이의 연결성을 의미하는지 파악할 수 없다. 이에 따라, 영상으로부터 실내 토폴로지 데이터를 생성하기 위해서는 영상에서 공간을 대표하는 객체를 식별하는 간접적인 방법으로 영상 내부에서 공간을 의미하는 영역이 어느 부분인지 찾아야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 영상에서의 공간을 식별하도록 한다.

- 1) IndoorGML에서 정의한 General Space와 같은 공간은 반드시 출입문을 통해 이동할 수 있는 공간이기 때문에 영상에서 출입문 객체를 식별함으로써 방과 같은 General Space를 대표하도록 한다.
- 2) Transition Space와 같이 General Space사이를 연결하는 공간은 대부분 복도를 의미하며, 영상 촬영은 이러한 복도를 따라 수행되기 때문에 각 영상 촬영 지점이 복도와 같은 Transition Space를 대표할 수 있다.
- 3) 영상에서 공간 간의 연결성은 General Space를 대표하는 출입문 객체와 영상 촬영 지점을 연결하여 General Space와 Transition Space사이의 연결성을 정의할 수 있으며, 서로 다른 영상 촬영 지점을 연결함으로써 Transition Space들 사이의 연결성을 정의할 수 있다.

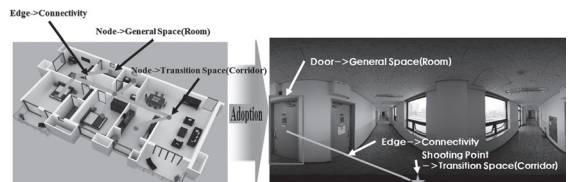


Fig. 2. Considerations to adopt the concept of IndoorGML into image

Table 1. Definition of space and connectivity of IndoorGML and proposed method

Real World		Indoor GML	Proposed Method
Space	General Space	Node	Door
	Transition Space		Shooting Point
Connectivity of Spaces		Edge	Edge

Fig. 2와 Table 1은 공간과 공간 간의 연결성을 정의함에 있어 IndoorGML에서 표현하는 방법과 이것을 영상에서 정의하기 위한 요소를 비교한 것이다. 이와 같이 영상에서 공간을 식별하여 공간간의 관계성을 IndoorGML 형태로 표현하기 위해서는 영상으로부터 출입문 객체를 식별할 수 있어야 하며, 식별된 출입문 객체와 촬영 지점간의 연결을 통해 연결성을 표현할 수 있는 추가적인 프로세스가 정립되어야 한다. 이에 따라, 본 논문에서는 영상으로부터 영상처리기법을 적용하여 본 부분에서 도출한 공간 대표 객체를 식별하고, 식별된 공간 대표 객체와 영상 촬영 지점 객체를 통해 실내 토폴로지 데이터를 생성하는 방법을 체계적으로 제시하도록 한다.

3.2 제안 방법 개요

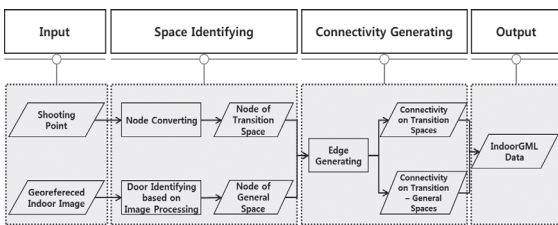


Fig. 3. Flow chart of proposed method

Fig. 3은 본 연구에서 제안하는 영상 기반의 실내 토폴로지 생성 방법의 연구 수행 흐름도이다. 입력데이터는 지오레퍼런싱 된 영상과 영상 촬영 지점 정보이다. 지오레퍼런싱 된 영상은 영상 좌표계 상의 영상 좌표뿐만 아니라 촬영 당시 환경에 따른 여러 외부표정 요소들을 통해 산출한 실제 좌표정보도 같이 포함하고 있는 영상을 의미한다. 또한 촬영 지점 정보는 영상을 촬영하기 위해 장비를 고정시킨 지점의 위치 정보를 의미한다.

본격적인 실내 토폴로지 데이터 생성을 위한 첫 번째 단계

는 ‘IndoorGML 공간 요소 식별 단계’이다. 본 단계에서는 ‘공간’을 대표하는 객체들을 식별함으로써 공간 사이의 연결성을 표현하는 IndoorGML의 기본 요소를 정의하는 단계이다. 공간을 대표하는 객체가 정의되었다면 두 번째 단계인 ‘IndoorGML 공간 연결성 생성 단계’를 통해 공간들 사이의 연결성을 표현하도록 한다. 본 단계를 통해 생성되는 실내 토폴로지 데이터는 실내공간들 사이의 2가지 연결성을 표현할 수 있다. 첫 번째는 복도와 같은 공간에서의 연결성을 의미하는 Transition Space 간의 연결성을 표현할 수 있다. 이러한 연결성은 영상 촬영 지점들 간을 연결하는 엣지를 생성함으로써 표현할 수 있다. 두 번째는 Transition Space와 General Space간의 연결성을 표현하는 것으로서, 본 연구에서는 전방위 영상을 통해 생성된 출입문 객체의 노드와 영상 촬영 지점의 노드를 연결하는 엣지를 생성함으로써 관계성을 표현할 수 있다.

이러한 과정을 거쳐 제안하는 방법을 적용하면, 실내공간의 연결성을 네트워크 형태로 표현하는 토폴로지 데이터가 생성된다. 이어지는 부분에서는 ‘IndoorGML 공간 요소 식별 단계’와 ‘IndoorGML 공간 연결성 생성 단계’에 대한 세부 방법을 기술함으로써 본 연구에서 제안하는 방법을 구체적으로 제시하도록 한다.

3.3 IndoorGML 공간 요소 식별 단계

IndoorGML 공간 요소 식별 단계는 공간간의 연결성을 나타내기 위해 필수적으로 정의되어야 하는 ‘공간’을 식별하는 단계이다. 본 연구에서는 Transition Space와 General Space를 식별하여 실내공간 내 토폴로지 데이터를 생성하기 때문에, 두 공간을 식별하는 방법에 대해 각각 살펴보도록 한다.

본 연구에 사용되는 영상은 복도를 따라 촬영되기 때문에, 영상 촬영 지점은 복도를 노드로 일반화하여 표현하는 객체라 정의할 수 있다. 이에 따라, Transition Space를 대표하는 객체로 영상 촬영 지점을 사용할 수 있으며 위치 정보는 촬영 당시 활용하는 도면 등을 통해 알 수 있다. 영상 촬영 지점에 대한 정보는 테이블 형태로 정리하여 표현할 수 있으며, 테이블에는 촬영지점의 고유 ID와 X, Y 좌표 값을 필수적으로 포함되어야 한다.

General Space는 촬영한 영상에서 출입문 객체를 식별함으로써 General Space를 대표하는 객체를 정의하고 이를 통해 노드를 생성하도록 한다. 출입문 객체를 식별하기 위해 제안되는 방법에서는 출입문 갖는 고유한 색상정보를 활용하도록 한다. 이를 위한 세부 프로세스는 Fig. 4와 같으며, 출입문 객체를 식별하기 위한 방법의 세부 설명은 아래와 같다.

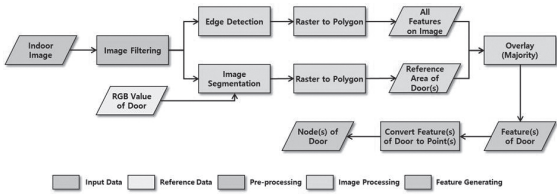


Fig. 4. Generating of node of general space based on image processing method

출입문 객체 식별을 위한 첫 번째 단계는 전처리 단계으로써, 향후 진행되는 영상 내 객체 식별이 용이하도록 입력데이터에 영상 필터 기법을 적용하여 영상에 존재하는 노이즈를 제거하고, 같은 객체의 색상이라도 촬영 시간, 조명 등의 촬영 환경에 따라 발생할 수 있는 색상 차이를 최소화시키기 위해 색상보정을 수행한다. 이에 따라, 본 연구에서 제안하는 방법에서는 본격적인 영상 처리 기법 단계 전에 영상 필터 기법을 기반 한 전처리 과정을 수행하여 향후 제안 방법 프로세스를 진행하도록 한다.

전처리 단계에서 정리된 영상을 통해 영상 처리 단계에서는 영상 내에서 공간을 대표하는 요소로 정의한 출입문 객체를 식별하도록 한다. 본 부분은 Edge Detection, Image Segmentation, Overlay의 3단계로 다시 세분화 된다. Edge Detection은 영상 밝기의 급격한 변화를 감지하여 영상 내 존재하는 객체의 경계선을 식별하는 수학적 방법론에 기반 한 영상 처리 기법이다. 이에 따라, 영상 내 존재하는 객체를 추출하거나 식별할 때 활용될 수 있다. 본 연구에서는 영상 내 공간을 대표하는 출입문을 식별하기 위해 Edge Detection을 적용하도록 한다.

Edge Detection의 결과를 객체화하기 위해 경계를 기준으로 폴리곤으로 변환하는 과정이 필요하다. Edge Detection을 수행 한 후 영상 내 존재하는 모든 객체의 경계가 추출되며, 따라서 폴리곤으로 변환 시 영상 내 존재하는 모든 객체가 추출된다. 그러나 본 연구에서는 영상 내 공간을 대표할 수 있는 출입문 객체만을 추출해야하기 때문에 Edge Detection 만으로는 출입문 객체를 추출 할 수 없다. 이에 따라, 출입문 객체를 추출할 수 있는 추가 데이터가 필요하다. Image Segmentation은 이러한 Edge Detection으로부터 도출되는 결과의 한계점을 보완하고자 수행되는 영상 처리 기법이다. Image Segmentation은 영상 내 픽셀을 일정한 수만큼 구분하여 간략화 시키는 컴퓨터 비전의 한 기법을 의미한다. Image Segmentation을 통해 영상을 간략화 시켜 조금 더 의미 있고 쉬운 영상 분석을 수행하도록 한다. 본 연구에서는 색상 기반

의 Image Segmentation 기법을 활용하여 영상 내에서 출입문 객체가 존재하는 영역을 도출하여 출입문에 대한 참조 영역 (Reference Area)로 활용하고자 한다. 본 연구에서는 영상 내에서 출입문의 색상 정보를 파악할 수 있는 일부 영역을 정의하여 이 영역으로부터 출입문의 색상 정보를 파악하여 이와 유사한 픽셀 값을 갖는 영역을 영상으로부터 도출한다.

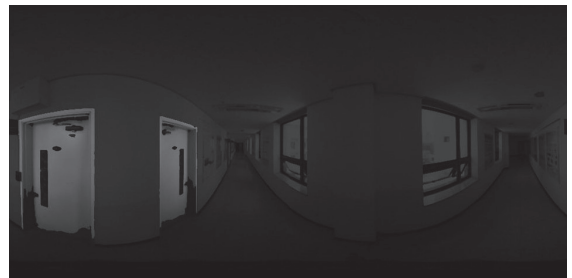


Fig. 5. Example of image segmentation based on RGB values

Fig. 5는 출입문의 색상 정보를 통해 영상 내에서 해당 색상과 동일한 영역을 나타내는 부분을 추출한 것을 나타낸다. 결과적으로 추출된 영역은 영상 내 출입문이 존재하는 영역을 나타내 출입문의 참조 영역으로 활용 될 수 있다. 이러한 참조 영역을 객체로 추출하기 위해서는 폴리곤 변환을 수행하여야 하며, 폴리곤 변환을 통해 출입문에 대한 참조 영역을 추출할 수 있다.

Edge Detection의 결과 영상 내 존재하는 모든 객체들이 추출되며, Image Segmentation의 결과 영상 내 존재하는 출입문 객체의 참조 영역을 추출할 수 있다. 따라서 본 연구에서 필요한 출입문 객체를 추출하기 위해서는 두 영상 처리 기법의 결과를 중첩시켜 출입문에 해당되는 객체만을 추출할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 GIS 기능 중 중첩(Overlay) 기능을 활용하도록 하며, 중첩을 위한 조건은 최대영역(Majority)으로 중첩되는 부분이 추출될 수 있도록 정의한다. 본 연구에서 정의한 최대영역으로 중첩되는 부분의 추출이라 함은, Edge Detection의 결과 중 출입문의 참조 영역과의 중첩 영역이 최대인 객체를 추출하는 것을 의미한다. Edge Detection의 결과와 Image Segmentation을 통해 도출된 출입문의 참조 영역의 결과를 중첩시켜 최대 영역으로 중첩되는 부분을 추출한 것을 의미하며, 추출된 객체는 출입문 객체임을 확인할 수 있다. 이러한 출입문 객체를 네트워크 형태의 실내 토폴로지 데이터로 활용하기 위해 점형 객체로 변환하는 'Feature to Point'와 같은 기능을 통해 노드 형태로 출입문 객체를 일반화하도록 한다.

3.4 IndoorGML 공간 연결성 생성 단계

본 부분에서는 선행 단계에서 식별한 General Space와 Transition Space의 대표 객체들 간의 관계성을 표현함으로써 IndoorGML 데이터를 생성하기 위한 단계이다. 본 연구에서 생성하는 IndoorGML 데이터는 2가지 유형의 공간관계를 표현할 수 있다. 첫 번째는 복도와 같은 공간에서의 연결성을 의미하는 Transition Space간 연결성을 표현할 수 있고, 두 번째는 복도와 출입문을 통해 진입할 수 있는 다른 공간과의 관계성인 Transition Space-General Space간의 연결성을 표현할 수 있다. 이 두 관계성을 표현하기 위한 세부 내용은 다음과 같다.

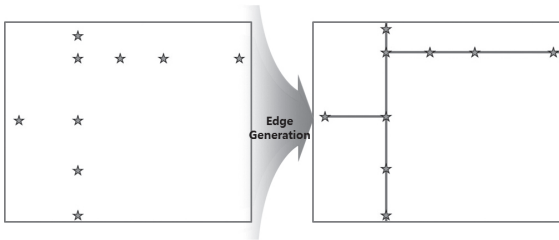


Fig. 6. Example of connectivity of transition spaces in proposed method

본 연구에서 정의한 Transition Space의 대표 객체는 영상 촬영 지점으로써, 복도를 따라 촬영을 진행하기 때문에 영상 촬영 지점의 노드를 연결하면 복도의 모양을 일반화한 형태와 유사한 결과를 얻을 수 있다. Fig. 6과 같이 Transition Space간 연결성은 영상 촬영 지점의 노드를 연결함으로써 정의될 수 있다. 이에 따라, Transition Space간 연결성을 정의한 엣지의 속성정보에는 해당 엣지가 생성되기 위해 필요한 영상 촬영 지점의 2개 노드 ID를 포함하도록 한다.

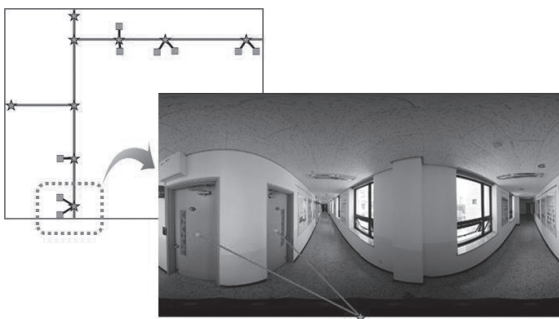


Fig. 7. Example of connectivity of general space and transition space in proposed method

영상 처리 기법을 통해 추출된 출입문 객체는 본 연구에서는 General Space를 대표하는 객체이다. 이에 따라, 출입문 객체의 노드를 복도와 같은 Transition Space를 대표하는 영상 촬영 지점의 노드와 연결함으로써 General Space와 Transition Space간의 연결성을 Fig. 7과 같이 표현할 수 있다. 영상을 통해 표현하는 실세계는 영상 촬영 지점의 위치에 따라 중복적으로 나타날 수 있다. 이에 따라, 동일한 출입문 객체도 여러 영상에서 중복적으로 식별될 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 실내 토폴로지 데이터 생성 방법은 하나의 출입문 객체의 노드가 다수의 영상 촬영 지점의 노드와 연결될 수 있다.

4. 실험

본 연구에서 제안한 IndoorGML 데이터 생성 방법을 적용하기 위한 실험대상지는 서울시립대학교 21세기관으로 선정하였다. 21세기관은 지하 1층, 지상 7층으로 구성된 건물로써, 강의실, 대학원 연구실, 교수 연구실 등이 건물 내부에 존재한다. 이 중, 6층을 대상으로 향후 데이터 구축 및 데모 서비스 구현을 진행하였다. 본 연구의 실험에서는 실험대상지에 대한 IndoorGML 데이터 생성을 위해 Table 2와 같은 환경에서 진행하였다.

Table 2. Overview of experiment

Equipment	35mm DSLR Camera (3640 Mega Pixel) 180° Fish-Eyes Lens Rotator
Omni-directional Image Software	PTGui 10.0.12
Image Processing Software	ImageJ 1.49
Vectorization Software	ArcGIS 10.3

영상 촬영을 위한 장비는 어안렌즈와 DSLR 카메라, 회전식 로테이터를 포함하고 있으며, 촬영한 영상을 전방위 영상으로 정합하기 위한 소프트웨어는 PTGui 10.0.12를 사용하였다. 영상으로부터 General Space를 대표하는 출입문 객체를 식별하기 위한 영상 처리 소프트웨어로 자바 기반의 오픈소스 프로그램인 ImageJ를 사용하였으며, 각 대표 객체의 노드 변환 및 연결성 표현을 위한 엣지 생성 등의 벡터 관련 작업을

위해 ESRI사의 ArcGIS 10.3을 사용하였다. 이를 통해 실험대 상지의 IndoorGML 데이터를 생성하도록 하였다.

IndoorGML 데이터를 생성하기 위한 세부 실험 과정은 영 상 촬영 및 정합, IndoorGML 공간 요소 식별 및 노드 변환, 공간 연결성 표현 및 IndoorGML 데이터 생성 순으로 진행하 였다. 실험을 위한 첫 번째 단계에서는 영상 촬영과 촬영한 영상을 전방위 영상으로 정합하는 과정을 수행한다. 실험대 상지에 대한 영상 촬영은 Fig. 8과 같이 미리 선정한 22개의 영상 촬영 지점에서 수행되었다. 영상 촬영 지점은 복도를 기 준으로 출입문이 있는 지점, 코너 지점, 넓은 공간이 있는 지 점 등의 선점 조건을 통해 정의하였다. 각 영상 촬영 지점에서 는 촬영장비를 통해 1회전 시 60°씩 나누어 6장의 사진을 촬 영하도록 한다. 촬영하는 사진은 이후 수행되는 전방위 영상 제작을 위한 영상 정합을 위해 일정 부분이 서로 겹치도록 촬 영한다. 각 영상 촬영 지점 당 6방향씩 촬영된 영상은 전방위 영상 정합 프로그램인 PTGui를 통해 전방위 영상으로 변환 될 수 있다.

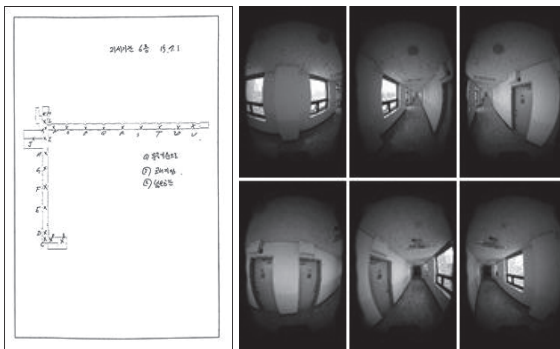


Fig. 8. Example of shooting points and images

두번째 단계는 IndoorGML 공간 요소 식별 단계로써, Transition Space와 General Space를 각각 대표하는 영상 촬영 지점, 출입문 객체에 대한 노드를 생성하는 단계이다. Transition Space를 대표하는 노드는 영상 촬영 지점의 정보 를 통해 수집된 X, Y 좌표를 기반으로 하여 노드를 생성하도 록 하였다. 본 실험에서 선정한 영상 촬영 지점은 총 22개 지 점으로, Transition Space를 대표하는 노드도 22개로 생성되 었다. 또한 General Space를 대표하는 출입문 객체의 노드 생 성을 위해 Fig. 9와 같이 영상 처리 기법이 적용 되었으며, 이 를 통해 추출한 출입문 객체 영역은 ArcGIS 10.3의 Raster to Point 기능을 적용하여 노드로 변환하였다.

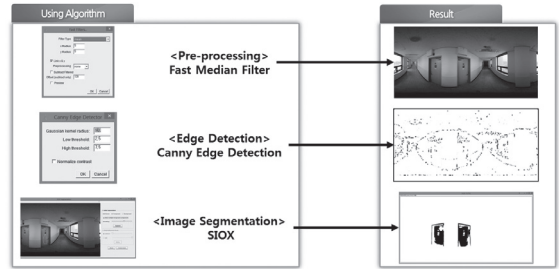


Fig. 9. Example of using image processing methods

영상으로부터 출입문 객체를 식별하기 위해 적용된 세부 영상 처리 기법 알고리즘은 영상 전처리를 위한 영상 필터링 의 경우 Fast Median Filter를 적용하였고, 영상의 엣지 검출 을 위한 Edge Detection 단계에서는 Canny Edge Detection 알고리즘을 적용하였다. 또한, 영상에서 출입문의 참조 영 역을 생성하기 위해 사용한 Image Segmentation 기법으로 SIOX(Simple Interactive Object Extract) 알고리즘을 적용하 였다. 본 실험에서 이러한 알고리즘을 적용하기 위해 사용한 소프트웨어인 ImageJ는 세부 알고리즘에 대한 코드를 공개한 오픈소스 형태의 소프트웨어이며, 본 실험에서는 각 알고리 즘 별로 공개된 코드를 기반으로 제안한 방법을 적용하였다.

마지막으로 Transition Space와 General Space의 노드를 통해 2가지 연결성을 표현하여 IndoorGML 데이터를 생성하 도록 한다. 노드 사이의 연결성은 라인형태의 엣지로 표현됨 에 따라 ArcGIS 10.3의 Point to Line 기능을 통해 엣지를 생 성한다. 이렇게 생성된 엣지와 노드를 포함하는 실험대상지 의 IndoorGML 데이터는 Fig. 10과 같이 2차원 평면으로 표 현 될 수 있다.

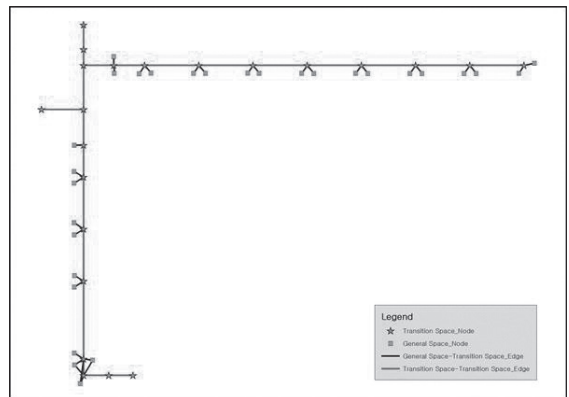


Fig. 10. Result of generating IndoorGML data using proposed method

5. 결론

본 연구에서는 현재 단순 뷰어 형태로만 제공되는 전방위 영상 기반의 실내공간정보 서비스의 한계점을 극복함에 있어 필요한 실내 토폴로지 데이터를 IndoorGML 형태로 생성하는 방법에 대해 제안하였다. 특히, 전방위 영상 기반 서비스에 활용됨에 있어 기존 방법들을 그대로 사용하면 추가데이터나 프로세스가 필요하기 때문에 본 연구에서는 영상으로부터 직접 IndoorGML 데이터를 생성하는 방법에 대해 제안하였다.

본 연구는 실내공간에 대한 토폴로지 데이터 모델 표준인 IndoorGML의 개념을 반영한 데이터를 생성하는 한 가지 유형의 방법을 제시하였다는 점에서 의미가 있다. 또한, 현재 뷰어 서비스 수준에 머무르고 있는 전방위 영상 기반 서비스를 다양화함에 있어 반드시 필요한 토폴로지 데이터를 영상으로부터 직접 생성할 수 있는 방법을 제시하였다는 점에서도 의미가 있다. 이러한 방법은 다른 방법에 비해 더 간략한 토폴로지 데이터를 생성하기는 하지만 영상 기반의 실내공간정보 서비스를 구현함에 있어 문제가 없으며, 다른 방법을 구현함에 있어 필요한 실내공간의 참조데이터를 구비하고 있지 않더라도 본 연구의 방법은 적용 가능하다는 점에서 다른 실내 토폴로지 데이터 생성 방법과 비교했을 때 향상된 방법을 제안하였다고 할 수 있다.

향후 본 연구가 더 많은 유형의 실내공간을 대상으로 적용되기 위해서는, 데이터 생성 시 활용한 출입문의 색상 이외에 공간을 더 효율적으로 식별할 수 있는 요소에 대한 정의가 필요하며, 영상 처리 기법 활용 시 공간 대표요소를 더 잘 식별할 수 있는 개선된 알고리즘과 자동화된 프로세스를 적용해야 한다. 또한 서비스적인 측면에서 본 연구에서 구현한 속성 검색 및 질의 가능 서비스 이외에 더 다양한 전방위 영상과 IndoorGML 데이터와의 융합 활용에 관한 사례 개발이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발 사업의 연구비지원(11첨단도시G11)에 의해 수행되었습니다. 또한, 저자의 석사 학위 논문에 기반하여 작성된 논문입니다.

References

Ah-Soon, C. and Tombre, K. (2001), Architectural symbol

recognition using a network of constraints, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 22, No. 2, pp. 231-248.

Dominguez, B., Garcia, A.L., and Feito, F.R. (2012), Semiautomatic detection of floor topology from CAD architectural drawings, *Computer-Aided Design*, Vol. 44, pp. 367-378.

Dosch, P., Tombre, K., Ah-Soon, C., and Masini, Ga. (2000), A complete system for the analysis of architectural drawings, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, Vol. 3, No. 2, pp. 102-116.

Hwang, J.R., Kang, T.W., and Hong, C.H. (2012), A study on the correlation analysis between IFC and CityGML for efficient utilization of construction data and GIS data, *Journal of Korean Spatial Information Society*, Vol. 20, No. 5, pp. 49-56. (in Korean with English abstract)

Jeong, S.K. and Ban Y.U. (2011), Developing a topological information extraction model for space syntax analysis, *Building and Environment*, Vol. 46, pp. 2442-2453.

Kang, H. and Lee, J. (2014), A study on the LOD model for applications based on indoor space data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 2, pp. 143-151. (in Korean with English abstract)

Khalili, A. and Chua, D.K.H. (2015), IFC-based graph data model for topological queries on building elements, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 29, No. 3, pp. 1-14.

Lee, J., Li, K.J., Zlatanovam S., Kolbe, T.H., Nagel, C., and Becker, T. (2014), IndoorGML v.1.0., *Open Geospatial Consortium*.

Li, K.J. and Lee, J. (2013), Basic concepts of indoor spatial information candidate standard IndoorGML and its applications, *Journal of Korean Spatial Information Society*, Vol. 21, No. 3, pp. 1-10. (in Korean with English abstract)

Lladós, J., López-Krahe, J., and Martí, E. (1997), A system to understand hand-drawn floor plans using subgraph isomorphism and Hough transform, *Machine Vision and Applications*, Vol. 10, No. 3, pp. 150-158.

Oh, C.W. (2010), A study on integration strategy between GIS and BIM, *The Korean Association of Professional Geographers*, Vol. 44, No. 3, pp. 443-453. (in Korean with

English abstract)

- Oh, S. and Lee, I. (2012), Georeferencing of indoor omnidirectional images acquired by a rotating line camera, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 2, pp. 211-221. (in Korean with English abstract)
- Ryu, H.G., Kim, T., and Li, K.J. (2014), Indoor navigation map for visually impaired people, *Proceedings of Indoor Spatial Awareness (ISA) 2014*, pp. 32-35.
- Schafer, M., Knapp, C., and Chakraborty, S. (2011), Automatic generation of topological indoor maps for real-time map-based localization and tracking, *Proceedings of Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) 2011*.
- Shin, H. and Cha, H. (2010), Wi-fi fingerprint-based topological map building for indoor user tracking, *Proceedings of 2010 IEEE 16th International Conference on*, pp. 105-113.
- Taneja, S., Akinci, B., Garrett, J. H., Soibelman, L., and East, B. (2011), Transforming an IFC-based building layout information into a geometric topology network for indoor navigation assistance, *Proceedings of Computing in Civil Engineering 2011*, pp. 315-322.