

외부참조를 통한 IndoorGML과 CityGML의 결합

A Linkage between IndoorGML and CityGML using External Reference

김준석* · 유성재** · 이기준***

Joon-Seok Kim · Sung-Jae Yoo · Ki-Joune Li

요약 최근 대형 실내공간을 대상으로 Indoor Google Map과 같은 실내지도 및 내비게이션 서비스가 부분적으로 제공되고 있다. 이러한 서비스들을 위해서 실내 데이터가 필요하며, 실내를 표현하는 데이터 모델 표준으로 CityGML과 IFC가 널리 사용되고 있다. 이 두 표준들은 실내의 가시화와 건축 구조물의 분석 등에 필요한 기하 정보들을 담고 있는데, 실내공간 내비게이션은 기하정보뿐만 아니라 의미적인 정보, 그리고 네트워크와 같은 위상정보도 필요로 한다. 이러한 요구에 맞춰 실내공간정보의 표현 및 저장, 교환을 위한 데이터 모델이자 GML3의 응용 스키마인 IndoorGML이 OGC의 표준으로 제정되고 있다. IndoorGML은 기하적인 요소들을 직접 표현할 수 있을 뿐만 아니라 다른 문서를 외부 참조하는 것이 가능하다. CityGML이나 IFC로 구축된 데이터가 많이 구축되고 있기 때문에 이를 가공하여 IndoorGML의 생성에 활용한다면 시간과 구축비용 줄여 경제적인 이득을 볼 수 있다. 이러한 이유로 본 논문은 CityGML으로 구축된 실내공간 데이터를 IndoorGML의 데이터로 유도하고 연결하는 방법을 제시한다. CityGML과 IndoorGML의 대응 관계에 대해 분석하고, 두 표준으로 만들어진 인스턴스 문서들을 서로 연결할 때 나타나는 문제와 이슈들에 대해 살펴보고, 이에 대한 해결 방안에 대해 논의한다.

키워드 : IndoorGML, CityGML, 실내공간정보, 실내 내비게이션, 실내공간모델

Abstract Recently indoor navigation with indoor map such as Indoor Google Maps is served. For the services, constructing indoor data are required. CityGML and IFC are widely used as standards for representing indoor data. The data models contains spatial information for the indoor visualization and analysis, but indoor navigation requires semantic and topological information like graph as well as geometry. For this reason, IndoorGML, which is a GML3 application schema and data model for representation, storage and exchange of indoor geoinformation, is under standardization of OGC. IndoorGML can directly describe geometric property and refer elements in external documents. Because a lot of data in CityGML or IFC have been constructed, a huge amount of construction time and cost for IndoorGML data will be reduced if CityGML can help generate data in IndoorGML. Thus, this paper suggest practical use of CityGML including deriving from and link to CityGML. We analyze relationships between IndoorGML and CityGML. In this paper, issues and solutions for linkage of IndoorGML and CityGML are addressed.

Keywords : IndoorGML, CityGML, Indoor Geoinformation, Indoor Navigation, Indoor data model

1. 서론

최근 보급되는 스마트폰으로 대략적인 실내측위 가능해지면서, 쇼핑몰과 같은 대형 실내공간을 대상으로 Indoor Google Maps[5]과 같은 실내지도 및 내비게이션 서비스가 부분적으로 제공되고 있다. 이러한 서비스들을 위해서 실내공간의 데이터가 구축되고 있으며, 실내공간 데이터의 유통 및 공유를 위해서는 이러한 실내공간 데이터들이 표준으로 구축되는 것이

바람직하다. 실내공간을 표현하는 데이터 모델 중에서 표준으로 CityGML[7]과 IFC[2]가 널리 사용되고 있다. 이 두 표준들은 실내공간의 가시화와 건축 구조물의 관리 및 분석 등에 필요한 기하 정보들을 담고 있다. 하지만 실내공간 내비게이션은 단순히 실내 구조물의 기하정보뿐만 아니라 실내공간의 의미적인 정보, 그리고 라우팅을 위한 네트워크와 같은 위상 정보를 필요로 한다.

이러한 요구에 맞춰, 실내공간과 그 공간들 사이의

[†] This research was supported by a grant(11 High-tech G11) from Architecture & Urban Development Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

* Joon-Seok Kim, Ph.D Student, Dept. of Computer Engineering, Pusan National University. joonseok@pnu.edu

** Sung-jae, Master's Student, Dept. of Computer Engineering, Pusan National University. sjyoo@pnu.edu

*** Ki-Joune Li, Professor, Dept. of Computer Engineering, Pusan National University. lik@pnu.edu

관계들을 중심으로 다루는 데이터 모델인, IndoorGML[11,12]가 현재 OGC (Open Geospatial Consortium)의 표준으로 만들어지고 있다. IndoorGML의 기본 철학은 실내를 구성하는 기하 객체를 표현하기 위해서 기존의 표준들을 활용하면서 다양한 실내 응용들의 활용 위해 실내공간의 의미정보와 위상정보를 모델링하는 것이다. 많은 실내 데이터들이 IFC나 CityGML과 같은 표준으로 구축되고 있기 때문에 이 구축된 데이터를 활용하여 IndoorGML을 생성한다면 IndoorGML의 구축비용과 시간을 줄여 경제적인 이득을 볼 수 있다. 따라서 실내공간의 모델링뿐만 아니라 IndoorGML과 기존의 실내 데이터 모델들의 조화를 이루는 것 또한 IndoorGML이 표준으로서의 가진 중요한 과제이다.

본 논문에서는 실내 데이터 모델 중에서 CityGML로 구축된 데이터를 활용하는 방안에 대해서 제시한다. CityGML과의 IndoorGML의 대응 관계에 대해 분석하고, CityGML로 구축된 건물의 LOD(Level of Detail)4의 데이터를 IndoorGML의 데이터로 유도하는 과정에 대해서 소개한다. 그리고 개별적으로 구축된 IndoorGML과 CityGML 데이터 간의 연결할 때, 발생하는 여러 문제점들과 해결방안에 대해서 논의한다. 이후 논문의 내용은 다음의 순서로 구성되어 있다. 2장에서는 두 표준 IndoorGML과 CityGML 및 관련 연구에 관하여 조사하고, 연구 동기를 밝힌다. 3장에서는 문제제기 및 전체적인 과정을 설명하고, IndoorGML과 CityGML과의 대응되는 관계를 정의한다. 4장에서는 CityGML에서 IndoorGML의 요소들을 생성하고 이를 CityGML과 연결하는 방법과 IndoorGML의 요소들에서 내비게이션에 적합하도록 네트워크 구조를 생성하는 방법을 제시한다. 5장에서는 제시된 유도 및 연결 방법에 따른 생성 결과에 대해서 살펴본다. 그리고 6장에서는 연구의 결과를 정리하고 향후 연구에 대해서 논의한다.

2. 관련 연구 및 연구 배경

2.1 IndoorGML

IndoorGML은 실내공간 정보의 표현 및 저장, 교환을 위한 데이터 모델이자 XML 스키마 기반의 GML3 [14]의 응용 스키마이다. IndoorGML은 현재 버전 0.8.2로 OGC의 표준화 과정 중에 있으며, 본 논문에서는 연구를 위해 IndoorGML의 0.8.2 버전[13]을 참고한다. IndoorGML은 건물을 구성하는 지붕, 벽, 천장

과 같은 구조물들뿐만 아니라 방과 복도, 계단 같은 이동이 가능한 공간적인 요소들을 고려한다. 특히, IndoorGML은 실내 내비게이션과 같은 응용 시스템을 위해 공통적으로 필요한 요소들을 포함하고 있다. 한 예로, [10] 연구에서는 실내공간 멀티미디어의 위치정보를 인코딩하기 위해 IndoorGML을 활용하였다.

Figure 1은 구조화된 공간 모델을 설명하는 그림으로 원시공간(primal space)과 쌍대공간(dual space)의 측면 그리고 기하공간과 위상공간의 측면을 구분 짓고 그들 간의 관계를 나타내고 있다. 실세계에서 실내 공간을 구성하고 있는 기하객체의 모습을 그대로 담고 있는 것이 그림의 왼쪽 위의 원시공간의 기하공간이다. Poincare Duality[9]의 원리를 적용하여 생성되는 쌍대공간에서 3차원 셀(실내공간을 표현하는 기본 단위)을 노드로 표현하고, 셀과 셀이 만나는 2차원 객체인 면을 에지로 대응하여 만들어지는 객체가 그래프이다. 이 구조가 IndoorGML에서 기초를 이루는 모델이다.

IndoorGML은 기본적인 프레임워크를 제공하는

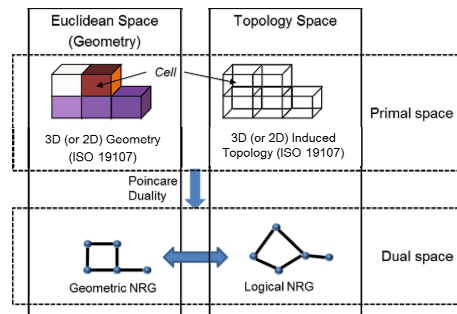


Figure 1. Structured space model

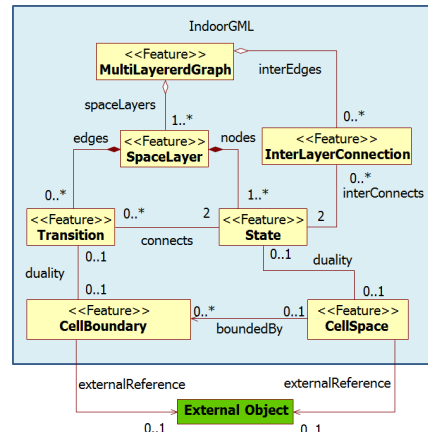


Figure 2. Core module of IndoorGML

IndoorCore 모듈과 내비게이션을 위해 필요한 요소들을 IndoorCore 모듈에서 확장하여 정의한 Indoor Navigation 모듈로 구성된다. Figure 2는 앞서 언급한 구조화된 공간 모델을 반영하여 만들어진 IndoorGML의 모델을 간략하게 나타낸 다이어그램이다. 쌍대공간에서 노드와 에지가 그림에서 각각 State와 Transition이며 노드와 에지들로 구성되는 그래프가 SpaceLayer이다. State와 Transition은 각각 gml:Point와 gml:Curve를 기하로 가질 수 있기 때문에 위상 그래프뿐만 아니라 기하 그래프로 SpaceLayer를 표현할 수 있다.

IndoorGML에서는 서로 다른 여러 개의 SpaceLayer를 중첩하여 MultilayeredGraph를 구성할 수 있다. 이것은 topographic 레이어뿐만 아니라 센서의 커버리지에 의해 구성되는 공간들을 노드로 하는 센서 레이어를 구축하여 서로 다른 레이어를 연결하여 다양한 응용에 활용할 수 있다. 이때, 서로 다른 레이어의 노드들 간에 관계를 나타내는 에지가 InterLayerConnection이다.

Figure 1에서 원시공간에 존재하는 셀에 해당하는 지형지물이 Figure 2의 CellSpace이며, 이를 둘러싸는 면은 CellBoundary이다. 따라서 CellSpace와 CellBoundary가 각각 State와 Transition과 duality 관계를 가진다. CellSpace는 IndoorGML에서 공간의 의미적인 요소와 기하를 모델링하기 위해 사용된다. CellBoundary는 공간을 둘러싸는 기하와 공간과 공간 사이의 관계를 표현한다. CellSpace와 CellBoundary는 기하를 직접 표현할 수 있지만, Figure 2에서 나타나는 것과 같이 외부참조(externalReference)를 통해 외부객체(External Object)를 접근할 수 있다.

Figure 3과 같이 IndoorGML의 Navigation 모듈에서 CellSpace를 상속받은 NavigableSpace는 사람이나 로봇 등이 이동할 수 있는 공간으로 의미에 따라 General Space와 TransferSpace로 구분된다. GeneralSpace는

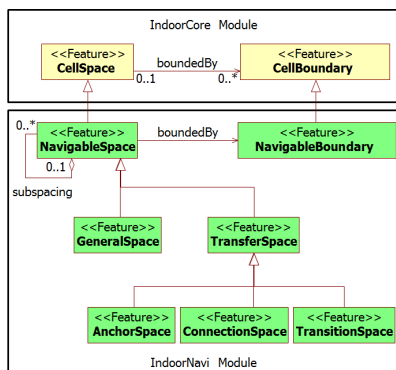


Figure 3. Navigation module of IndoorGML

TransferSpace를 제외한 방, 회의실과 같이 주로 사람이 머물러서 생활하는 일반적인 공간을 의미한다. 반면, TransferSpace는 일반적인 공간들 사이를 이어주는 통로의 의미로 정의되는 공간이다. TransferSpace는 다시 ConnectionSpace, AnchorSpace, TransitionSpace로 세분화 된다. TransitionSpace는 복도나 계단과 같은 이동공간을 위한 클래스이다. ConnectionSpace는 문과 같이 NavigableSpace에 존재하여 연결하는데, 단 3차원에서 볼륨을 가지거나 2차원에서 면적을 가지는 공간이어야 한다. IndoorGML은 실내뿐만 아니라 실외와의 내비게이션을 가능하도록 연결점을 두고 있는데, AnchorSpace는 외부와 연결되는 출입문에 대응되는 공간이다. CellBoundary를 상속받은 NavigableBoundary는 NavigableSpace 사이의 경계에 존재하여 두 공간 사이의 관계를 나타내는 클래스이며, 앞서 ConnectionSpace와 동일한 의미를 가지지만 경계이기 때문에 부피나 면적이 없다.

2.2 CityGML

CityGML은 3차원 가상 도시 모델을 저장 및 교환하기 위한 XML 스키마 기반의 GML3의 응용 스키마이며, 현재 CityGML 버전 2.0이 OGC의 표준이다. LOD0, 1, 2, 3에서는 실외의 지리정보를 주로 표현하고 있고, 세밀한 LOD4에서는 실내의 구성 요소들을 표현한다. 본 논문에서는 CityGML의 Building 모델에 대해 살펴본다.

Figure 4는 CityGML 빌딩 모델 중에서 지형지물 요소들과 그들 간의 구성관계를 나타낸 개략적인 다이어그램이다. CityGML의 빌딩은 벽, 천장, 바닥 등의 면(BoundarySurface)과 방, 복도와 같은 공간(Room), 문이나 창문과 같이 공간과 공간 사이에 존재하는 틈

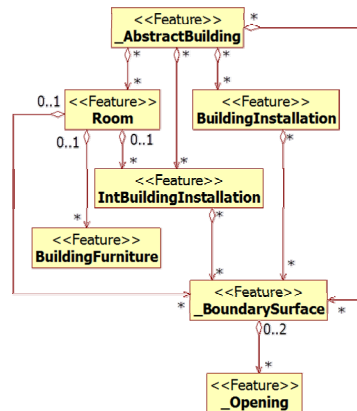


Figure 4. Building model of CityGML

린 공간(*Opening*), 건물의 실내의 설비(*IntBuilding Installation, BuildingInstallation*), 그리고 실내에 존재하는 가구(*BuildingFurniture*)들로 구성된다. *Room*은 LOD4의 지형지물로 두 가지의 형태로 기하를 표현할 수 있다. GML의 기하객체 입체(*gml:Solid*)나 집합면(*gml:MultiSurface*)으로 표현하거나, 위상적으로 둘러싸는 *_BoundarySurface*들의 집합으로 *Room*을 표현할 수 있다.

CityGML에서 건물을 구성하는 천장, 지붕, 바닥과 같은 구조물은 입체가 아닌 면인 *_BoundarySurface*로 표현된다. 즉, 컴포넌트의 단위가 아니라 3차원의 시각화의 관점에서 보이는 면들을 강조한다. LOD3으로 표현되는 건물의 외곽면으로 *RoofSurface, WallSurface, OuterCeilingSurface, OuterFloorSurface, GroundSurface*가 있으며, LOD4로 표현되는 실내의 면으로는 *InteriorWallSurface, CeilingSurface, FloorSurface*가 있다. 앞서 언급한 면들은 가시화되는 면들이지만, *ClosureSurface*는 가시화되지 않는 다른 특성을 가진 면이다. *Room*은 반드시 *_BoundarySurface*로 둘러싸인 닫힌 공간이어야 하기 때문에 부엌과 거실처럼 물리적인 경계가 아니라 의미적으로 공간을 구분할 때, 두 공간 사이의 경계면으로 *ClosureSurface*가 사용된다.

대부분의 공간은 다른 공간과 문이나 창문으로 연결되어 있다. *_Opening*이 *_BoundarySurface*에 속해 있으며, 동시에 위상적으로 연결되어 있다. *_BoundarySurface*에 문이나 창문에 해당하는 부분은 면에서 내부경계인 홀(*hole*)로 표현된다. CityGML의 데이터를 통해서 연결성(connectivity)을 찾기 위해서는 반드시 *_Opening*과 *ClosureSurface*를 활용해야 한다.

2.3 연구 동기

Figure 2에서 나타나는 것과 같이 IndoorGML은 외부참조를 통해 CityGML을 연결하는 것이 가능하다고 설명하고 있다. 실내 데이터들이 표준인 CityGML로 구축되거나 BIMServer[1]와 같이 IFC에서 CityGML로 데이터 변환을 지원하는 도구들이 존재한다. 따라서 이러한 도구들을 통해 IndoorGML을 생성하거나, IndoorGML의 기하에 대한 표현을 CityGML로 연결하여 대체한다면 기존에 존재하는 데이터의 활용도가 높아지므로, 데이터 구축의 중복을 막을 수 있고, IndoorGML 데이터의 생성에 효과적이며, 경제적인 이득을 볼 수 있다.

CityGML의 *Building* 모델에서 포함하고 있지 않는 실내공간의 이동객체나 센서와 같이 추가적인 지형지

물들과 위상관계를 ADE (Application Domain Extensions)의 규칙을 적용하여 실내공간 데이터 모델을 만드는 연구가 진행되었다[6]. 하지만 CityGML로부터 유도하여 IndoorGML 데이터를 생성하는 방법에 대해서 제시하는 것은 아니다.

따라서 본 논문에서는 CityGML으로 구축된 LOD4의 데이터를 IndoorGML 데이터로 유도하는 방법을 제안하고, 두 표준으로 만들어진 XML 인스턴스 문서들을 연결할 때 발생하는 문제들과 이슈들에 대해 논의하고, 가능한 해법들을 제시한다.

3. IndoorGML과 CityGML의 관계

3.1 IndoorGML의 생성 과정

본 논문은 CityGML에서 IndoorGML의 데이터를 유도하여 생성하고 이를 연동하는 방법에 초점을 맞춘다. Figure 5는 본 논문에서 제안하는 유도 방법의 전체적인 과정에 대해서 설명하는 그림이다. 우선 첫 번째로 CityGML에서 나타나는 *Room*의 대응되는 IndoorGML의 실내공간요소를 먼저 생성한다. 실내에서의 길찾기와 같이 경로를 만들기 위해서는 실내공간들 간의 연결관계가 필요하므로, 두 번째 단계에서 실내공간들의 위상관계로 생성한다. 이동 경로는 구체적인 형태를 가지고 있기 때문에 세 번째 단계에서 위상의 구체적인 기하객체를 생성한다. 마지막으로 IndoorGML에서 CityGML의 구체적인 요소들을 외부참조를 통해 연결한다.

IndoorGML 요소들을 유도하여 생성하기 위해서는 CityGML의 요소가 IndoorGML의 어떤 요소에 대응되는지를 우선적으로 살펴볼 필요가 있다. Table 1은

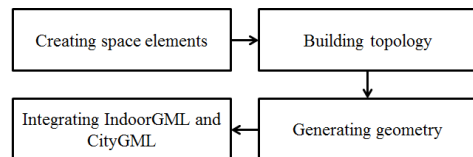


Figure 5. Process of Generating IndoorGML

Table 1. Relationship between CityGML and IndoorGML in class level

CityGML element	IndoorGML element
Room	GeneralSpace
Room	TransitionSpace
Door	ConnectionSpace
Door	AnchorSpace

IndoorGML과 CityGML의 요소 간의 대응관계를 나타내는 표이다. 하지만 CityGML의 Room과 같이 IndoorGML과 CityGML의 지형지물 간에 1:1 정확한 매칭이 이루어지지 않는다. 다음 절에서는 CityGML의 실내공간 데이터를 IndoorGML의 데이터로 생성하기 위해서 의미적으로 세부적인 대응관계에 대해 살펴본다.

3.2 공간의 의미적 대응관계

Table 1에서 IndoorGML의 클래스에 대응되는 CityGML 관계가 나타나 있지만, CityGML에서는 공간의 타입을 클래스 레벨에서 분류하고 있지 않다. CityGML에서 실내공간은 Room 클래스만 존재하므로, 해당 공간이 IndoorGML의 GeneralSpace인지 TransitionSpace인지 명확히 구분할 필요가 있다.

CityGML로 생성된 실내공간을 의미적으로 분류하여 IndoorGML의 클래스로 대응시키기 위해, 본 논문에서는 두 가지의 문헌을 참고하여 실내공간의 타입을 제시한다. 첫 번째 참고 문헌은 CityGML의 Annex C에 수록된 Room의 function과 usage 속성에 대한 CodeList이다. 두 번째로 [15] 연구에서 제시하는 Indoor Navigation Ontology를 참고한다.

Figure 6은 의미적으로 IndoorGML과 CityGML에 부합되는 요소들을 분류하고 정리한 것이다. 방과 같은 일반적인 공간으로 TransferSpace에 해당하지 않는 공간일 경우 GeneralSpace에 대응된다. Figure 6에서 통로(passage)의 의미를 가지는 복도(corridor), 계단(stairway), 에스컬레이터(escalator), 엘리베이터(elevator), 무빙워크(moving walkway), 경사로(ramp), 로비(lobby)는 TransitionSpace와 대응된다. BuildingExit는 건축물의 출입구와 같이 외부와 연결되어 있는 문을 의미하고, 이는 AnchorSpace에 대응된다. BuildingExit를 제외한 실내공간을 연결하는 Door는 Connection

Space에 대응된다. BuildingExit와 Door는 모두 CityGML의 Door이며, 이를 구분 지을 수 있는 CityGML의 특징은 LOD3을 기하로 가지고 있는가 여부이다. 즉, LOD3일 경우 BuildingExit가 된다.

앞에서는 Room이 부피를 가진 공간일 경우에 대해서 살펴보았다. CityGML로 구축된 데이터를 다수 분석해 본 결과, Door가 부피를 가지는 공간이 아닌 단순한 면으로 표현되는 경우가 종종 있다. 이때는 Door를 NavigableSpace가 아닌 NavigableBoundary로 간주한다. ClosureSurface는 단순히 Room의 경계가 아니라 통행이 가능한 가상적인 통로이므로 NavigableBoundary에 대응된다.

4. CityGML에서 IndoorGML 유도

4.1 IndoorGML에서 CityGML의 연결 생성

앞서 살펴본 대응관계를 통해서 CityGML의 요소에 해당하는 IndoorGML의 NavigableSpace 및 NavigableBoundary를 생성한다. IndoorGML의 NavigableSpace와 NavigableBoundary의 externalObject를 통하여 URI를 CityGML의 해당하는 요소의 XPath로 작성하여 연결한다. 이때, IndoorGML에서 CityGML의 요소를 참조하기 위해서는 반드시 CityGML의 Room, Door, ClosureSurface는 고유한 id가 요소의 속성으로 존재해야 한다.

CityGML에서 나타날 수 있는 공간 타입에 대한 분류와 대응관계를 제시하였지만, CityGML에는 공간을 Room으로만 표현하기 때문에, Room에서 공간의 타입을 자동적으로 분석하여 정확하게 매칭 시키는 것은 거의 불가능하다. 우리는 자동적인 공간 타입을 구분하는 것을 돕는 몇 가지 팁을 제시한다.

첫 번째 방법은 Room의 function과 usage 속성을 활용하는 것이다. CityGML의 Annex C에서 function과 usage 속성에 미리 정의된 CodeList 값을 제공하고 있다. CodeList는 확장 가능한 열거형 타입으로 유일한 의미를 가질 수 있도록 이름공간을 필요로 하고 XML의 인스턴스 형태로 코드들의 목록을 가진다. 미리 정의된 CodeList 값들 중에서 TransitionSpace에 해당하는 것들에는 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터, 로비의 네 가지가 있다. Room의 function과 usage의 속성 값 자체가 없거나 네 가지의 CodeList 값에 해당하지 않을 경우에는 NavigableSpace로 대응시킬 수밖에 없다.

두 번째 방법은 연결관계를 통해서 TransitionSpace를 유지하는 방법이다. [7] 연구에서는 실내공간을 계

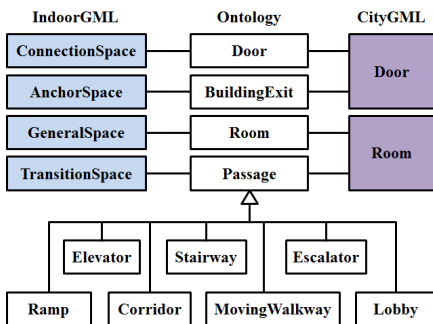


Figure 6. Mapping between IndoorGML and space types

층 그래프로 생성하는 방법에 대해 주로 설명하고 있는데, 연결성을 통해서 방이 될 확률이 높은 공간을 찾는 방법에 대해서도 제시하고 있다. 공간구문론[4]의 통제도(control value)를 통해서 공간의 특성을 분석하였다. 이들에 따르면 통제도가 1보다 작은 경우에 *GeneralSpace*가 되고 1보다 클 경우에는 *Transition Space*가 될 확률이 높다. 왜냐하면 *TransitionSpace*는 공간들 간의 통로 역을 하기 때문에 반드시 다른 공간들과 다수의 연결이 존재하고, 이러한 특성이 통제도에 반영되기 때문이다. 따라서 *Room*에 연결된 *Door*나 *ClosureSurface*를 통해 생성되는 *connectivity*를 이용하여 통제도를 계산한 후에 *Room*의 대략적인 분류가 가능하다.

4.2 자동적인 State, Transition의 기하 생성

이 절에서는 4.1에서 제시된 방법을 이용하여 만든 IndoorGML의 원시공간(primal space)의 *CellSpace*와 *CellBoundary*를 쌍대공간(dual space)의 그래프로 생성하는 방법에 대해 알아본다. CityGML의 대응관계로 만들어진 *NavigableSpace*의 duality 관계를 가지는 *State*를 생성한다. 연결정보와 같이 단순한 위상 관계만을 필요로 한다면 *State*를 생성하는 것만으로 충분하지만, 내비게이션과 같이 구체적인 경로의 가시화를 위해서는 *State*의 기하객체를 생성할 필요가 있다. 적절한 위치에 *State*를 생성하기 위해서는 *CellSpace*의 기하 정보를 통해서 이 공간 안에 존재하는 대표점을 찾아야 한다. *State*의 위치를 생성하는 방법 중에서는 한 가지는 골격화(skeletonization) 알고리즘을 사용하는 것이다.

Figure 7의 왼쪽과 같이 *State*를 생성하려는 *CellSpace*에 연결된 CityGML의 *Room*에서 *FloorSurface*의 기하를 찾는다. 이 면을 입력으로 하여 CGAL (Computational Geometry Algorithms Library)[3]에서 제공되는 2D Straight Skeleton and Polygon Offsetting 모듈을 이용하여 골격화 알고리즘을 적용하여, 그림의 오른쪽과 같이 중심이 되는 다각선을 추출할 수 있다. 이 선위에 적절한 점을 *State*의 기하 객체로 만든다.

*Transition*을 생성하기 위해서는 원시 데이터로부터 공간들 사이의 연결관계를 찾아야 한다. *Room*을 둘러

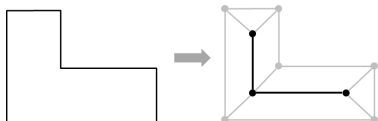


Figure 7. Example of Skeletonization

싸는 *BoundarySurface* 중에서 *Door*를 포함하는 것을 찾거나 *ClosureSurface*를 찾아야 한다. 만약 CityGML의 데이터가 유효하다면 *Door*는 두 개의 *Room* 또는 하나의 *Room*과 외부의 벽과 연결되어 있다. 따라서 *Room*에서 생성된 *State*와 해당 *Room*에 연결된 *Door*의 *State*를 가지는 *Transition*으로 생성한다. 이와 마찬가지로 *ClosureSurface*를 공유하는 *Room*들의 *State*들을 *Transition*으로 생성한다. 이 *Transition*은 *ClosureSurface*에서 생성된 *NavigableBoundary*와 duality로 쌍을 이룬다. *Transition*의 기하를 자동적으로 생성하는 가장 간단한 방법은 두 개의 *State*의 기하를 직선 보간법으로 연결하는 것이다. 하지만 이 방법으로 생성된 *Transition*의 기하가 벽을 통과할 수도 있기 때문에 *Transition*의 적절한 기하를 생성하는 것은 또 다른 연구과제가 된다.

Figure 8은 앞서 살펴본 과정을 적용하여 CityGML에서 유도되는 topographic 레이어를 생성한 예제이다. 이렇게 생성된 *SpaceLayer*로 실내의 위성적인 구조는 알 수 있지만, 공간에서의 사람의 이동 경로를 반영하지 못하기 때문에 실질적인 내비게이션 시스템에 그대로 적용하기에는 부족하다. 예를 들어, 예제에서 n_2 에서 n_9 으로 이동하는 경로를 계산하거나 내비게이션의 경로를 가시화하게 되면 일반적인 사람들의 이동 경로와는 다소 차이가 있다.

4.3 Subspacing을 통한 내비게이션 경로 개선

앞서 CityGML에서 생성된 그래프로는 내비게이션과 같이 실내의 응용에 활용되기 부족하다. 내비게이션의 경로가 어색한 이유는 두 가지의 경우로 설명된다. 첫 번째는 Figure 8에서 n_7 노드와 같이 복도처럼 큰 하나의 공간에 다수의 문이 연결된 경우이다. 두 번째는 공간의 footprint가 L자 형태와 같이 convex hull이 아닐 때, *Transition*이 벽을 통과하는 경우이다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 topographic 레

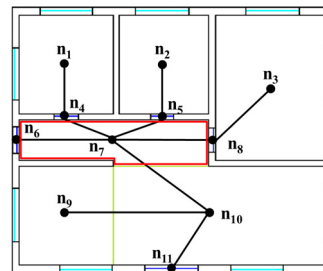


Figure 8. Topographic layer derived from CityGML

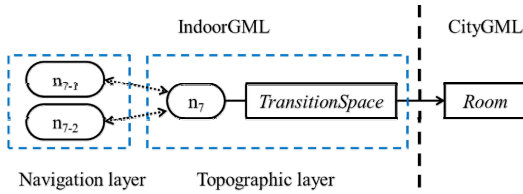


Figure 9. Connection between State and CellSpace

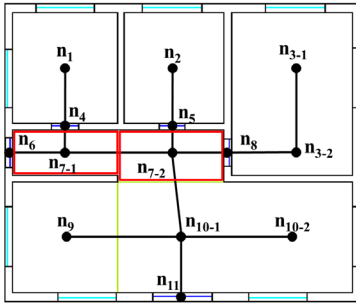


Figure 10. Navigation layer after subspaceing

이러를 기반으로 내비게이션 레이어를 생성한다.

Figure 8에서 하나의 n_7 은 다른 State가 5개 연결되어 있다. CityGML에서 유도된 topographic 레이어와 별도로 이를 Figure 9와 같이 n_7 을 둘로 분할하여 n_{7-1} 과 n_{7-2} 로 새로운 레이어를 생성한다면 5개의 연결을 두 State로 나누어서 연결을 구성할 수 있다. Figure 10에서 나타나는 것처럼 하나에 집중되어 있는 연결을 n_{7-1} 과 n_{7-2} 에 분산시키면, 다른 노드들의 연결성을 3이나 4정도로 만들 수 있다. 그리고 위치를 내비게이션 레이어의 n_{7-1} 과 n_{7-2} 는 topographic 레이어의 n_7 과 IndoorGML의 *InterLayerConnection*을 이용하여 연결되어 있다.

4.4 개별 작성된 IndoorGML과 CityGML의 연결

이 절에서는 동일 실내공간에 대해서 개별적으로 생성된 IndoorGML과 CityGML 데이터가 존재할 때, IndoorGML이 CityGML을 참고하기 위한 연결방법을 제시한다. 이 경우에는 CityGML의 Room과 IndoorGML의 CellSpace의 기하가 1:1로 정확하게 대응이 안 될 가능성이 높다. 다음의 Figure 11은 CityGML과 IndoorGML의 공간이 M:N으로 서로 다르게 겹쳐 있을 경우를 나타낸 예제이다. 이 예제에서 CityGML 데이터는 Room₁과 Room₂의 두 공간으로 구성되어 있고, IndoorGML은 N₁, N₂, N₃의 3개의 노드로 된 Layer₁으로 구성되어 있다. 이 예제를 통해서 공간들 사이에

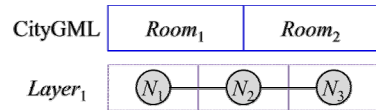


Figure 11. M:N relationship in spaces

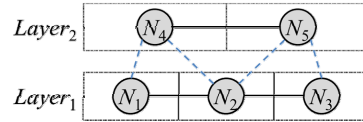


Figure 12. Overlapping layers

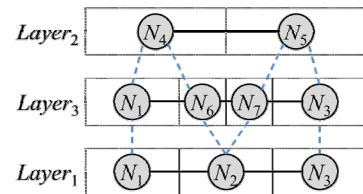


Figure 13. Sharing the subspaceed layer

M:N의 관계를 가질 때의 두 가지 연결 방법에 대해 제시한다.

첫 번째는 CityGML의 topographic 레이어와 IndoorGML 데이터의 레이어를 별도의 두 공간으로 취급하고, 이들 간의 겹침(overlap)관계로 *InterLayerConnection*을 생성하는 것이다. CityGML에서 유도하여 IndoorGML을 생성하는 방법으로 새로운 SpaceLayer를 추가한다. Figure 12에서 Layer₂에 있는 N₄와 N₅는 CityGML의 Room₁과 Room₂에 각각 대응되는 State이다. N₄는 위상적으로 N₁과 포함(contain)관계와 N₂와는 겹침(overlap)관계를 가진다. N₅는 N₂와 겹침 관계를 그리고 N₃과는 포함관계를 가진다. 앞서 언급한 노드들 간의 위상 관계를 각 *InterLayerConnection*의 속성의 값으로 만든다.

두 번째는 CityGML로 유도된 topographic 레이어와 IndoorGML의 레이어를 교차시켜 만들어진 영역들로 새로운 레이어를 생성하고, 이 레이어를 서로 공유하는 방법이다. Figure 13에서 Layer₃은 Layer₁과 Layer₂ 사이에 존재하는 모든 교차영역을 분할하여 만든 SpaceLayer이다. N₁은 공간적으로 N₄에 속하므로 Layer₃에 N₁은 그대로 존재한다. 동일한 이유로 N₃도 N₅에 포함되어 Layer₃에 존재한다. N₂, N₄, N₅가 교차하여 만들어진 공간이 N₆, N₇이다. 앞서와 마찬가지로 이들 간의 위상 관계를 *InterLayerConnection*의 속성 값으로 만든다.

5. 데이터 생성 결과 분석

본 논문에서는 CityGML의 데이터를 활용하여 IndoorGML의 데이터를 유도하고 CityGML과 연동하는 것을 중점적으로 다루고 있다. 이 장에서는 제시된 유도 방법에 따라 IndoorGML 데이터를 생성하고, 그 결과가 적합한지를 검증한다. 4.4절에서 제시한 개별 작성된 IndoorGML과 CityGML 문서들 간의 연동 부분을 제외하고, IndoorGML 생성 과정과 유도 방법에 따라 시스템을 구현하였다.

검증 과정은 CityGML의 요소들이 IndoorGML의 요소에 올바르게 대응되었는지 확인하고, IndoorGML의 요소가 외부 참조에 적절하게 대응되어 CityGML 데이터를 활용 가능한지 확인하는 것으로 구성된다. Figure 14는 데이터 생성을 위해 사용된 CityGML의 LoD4 데이터로, 14개의 공간과 16개의 문으로 구성된 3층 건물이다.

먼저 XML 제작 및 유효성 검사에 사용되는 도구 (Altova XMLSpy)로 XML Schema 유효성 검사를 시행하였으며, 그 결과 생성된 IndoorGML 인스턴스 문서는 유효한 것을 확인하였다. 각 요소가 올바르게 대응되고 외부참조가 적절한지를 살펴보기 위해서, Figure 16는 Figure 14의 예제 건물에서 생성된 IndoorGML의 인스턴스 문서의 일부분을 발췌한 것이다. 이 그림에서 <informationSystem> 요소가 외부참조의 대상을 의미하고 있으며, 이 요소의 값인 “FJK-Haus-LoD4-V3.gml”은 CityGML의 소스 파일의 경로이고, “GMLID_BUI253135_1424_3471”는 IndoorGML의 식별자 “SR1”인 공간에 대응되는 CityGML의 Room의 구체적인 식별자, 즉 gml:id의 값이다. 이 외부참조를 통해서 IndoorGML의 응용프로그램은 CityGML의 요소를 접근할 수 있다. 그리고 <State> 내에 있는 <geometry>는 방의 중심으로 생성된 기하 객체이다.

Figure 15는 생성된 <State>의 기하객체가 적합한지 확인하기 위해 자동 생성된 IndoorGML의 2층의 결과를 보여주는 그림이다. 골격화 알고리즘을 통해 공간의 중심을 따라서 내비게이션 경로가 생성된 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 본 논문에서 제시한 방법에 따라 CityGML 데이터로부터 IndoorGML 문서를 생성하고 외부참조를 통해 이 두 표준 문서간의 연동이 이루어진 것을 확인할 수 있다.

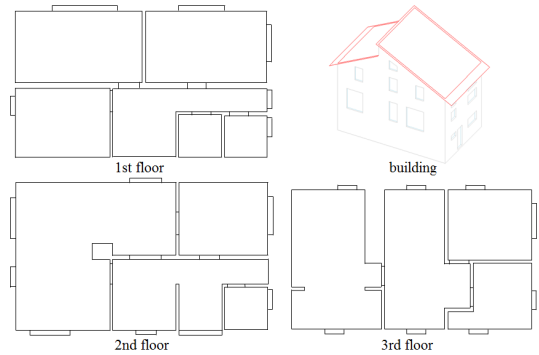


Figure 14. Example data

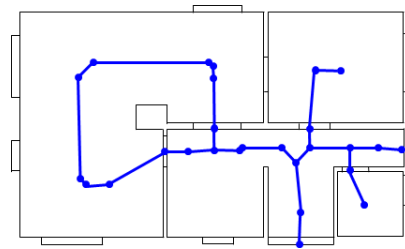


Figure 15. Generated IndoorGML

```

<nodes gml:id="N0">
  <stateMember>
    <indoorcore:State gml:id="R1">
      <gml:name>002</gml:name>
      <duality gml:id="SR1">
        <gml:name>001</gml:name>
        <externalReference>
          <informationSystem>
            FJK-Haus-LoD4-V3.gml
          </informationSystem>
          <externalObject>
            <name>
              GMLID_BUI253135_1424_3471
            </name>
          </externalObject>
        </externalReference>
      </duality>
      <geometry>
        <gml:Point gml:id="P1">
          <gml:pos>
            445536.499779417
            5444906.24858758
            -2.02
          </gml:pos>
        </gml:Point>
      </geometry>
    </indoorcore:State>
  </stateMember>
</nodes>
    
```

Figure 16. Generated IndoorGML instance document

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 IndoorGML에서 CityGML 데이터를 활용하기 위해 유도 및 참조하는 방법을 알아보았다. 먼저 IndoorGML과 CityGML 요소들 간의 대응관계를 정리를 통해 CityGML에서 IndoorGML의 요소를 생성하고, CityGML에 외부참조를 통해 연결하였으며. duality를 통해 *State*와 *Transition*을 생성하여 기초적인 레이어를 생성하는 방법에 대해 살펴보았다. 동일 공간에서 개별적으로 생성된 IndoorGML과 CityGML 데이터 사이에 발생하는 불일치를 해결하기 위해서, 위상적인 관계를 바탕으로 새로운 레이어를 생성하고 *InterLayerConnection*을 이용하여 레이어들 간을 연결하는 방법을 소개하였다. 실내공간 서비스를 구축할 때, CityGML 데이터를 재사용할 수 있게 함으로써 데이터 구축 비용을 줄일 수 있다.

현재는 CityGML의 데이터로부터 내비게이션을 위한 경로를 생성하는 과정에서 사람의 판단을 필요로 하는 부분들이 여전히 존재한다. 더 효율적인 실내공간 활용을 위해서는 이 과정을 자동화하는 알고리즘을 개발하는 연구가 필요하다. IFC는 실내공간을 표현하는 주요 데이터 모델이며 많은 분야에서 활용되고 있다. CityGML과 IFC는 실내공간 객체에 대한 모델링에 차이가 존재한다. 따라서 마찬가지로 IFC에서 IndoorGML에서의 유도하고 활용하는 구체적인 방법이 필요하다.

References

- [1] BIMServer, Accessed October 24. 2013. <http://bimserver.org>.
- [2] buildingSMART, IFC4 (Industrial Foundation Classes XML 4) RC4, Accessed October 24. 2013. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifcxml-releases/ifcxml4-release>.
- [3] Computational Geometry Algorithms Library, Accessed October 24. 2013. <http://www.cgal.org>
- [4] Hiller, B. 1984, The social logic of space.
- [5] Indoor Google Maps, Accessed October 24. 2013. <http://maps.google.com/help/maps/indoormap/>.
- [6] Kang, H. Y; Hwang, J. R; Lee, J. 2013, A Study on the Development of Indoor Spatial Data Model Using CityGML ADE, Journal of KSIS, 21(2): 11-21.
- [7] Kim, J. S; Han, Y; Li, K. J. 2012, K-anonymity in indoor spaces through hierarchical graphs, Proceedings of the Fourth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, 21-28.
- [8] Kolbe, T. H.; Groger, G; Plumer, L. 2005, Citygml interoperable access to 3d city models, Proceedings of the first International Symposium on Geo-Information for Disaster Management, 21-23.
- [9] Lee, J. 2004, 3d gis for geo-coding human activity in micro-scale urban environments, Geographic Information Science, 162-178.
- [10] Li, K. J. 2013, Geocoding Schema for Multimedia in Indoor Space Based on IndoorGML, Journal of KSIS, 21(3):1-10.
- [11] Li, K. J; Lee, J. 2013, Basic Concepts of Indoor Spatial Information Candidate Standard IndoorGML and its Applications, Journal of KSIS, 21(3):1-10.
- [12] Lee, J; Li, K. J; Zlatanova, S; Kolbe, T. H; Nagel, C; Becker, T. 2010, Requirements and Space-Event Modeling for Indoor Navigation, OGC 10-191r1.
- [13] OGC IndoorGML version 0.8.2. Accessed February 17. 2014. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=56681.
- [14] Open Geospatial Consortium, 2007, OpenGIS geography markup language (gml) encoding specification, OGC 07-036, Version 3.2.1.
- [15] Tsetsos, V; Anagnostopoulos, C; Kikiras, P; Hasiotis, P; Hadjiefthymiades, S. 2005, A human-centered semantic navigation system for indoor environments, Proceedings of International Conference on Pervasive Services, 146-155.

논문접수 : 2013.10.24

수정일 : 2014.02.19

심사완료 : 2014.02.28