Journal of Korea Spatial Information Society Vol.23, No.3 : 113-122, June 2015
http://dx.doi.org/10.12672/ksis.2015.23.3.113
ISSN 2287-9242(Print)
ISSN 2287-9250(Online)

실내공간 응용 서비스를 위한 공간분할 방법에 관한 연구

A Study of Subspacing Strategy for Service Applications in Indoor Space

강혜영* · 정효진** · 이지영***

Hye Young Kang · Hyo-jin Jung · Jiyeong Lee

요 약 최근 건축기술의 발달에 따라 초고층 건축물 및 지하시설물과 연계된 복합건축물 등과 같이 건축물들이 대형화 되고 있으며, 실내에서 활동하는 인구도 함께 증가하고 있다. 이에 따라 실내공간정보를 이용한 위치 기반서비스에 대한 요구도 증가하고 있다. 실내공간에서 효과적인 위치기반서비스를 위해 OGC IndoorGML 표준에 따라 실내 네트워크가 구축되고 있다. 하지만, 크고 복잡한 실내공간에 대해 단순한 네트워크 구조를 적용하여 실내 네트워크를 구축하는 것은 적합하지 않다. 실내 네트워크는 실내공간에서 주어지는 논리적, 물리적, 기능적 제약조건들을 잘 반영하여 구축되어야 하며, 공간간의 연결정보와 기하정보도 제공해야하기 때문이다. 이를 위해서는, 크고 복잡한 실내 공간을 적절한 크기의 공간으로 분할하는 방법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 효과적인 실내네트워크를 생성하기 위해 필요한 실내공간 분할 요구사항을 정리하고 그에 따른 실내공간 분할 프로세스를 제시하였다.

키워드 : 공간분할, 실내공간, 위치기반서비스, IndoorGML

Abstract Recently, according to developing advanced construction technologies, buildings has been enlarged such as high-rise buildings or complex buildings associated with underground facilities. The number of indoor activity population has increased very quickly. Because of that, technical requirements for Indoor location based service (Indoor LBS) also have been increased. Although indoor networks have to be constructed for efficient LBSs in indoor space based on OGC IndoorGML, it is not suitable for large and complex space to apply the simple network structure to constructing indoor navigation networks. The indoor navigation network has to be constructed according to logical, physical, and functional constraints for indoor space. In order to do that, subspacing methods are required to partition large and complex indoor space into proper size of subspace. In this paper, we proposed the basic requirements of subspacing in indoor space for creating efficient indoor network, as well the work process of subspacing in indoor space.

Keywords : Subspacing, Indoor space, Location-based service, IndoorGML

1. 서 론

건축기술이 발달함에 따라 초고층 건축물 및 지하시설물과 연계된 복합건축물 등과 같이 건축물들이 대형화되고 있으며, 실내공간에서 활동하는 인구 역시 증가하고 있다. 이에 따라 대형 건축물에서 대형 건축물 내부의 위치를 쉽게 파악하기 위한 실내 안내 서비스 등과 같이 실내공간 정보를 이용한 위치기반 서비스에 대한 요구도 함께 증가하고 있다.

실내 공간 정보를 이용한 위치기반 서비스를 제공하기 위해서는 실내공간 정보를 구축해야하고, 이를 바탕으로 사용자의 현재 위치를 결정하고 실내를 구성하는 공간들간의 연결관계를 파악하여야 한다. 우리나라에서는 2013년도부터 실내공간 데이터를 다양한 방법으로 구축하고 있으며, 이를 이용한 실내공간 서비스를 제공하기 위하여, OGC에서 실내공간 네비게이션을 위한 국제표준으로 제정한 IndoorGML[10]을 기반으로 실내 네트워크를 구축하고 있다.

IndoorGML을 구축하는 간단한 방법은 Figure 1-b)와 같이 물리적 제약조건인 건축요소들(문, 벽, 창 등)으로 분리되는 모든 공간을 하나의 노드로 설정하고, 연결되어 있는 공간들의 관계를 에지로 설정하는 것

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

* Hye Young Kang, Research Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. hyezero@gmail.com
** Hyo-jin Jung, Master Student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. hyojin5919@uos.ac.kr
*** Jiyeong Lee, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. jlee@uos.ac.kr (Corresponding author)

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.

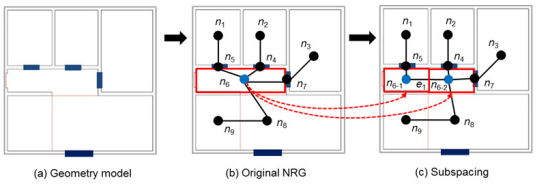


Figure 1. Example of Subspacing [10]

이다. 이와 같은 방법을 통해 IndoorGML을 구축하게 되면 구축은 단순하고 쉽게 이루어질 수 있으나, 활용성이 떨어진다. 예를 들어 킨텍스나 코엑스 등의 대형 전시홀과 같이 넓은 공간을 하나의 노드로 표현하게 되면, 실제로 사용자들이 원하는 실내공간 서비스를 제공하기 위해서는 각 전시홀에 설치되어 있는 개별적인 부스들의 공간적 연결정보가 필요하지만, 사용자들은 대형 전시홀과 로비 혹은 복도와의 관계를 이용한 단순한 네트워크만 이용할 수밖에 없다. 이에, IndoorGML에서는 Figure 1-c)와 같이 공간을 적절히 분할하여 실내 네트워크를 구축하도록 한다[10].

또한, 실내 네트워크를 통해 탐색된 경로정보를 통해 대략적인 공간적 거리를 측정할 수 있다. 그러나 앞서 이야기 한 것과 같이 단순한 형태로 구축된 네트워크에서는 공간을 표현하는 노드간의 거리정보를 활용할 수 없다. 예를 들어 50m 길이의 일자형 복도를 하나의 노드로 표현하게 될 경우 복도의 끝에 존재하는 방과 이웃하고 있는 방간의 실제거리는 거리는 10m내외이지만 실내 네트워크를 통해 계산할 경우 50m정도로 계산된다.

따라서, IndoorGML을 준용하는 효율적인 실내 공간정보를 구축하기 위해서는 실내공간을 적절한 크기의 공간으로 분할하여 네트워크를 구성할 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 실내 위치기반 서비스를 제공하기 위한 IndoorGML을 구축하기 위해서 실내공간 분할방법에 대해 정리하고, 이를 기반으로 실내공간 분할 프로세스를 제안하고자 한다.

2. 관련연구

실내공간에 대한 공간분할 방법은 크게 두 가지 관점으로 나눌 수 있다. 첫 번째 관점은 실내측위의 관점이고, 두 번째 관점은 경로탐색 서비스의 관점이다. 본 장에서는 이러한 2가지 관점에 따라 공간분할 방법과 관련된 기존 연구들을 살펴보고 한계점을 알아본다.

2.1 센서 배치를 위한 공간분할방법

실내 공간에서 만족스러운 위치 정확도를 얻기 위해서는 적절하게 센서를 배치하는 것이 중요하다. 센서의 배치를 어떻게 하는가는 정확도뿐만 아니라 설치비용도 결정되므로 적은 수의 센서를 배치하면서도 많은 범위에 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이에 따라 센서의 커버리지와 센서 공간을 고려하여 효율적으로 공간을 분할하고자 하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다.

먼저, 센서의 커버리지에 따라 공간을 분할하는 방법에는 보로노이 분할이나 정사각형 형태의 격자를 생성하는 것이 있다. 보로노이 분할[2,8,12]을 사용하는 경우는 센서가 배치될 공간에 대해 센서 커버리지에 따라 보로노이 분할을 수행하여 분할된 공간에 센서를 배치하는 방법이다. 센서의 커버리지를 반영한 정사각형 형태의 격자를 생성하고 겹쳐지는 부분에 대해 위치 오차에 따라 센서를 배치하는 방식의 연구 또한 수행되고 있다[1].

주어진 공간에 따라 센서를 배치하기 위해 일정한 삼각형을 격자로 하여 공간을 분할하고 격자 안에 센서를 배치하고 다시 센서의 범위에 따라 보로노이 분할을 사용하여 육각형으로 나누는 방법이 제시되기도 하였다[9,14]. Figure 2는 주어진 공간의 장애물을 고려하여 센서를 배치하는 방식으로 장애물과 주어진 공간의 겹쳐지는 부분을 작은 지역으로 분할하고 이외의 부분을 큰 지역으로 설정하는 연구가 진행되었다[13].

위의 연구들은 센서를 단순히 많이 설치하는 것이 위치 정확도를 높이는 방법이 아니며 보다 효율적으로 센서를 배치해야만 위치 정확도가 높아진다고 보고 있다. 효율적으로 센서를 배치하는 방법으로 센서가 배치될 공간을 어떻게 분할하는가에 달려있으며 특히 센서의 커버리지와 센서가 설치될 공간을 고려하여 공간을 분할하는 연구들이 많았다. 각각 경우에 따라 일정한 격자를 사용하거나 보로노이 분할 등을 사용하기도 하였으며, 센서가 배치되는 공간의 물리적인 제약사항까지도 고려한 연구들이 진행되고 있음

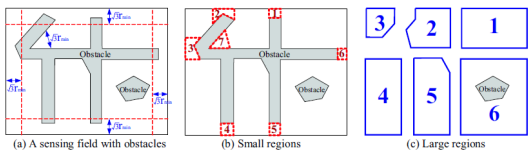


Figure 2. Example of Subspacing for Sensor Deployment[13]

을 확인하였다.

2.2 경로탐색을 위한 공간분할방법

이전의 경로탐색을 위한 공간분할 관련 연구들은 물리적이고 개념적인 단위로 공간을 분할하였으나 최근의 연구들은 공간의 기능적인 의미까지 반영하여 공간을 분할한다.

공간을 분할할 때 단순히 물리적이고 개념적인 단위로 나누는 것이 아니라 공간에서 제공되는 서비스나 자원 등을 고려하여 기능적인 공간으로 분할이 가능하게 할 개념적 프레임워크가 제시되었다[15]. 이 프레임워크를 통해 원하는 공간을 이동가능한 공간과 이동가능하지 않은 공간으로 나누고 이동가능한 공간에 대해 원하는 경로를 제공할 수 있는 발판이 되었음을 확인하였다. 또한, 공항, 박물관, 기차역 등의 건물 종류 등과 같은 공간에 대한 다양한 내부적, 외부적 요소들을 기반으로 기능적인 공간을 결정하여 이 결정된 공간에 따라 Figure 3과 같은 네트워크를 구축한 연구가 진행되기도 하였다[6]. [15]의 연구에서 좀 더 발전하여, 단순히 공간의 기능만 고려하지 않고, 다양한 요소를 고려하였으며 실제로 기차역에 대해 경로를 제공하였다. 그러나 실제의 보행자가 이동하는 경로와는 일치하지 않는 모습을 보였다. 실내 공간을 이동하는데 있어 사용자가 어떠한 방식으로 이동하느냐에 따라서도 공간 분할 방식이 달라질 수 있다. 이와 관련해서 걷기, 운전, 날기의 세 가지 이동방식에 대해서 각각에 해당하는 제약사항을 고려하여 공간을 분할하는 경우도 있었다[4,5]. 걷기의 경우 보행자의 이동을 의미하고 운전은 휠체어 등을 이용하는 사람들의 이동이고 날기는 UAV와 같은 소형 비행체의 이동을 의미한다. 단순한 일반 보행자 뿐만 아니라 휠체어를 이용해야 하는 사람과 비행체와 같은 사물의 이동까지 고려한 연구임을 확인하였다.

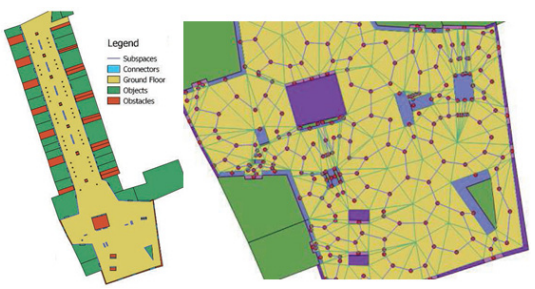


Figure 3. Example of Subspacing for Navigation[6]

이처럼 더 이상 단순히 공간을 물리적이고 개념적인 대상으로 보지 않고 특정한 기능을 가지고 있는 대상으로 보는 연구들이 진행되고 있었다. 또한, 공간을 이동하는 대상까지 고려하고 있음을 알 수 있었다.

2.3 선행연구의 한계점

정확한 위치정확도와 경로를 탐색하기 위한 다양한 공간분할 방법들을 살펴보았다. 센서의 배치의 경우 대다수의 연구에서 센서의 커버리지와 높은 정확도를 얻기 위해 노력하고 있었으나 실내 공간에서의 여러 가지 제약들에 대한 고려가 이루어지지 않고 있었다. 또한, 경로 탐색을 위한 경우에는 공간의 기능과 이동형태에 대해 연구는 있었으나 실내공간에 대해 통합적으로 고려하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 위치기반 응용서비스를 제공하기 위한 실내 공간 분할에 있어 통합적으로 고려할 사항을 정리하고 이에 따른 실내공간 분할 프로세스를 제안한다.

3. 실내공간 분할을 위한 프로세스

3.1 실내공간 분할을 위한 고려사항

실내공간을 위한 공간정보 서비스를 제공하기 위해서는 효율적인 네트워크 구성을 위한 실내공간 분할이 필요하다. 본 연구에서는 실내공간 분할을 위해서 고려해야할 사항을 실내 공간정보를 활용하는 응용서비스의 목적 및 형태, 사용자의 이동형태, 물리적 제약조건, 논리적 제약조건, 공간의 기능 등의 5가지 사항을 선정하였다.

- **실내 공간정보를 활용하는 응용 서비스의 목적 및 형태:** 서비스의 목적 및 형태에 따라 실내공간 분할 형태가 달라져야 한다. 예를 들어, 실내공간 경로 안내를 위한 응용 서비스에서는 실제 사람의 이동경로와 유사한 형태의 이동이 될 수 있도록 이동하는 공간을 중심으로 공간을 자세히 나누어 주어야 하며, 미술관 가상체험 등과 같은 응용 서비스의 경우에는 전시 작품을 중심으로 공간을 분할해야 한다. 또한, 서비스를 웹에서 제공할 경우에는 상세한 공간분할을 한 데이터도 충분히 활용 가능하지만, 이동장치를 위한 앱 서비스를 위해서는 데이터의 사이즈를 줄이는 것이 중요한 고려사항이다.
- **실내 공간정보 서비스 사용자의 이동형태:** [4,5]에서 살펴본 것과 같이 서비스를 이용하는 대상의 이

동형태에 따라 공간분할의 형태가 달라져야 한다. 이동하는 형태에 따라 이동속도가 달라지고 그에 따라 공간분할을 할 수 있는 최소한의 크기가 달라질 수 있기 때문이다. 예를 들어, 휠체어를 이용하는 사람들의 경우에는 휠체어의 평균속도인 8km/h에 의해 초당 이동할 수 있는 거리가 결정되며, 일반인의 경우 평균 보행속도가 4km/h로 휠체어를 이용하는 사람들보다는 짧은 거리를 이동할 수 있다. 이용자가 초당 이동 가능한 거리는 측위를 위해 센서를 배치할 때 역시 고려해야할 요소이다. 또한, 보행자의 경우에는 계단과 에스컬레이트 등과 같은 공간을 이용할 수 있지만, 휠체어를 이용하는 사람의 경우에는 이용할 수 있는 공간에 제약이 존재한다. 따라서 서비스 이용자의 이동형태를 공간분할에 고려해야 한다.

- **물리적 제약조건:** 실내공간은 물리적 특징에 의해 사람이 이동할 수 있는 공간과 이동할 수 없는 공간으로 나누어진다. 사람이 이동할 수 없는 공간은 건축물에 의해서 점유되어진 공간 또는 가구 및 시설물들에 의해 점유되어진 공간이다. 실내공간 분할은 이동가능한 공간만을 대상으로 수행할 것이므로, 전체 공간을 물리적 제약조건에 따라 이동 가능한 공간과 이동 불가능한 공간으로 나누어야 한다.
- **논리적 제약조건:** 실내공간은 실외공간에 비해 공간에 대한 접근 권한, 이동방향 및 운영시간 등의 다양한 제약조건이 부여되어 있다. 따라서 효율적인 경로 탐색 서비스를 위해서는 이러한 제약조건들을 모두 고려하여야한다. 예를 들어, 대형 쇼핑몰의 경우 일반 사용자들을 위해서는 상점으로의 접근성을 중심으로 공간분할이 필요하지만, 건물 순찰을 위해서는 상점뿐만 아니라 일반인이 접근할 수 없는 창고, 배전실 등을 고려하여야 한다.
- **공간의 기능:** 실내공간은 크게 이동을 위한 공간과 체류를 위한 공간으로 나눌 수 있다. 이동을 위한 공간은 복도, 계단, 로비 등과 같이 다른 공간으로 이동을 주요 목적으로 하는 공간이고, 체류를 위한 공간은 특정한 목적을 가지고 오랫동안 머무르는 공간으로, 강의실, 화장실, 사무실 등이 이에 해당한다. 이동을 위한 공간의 경우, 다른 공간과의 연결이 주요한 목적이므로 하나의 이동 공간에서 연결 가능한 공간(이동 공간 또는 체류 공간)이 여러 개 존재할 경우, 여러 개의 공간으로 분할하여 연결 가능한 공간과의 네트워크를 구축하여야 한다. 또한 홀 또는 로비 등과 같은 공간은 다양한 이동경로가 존재할 수 있으므로, 적절한 크기로 공간을 분할하여 현실

Table 1. Considerable Properties for Subspacing in Indoor Space

Concern of Parameter	
Service Type	*for PC*
	for Mobile Device
	Navigation
	Virtual Tour
	Simulation
Locomotion Type	*Driving*
	Walking
	Flying
Physical Constraint	*Navigable*
	Non-Navigable
Semantic Constraint	*Access Right*
	Working Time
	Direction
	Material
Functional Constraint	*Staying*
	Transition

과 유사한 경로를 생성 할 수 있는 네트워크를 구축해야 한다. 체류공간의 경우 경로안내 서비스일 경우에는 대부분 분할할 필요가 없으나, 재난 시뮬레이션 등과 같은 서비스를 위해서는 공간을 분할하여 구축해야한다.

실내 공간정보 서비스를 위해서는 이러한 고려사항들을 복합적으로 적용하여 적절한 공간분할을 수행해야한다. Table 1은 이러한 고려사항들을 간단한 키워드로 정리한 것이다.

3.2 실내 공간분할을 위한 요구사항

본 절에서는 각 응용서비스의 종류에 따라 적합한 실내 공간분할을 위해서 필요한 분할조건들을 선정하고 이에 대한 상세한 명세를 정의한다.

실내 공간분할을 위해서 필요한 조건은 총 4가지로 크기, 연결성, 모양, 가용성이다.

- **크기:** 주어진 공간을 자르는데 있어서 필요한 적절한 크기를 결정하는 것이다. 일반적으로 작은 크기로 자르는 것이 다양한 형태의 이동경로를 고려할 수 있으므로 좋으나, 크기가 작을수록 구축된 네트워크 데이터의 사이즈는 증가한다. 실내 공간분할의 적정크기를 선정하기 위해서는 사용자의 이동형태,

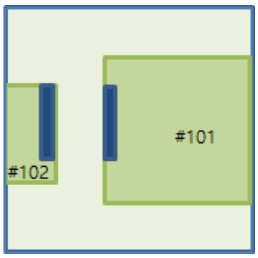
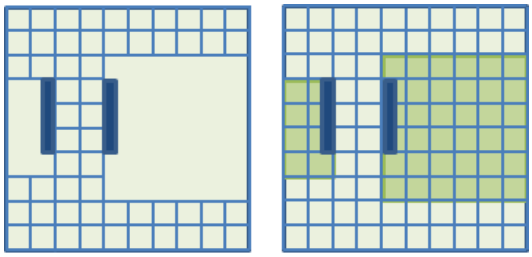
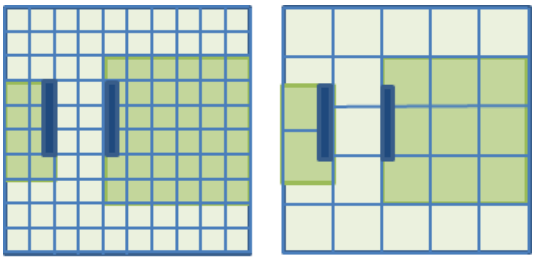


Figure 4. Sample of Indoor Space



a) Navigation Service b) Simulation Service

Figure 5. Example of Subspacing by Service

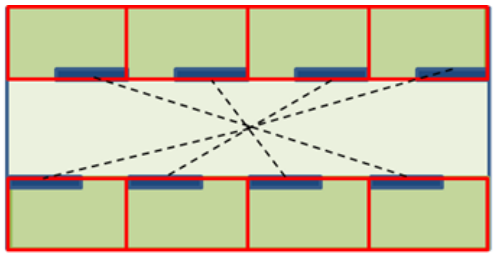


a) Walking Type b) Driving Type

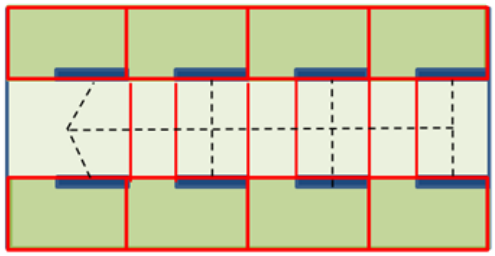
Figure 6. Example of Subspacing by Locomotion

공간의 기능적 제약을 고려하여야 한다. 우선 사용자의 이동형태에 따라서 객체의 최소 공간이 결정된다. 보행의 경우, 한명의 사람이 한 순간에 점유하는 공간의 크기는 대략 55cm × 55cm이므로, 최소 공간의 크기는 0.3025m^{2}가 될 수 있다. 반면 휠체어를 이용할 경우 1m × 1m의 공간을 점유하게 되므로 최소 공간의 크기는 1m^{2}이다. 또한, 평균 4km/h의 보행속도를 고려할 경우, 1초에 이동 가능한 거리인 1.2m를 최소 공간크기로 선정할 수도 있다. Figure 5는 이동 유형에 따라 최소분할 크기(보행시 0.55m, 이동수단 이용시 1m)에 따라 주어진 공간(Figure 4)을 그리드 형태로 분할한 예시이다.

또한, 서비스의 종류와 공간의 기능에 따라, 공간분할이 필요한 장소와 필요하지 않은 공간으로 나누어 최소분할 크기에 따라 분할할 수도 있다. 예를 들어,



a) 1 Transition Space Connected with M Stay Space



b) 1 Transition Space Connected to up to 2 Stay Space

Figure 7. Example of Subspacing by Connectivity

Figure 6의 a)경우와 같이 길안내를 위한 서비스는 이동을 위한 공간은 분할을 하지만, 체류를 위한 공간은 분할을 하지 않는다. 그러나 재난시뮬레이션과 같은 서비스를 위해서는 Figure 6의 b)경우와 같이 분할하여야 한다.

- **연결성:** 공간 분할하기 위한 공간간의 연결성을 결정하는 것으로 보행 유형, 논리적 제약, 공간의 기능적 제약 등을 고려하여 분할한다. 하나의 이동공간과 다수 개의 체류공간간의 연결성을 나타내는 방법은 Figure 7 a)와 b)와 같이 다르다. 이것은 공간의 기능이 이동을 위한 공간이므로 이동에 효과적인 형태로 분할하기 위해서는 Figure 7의 b)와 같이 분할한다.
- **기하모양:** 공간을 분할할 때 이용하는 기하모양을 결정하는 것으로, 격자 형태로 구성하는 단순한 방법에서부터 델로니 삼각분할[6], 보로노이 다이어그램[2] 등을 이용하여 다양한 형태의 모양으로 분할할 수 있다. 기하모양을 결정하기 위해서는 물리적 제약을 고려한다.
- **가용성:** 공간에 포함될 수 있는 객체의 개수 및 크기에 대한 조건으로, 물리적 제약, 기능적 제약 및 보행형태, 논리적 제약을 고려한다. 예를 들어, 1m × 1m 크기의 객체를 옮기기 위한 경로를 찾을 경우, 공간분할의 크기가 1m^{2}보다 커야만 한다. 또한, 화재발생이라는 이벤트가 발생할 경우, 불연소재인 지역을

대상으로 공간분할을 하도록 할 경우도 역시 가용성 조건을 결정하여야한다.

3.3 실내공간 분할을 위한 프로세스

실내 공간분할을 위해서 5가지 고려사항과 4가지 요구사항을 도출하였다. 이에, 본 절에서는 도출된 요구사항 및 고려사항을 반영하여 실내 공간분할을 수행하는 과정에 대해 설명한다. 본 연구에서는 실내공간을 분할하는 단계를 크게 2단계로 나누었다.

실내 공간분할을 수행하기 위한 첫 번째 단계는 분할의 대상이 되는 공간을 결정하는 것이고, 두 번째 단계는 대상 공간을 적절한 크기와 모형으로 분할하는 과정으로 Figure 8과 같은 순서로 이루어진다. 분할의 대상이 되는 공간을 결정하기 위해서는 물리적 제약조건, 논리적 제약조건, 기능적 제약조건 등과 같이 분할에 적용되어야 하는 제약조건과 대상공간을 입력으로 하여 다음의 순서에 따라 이루어진다.

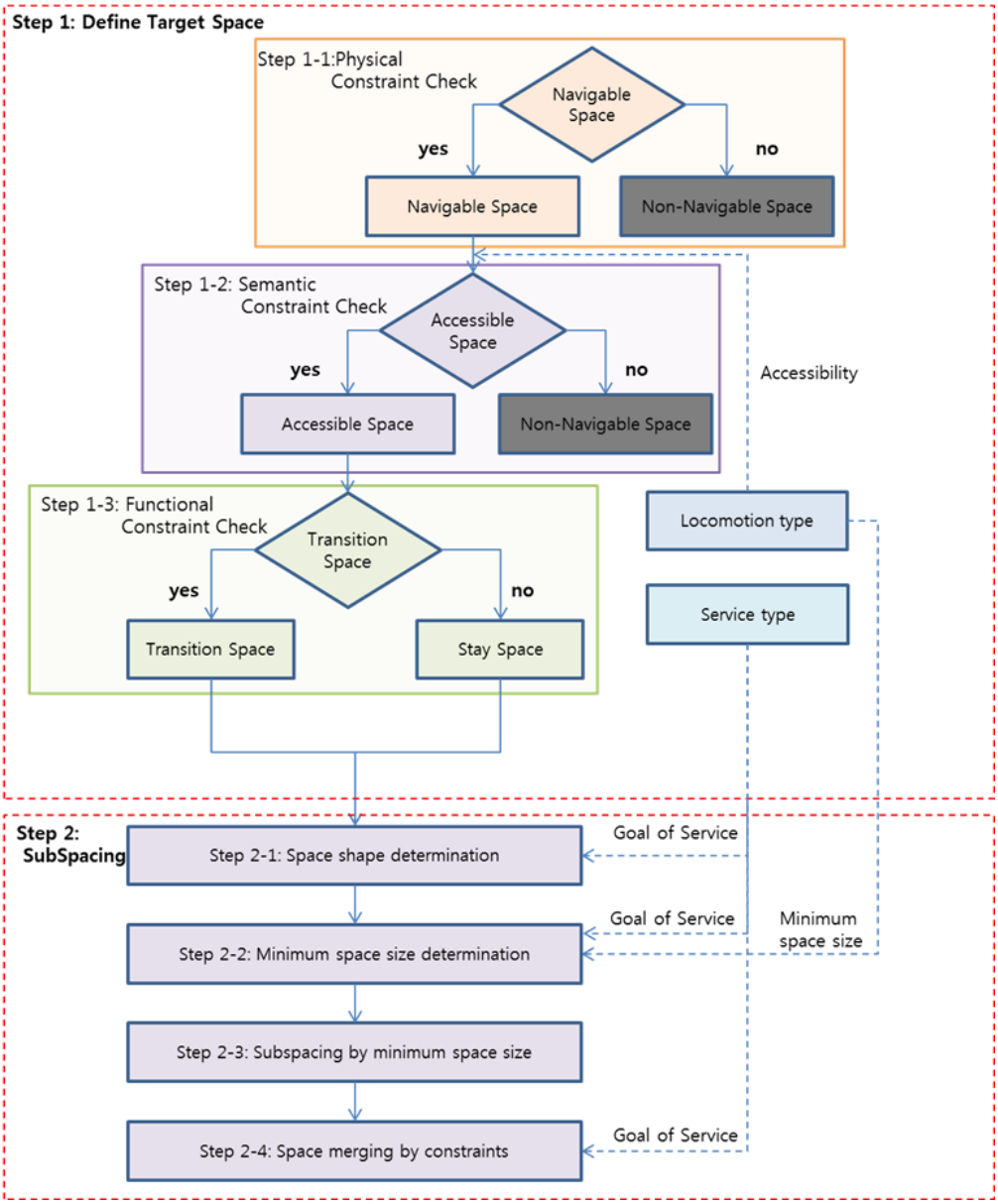


Figure 8. Flowchart for Subspacing Process

Step 1-1. 물리적 제약조건 적용: 첫 번째 단계는 물리적 제약조건에 따라 이동가능한 공간과 이동 불가능한 공간으로 나누는 것이다. 물리적 제약조건은 건축물 요소 및 가구들에 의해 결정된다.

Step 1-2. 논리적 제약조건 적용: 첫 번째 단계에서 찾아진 이동 가능한 공간들에 대해서 접근권한이 있는지에 대해 결정한다. 접근 권한이라 하는 것은 사용자의 유형에 따라 접근할 수 있는 공간이 상이할 수 있으며, 이러한 접근권한은 사용자 자체의 개인적 정보 및 보행유형 등에 결정된다.

Step 1-3. 기능적 제약조건 적용: 두 번째 단계에서 찾아진 접근 가능한 공간들에 대해서 공간의 유형이 이동공간인지 체류공간인지를 판별한다.

첫 번째 단계를 통해 분할의 대상이 되는 공간을 결정하고 난 후, 공간분할을 수행한다. 공간분할을 수행하는 두 번째 단계의 입력 데이터는 첫 번째 단계에서 도출된 분할대상이 되는 공간의 정보, 서비스의 목적, 사용자의 유형, 이동 유형, 분할모양 및 최소공간의 크기이며, 다음과 같은 순서로 수행된다.

Step 2-1. 분할모양 선택: 격자형, 삼각형, 볼록 다각형 등의 형태를 선택한다.

Step 2-2. 분할최소크기 선택: 주어진 접근 가능한 공간을 분할 할 때 적용할 공간의 최소크기를 결정하는 것으로 이를 위해서는 사용자의 유형, 이동 유형, 서비스의 목적 등을 고려한다.

Step 2-3. 공간분할: 2단계에서 결정한 분할크기에 따라 전체 접근 가능한 공간을 분할한다. 이때, 공간의 기능적 제약이 다를 경우에는 각각 개별적으로 분할한다.

Step 2-4. 공간병합: 3단계에서 크기를 기준으로 하여 분할된 공간들에 대해, 논리적 제약조건 및 기능적 제약조건들이 충족할 경우 다시 병합을 수행한다. 이 과정을 통해 불필요한 공간에 대한 분할을 제거하여 데이터 사이즈를 줄인다.

예를 들어, Figure 4과 같은 실내공간이 주어질 경우 첫 번째 단계를 통해 Figure 9과 같이 공간을 나눌 수 있다.

1-1단계의 물리적 제약조건들을 통해 이동 가능한 공간을 찾은 뒤(Figure 9-a)), 1-2단계에 따라 논리적 제약에 의해 접근이 불가능한 공간으로 설정된 #102방을 제외한 복도와 #101방을 접근 가능한 공간으로 설정한다(Figure 9-b)). 마지막으로 1-3단계에 의해 접근 가능한 공간 중에서도 이동공간인지 체류공간인지를 기능적 제약에 따라 나눈다(Figure 9-c)).

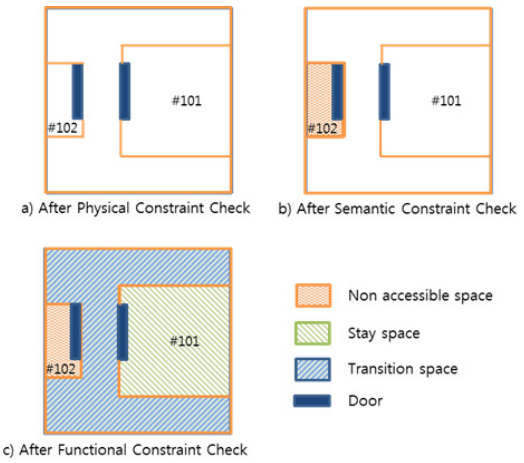


Figure 9. Example of 1st Step of Subspacing Process

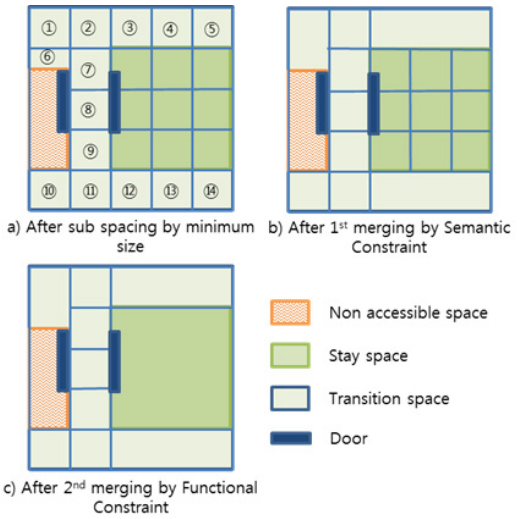


Figure 10. Example of 2nd Step of Subspacing Process

첫 번째 단계가 끝나면 실제 공간분할 과정을 거친다. 공간분할의 첫 번째 단계인 2-1단계에서는 공간을 분할할 때 사용할 모양을 결정한다. 본 연구에서는 실내공간 보행자를 위한 경로 안내에 적합한 공간분할을 예로 들며, 다양한 공간분할 모양 및 방법들 중에서 가장 기본적인 격자형 분할방법을 선택하였다. 또한, 2-2단계에서는 분할되는 공간의 최소크기를 결정해야 하므로, 본 연구에서 가정하는 서비스인 보행자를 위한 실내경로 안내를 위해서는 보행자의 최소 점유 공간 및 평균 이동속도 등을 고려하여 격자의 단위 크기는 1m로 한다. 격자의 크기와 모양을 결정했으므로, 2-3단계에서는 접근가능한 모든 공간을 앞선 단계에

서 결정한 모양과 크기에 따라 분할한다. 2-3단계를 통해 접근가능한 공간은 Figure 10-a)와 같이 단위 크기 공간으로 분할된다. 단위 크기 공간으로 분할한 공간에 대해 2-4단계에서는 시맨틱 제약조건과 기능적 제약조건에 따라 공간을 병합한다. 예를 들어, Figure 10-a)에서 제시된 공간 중에서 체류공간과 연결되지 않으면서 연속되어 있는 공간을 하나의 공간으로 병합한다. 이때, 모양을 사각형으로 결정했으므로 사각형을 유지하는 형태로 분리하여 병합을 수행하여, (①, ⑥), (③,④,⑤), (⑫,⑬,⑭)를 각각 하나의 공간으로 병합한다. 단, 3개 이상의 단위크기 공간과 연결되는 공간인 ②, ⑦, ⑪은 병합하지 않는다(Figure 10-b)). 시맨틱 제약조건을 통해 병합한 데이터를 기반으로 기능적 제약조건에 따라, 분할되어 연결되어 있는 체류공간은 경로 탐색에서 사용되지 않으므로 모두 하나의 공간으로 병합한다. 이 병합 과정 역시 처음 설정하였던 모양에 따라 병합한다(Figure 10-c)). 이러한 과정을 수행함에 있어서, 공간의 기능적 제약조건에 의해 이동공간과 체류공간간의 연결이 발생하는 위치는 반드시 분할된 형태를 유지하도록 한다. Table 2는 본 연구에서 제시하는 실내공간 분할 프로세스에 대한 수도코드(Pseudo Code)이다.

Table 2. Pseudo Code for Subspacing

SubSpacing (IS, C, sh, min, PS)	
in	***IS*** : set of original indoor space ***C*** : set of Constraints ***sh*** : shape type of subspace ***min*** : minimum space size
out	***PS*** : set of partitioned indoor space

```
begin
// First step for subspacing
    for each IS_i
        if IS_i satisfy physical constraint C_j
            IS_i add on candidate indoor space set CIS
    for each CIS_k
        if CIS_k not satisfy semantic constraint C_j
            CIS_k delete from candidate indoor space set CIS
    for each CIS_k
        if CIS_k is Transition Space
            set CIS_k space type property as Transition Space
        else
            set CIS_k space type property as Stay Space
// Second step for subspacing
    set the shape for subspacing as sh
    set the minimum space size as min
    for each CIS_k
        partition CIS_k to PS_m which satisfy min size condition
    for each PS_m
        if PS_m and PS_m+1 satisfy merging condition C_j
            merge PS_m and PS_m+1 to PS_m and delete PS_m+1
end
```

4. 실험 및 평가

4.1 실험 환경 및 방법

실내 공간을 분할하기 위하여 서울시립대학교 21세기관 6층을 실험의 대상으로 지정하였다. 이 공간은 Figure 11과 같이 긴 기역자 형태로 강의실 8개, 사무실 16개, 화장실 3개, 접근이 불가한 공간 2개, 복도 1개로 구성되어 있다. 이에 대해 본 연구에서는 보행자를 위한 실내 공간 경로 안내 서비스 제공을 목적으로 한 공간 분할을 수행하였다. 본 연구에서의 실험은 ArcGIS 10.2 소프트웨어를 사용하였으며, 앞서 정립한 프로세스에 따라 연구를 진행하였다.

먼저 1단계에 따라 물리적·논리적·기능적 제약조건을 적용하였다. 실험 대상지는 장애물이 없어 모든 공간에 대해 이동이 가능하며, 접근권한에 따라 일부 공간에 대한 이동이 제한되었다. 또한, 강의실, 사무실, 화장실은 체류 공간으로 복도는 이동 공간으로 판별하였다.

다음으로는 해당 실험 공간에 대해 분할을 수행하였다(Figure 12-b)). 본 연구에서는 분할 모양으로는

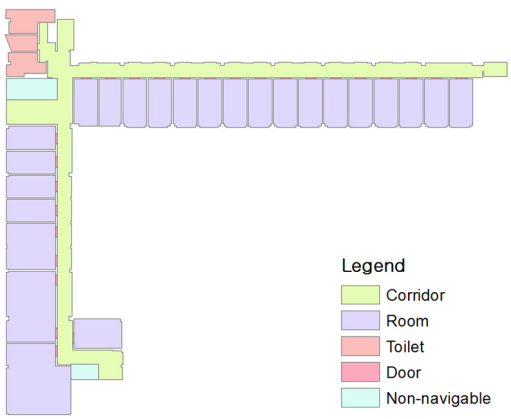
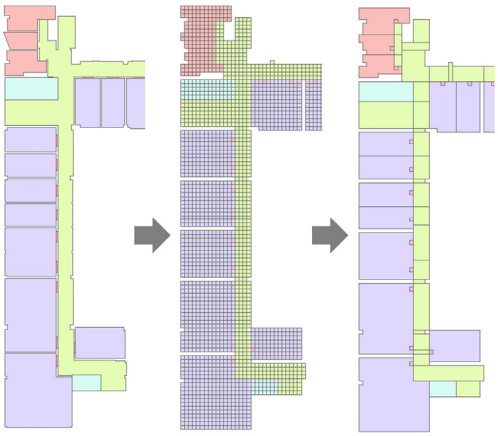


Figure 11. Floor Plan of Study Area



a) Origin b) Space Partition c) Subspacing

Figure 12. Process of Subspacing

가장 간단한 형태인 격자형을 선택하였으며 보행자에 대해 서비스를 수행하기 위해 보행속도를 고려하여 격자 크기를 1m로 설정하였다. 정해진 분할 모양과 크기에 따라 실험 공간에 분할을 수행하였다. 이 단계를 통해 총 3814개의 격자를 생성하였으며 복도는 1056개, 화장실은 162개, 사무실과 강의실은 2498개, 접근이 불가능한 공간은 98개의 격자로 분할되었다.

마지막으로, 분할한 공간을 병합하였다(Figure 12-c)).강의실, 사무실과 같은 체류 공간의 경우 하나의 공간으로 병합하였고 복도와 같은 이동 공간은 앞서 설정한 격자크기를 고려하되, 불필요한 공간에 대해서는 병합한다. 공간을 병합할 때는 서비스 목적에 보행자의 가시성[3,11], 보행자가 이동하는 공간의 기능[7] 등에 따라 이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 가시성을 위해서 복잡한 형태의 공간에서 오목한 형태(concave)를 없애고 볼록한 형태 (convex)로 변환하는 알고리즘[11]에 따라 공간을 병합하였다. 결과적으로 접근 불가능한 공간은 2개, 화장실, 강의실, 사무실과 같은 체류 공간은 27개, 복도와 같은 이동 공간은 43개로 분할되었다.

4.2 실험결과

실험을 통해 강의실 8개, 사무실 16개, 화장실 3개, 접근이 불가한 공간 2개, 복도 1개로 총 30개의 공간을 접근 불가한 공간 2개, 체류 공간 27개, 이동 공간 43개로 총 72개의 공간으로 분할되었다.

공간을 분할하여 얻은 공간이 경로 안내 서비스에 얼마나 효과적인지 살펴보고자 네트워크를 생성하고 출발지인 강의실부터 복도 끝에 있는 강의실까지의

a) Network from Origin Space b) Network from Subspace

Figure 13. Navigation Network from Origin Space and Subspace

경로를 도출하였다. Figure 13-a)은 공간을 분할하지 않은 상태에서 네트워크를 생성하여 경로를 도출한 경우를 보여준다. 공간을 분할하지 않은 경우 공간 하나를 노드 하나로 표현하므로 이에 따라 네트워크를 생성하고 경로를 도출하면 Figure 13-a)과 같이 실제 보행자가 이동하는 경로를 반영하지 못한다. 그러나 공간을 분할하여 네트워크를 생성하면, Figure 13-b)과 같이 실제 보행자가 이동하는 경로와 비슷한 경로를 도출할 수 있다.

공간을 분할하지 않았을 때 오직 공간간의 위상학적인 관계만이 고려하여 경로가 도출되는데 이 경우 약 31.56m로 측정되었다. 공간을 분할한 경우에는 위상학적인 관계뿐만 아니라 기하적인 측면까지 고려되어 경로가 도출되며 이때의 거리는 약 19.74m로 측정되었다. 두 경로의 차이는 약 11.82m로 공간을 분할한 경우의 경로가 좀 더 짧고 효율적임을 판단할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 대형화 되고 복잡해진 건물들에 대해 활용도 높은 실내 네트워크를 생성하기 위한 고려사항과 요구사항을 분석하고, 이를 기반으로 하여 실내공간 분할 프로세스를 제시하였다. 제시한 실내공

간 분할 프로세스를 따라 분할된 실내공간에 대해 생성된 실내 네트워크는 공간간의 연결관계 뿐만 아니라 기하정보도 실제 공간과 유사하게 표현할 수 있는 것으로 나타났다.

향후 연구과제로는 분할 프로세스 상에서 활용되는 물리적, 논리적, 기능적 제약조건들을 서비스별로 정리하고 기존의 분할방법들과 결합하여 각각의 분할방법 별로 실험을 수행·비교하여 각 서비스 별로 적합한 분할방법을 선정할 수 있도록 할 것이다.

References

[1] Bulusu, N; Heidemann, J; Estrin, D. 2001, Adaptive beacon placement, Paper presented at Proc. International Conference on Distributed Computing Systems, Arizona, April 16-19.

[2] Franz, A. 1991, Voronoi diagrams: A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure, ACM Computing Survey, 23(3):345-405.

[3] Kawk S. Y; Nam, H. W; Jun, C. M. 2010, An Indoor Pedestrian Simulation Model Incorporating the Visibility, Journal of Korea Spatial Information Society, 18(5):133-142.

[4] Khan., A. A; Kolbe, T. H. 2012, Constraints and their role in spacing for the locomotion types in indoor navigation, Paper presented at Proc. International conference on indoor positioning and indoor navigation, Sydney, November 13-15.

[5] Khan., A. A; Kolbe, T. H. 2013, spacing Based on Connected Opening Spaces and for Different Locomotion Types Using Geometric and Graph Based Representation in Multilayered Space-Event Model(MLSEM), Paper presented at the ISPRS annals of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Istanbul, November 27-29.

[6] Kruminaite, M; Zlatanova, S. 2014, Indoor Space division for Indoor Navigation, Paper presented at Proc. Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, Dallas, November 4-7.

[7] Lee, S. J; Lee, J. 2011, Navigable Space-Relation Model for Indoor Space Analysis, Journal of Geographic Information System Association of Korea, 19(5):75-86.

[8] Lin, Z; Zhang, S; Yan, G. 2013, An incremental deployment algorithm for wireless sensor network using one of multiple autonomous agents, Ad Hoc Networks, 11(1):355-367.

[9] Mukhopadhyay, A; Roy, S: Mukherjee, N. 2012, An approach of beacon placement and beacon based routing towards mobile sink in WSN, Paper presented at the Proc. the CUBE International Information Technology Conference, Maharshtra, September 3-5.

[10] Open Geospatial Consortium, 2014, IndoorGML v.1.0, OGC, Accessed June 2, http://docs.opengeospatial.org/is/14-005r3/14-005r3.html

[11] Stoffel, E. P; Lorenz, B; Ohlbach, H. J. 2007, Towards a Semantic Spatial Model for Pedestrian Indoor Navigation, Advances in Conceptual Modeling-Foundations and Applications, Springer Berlin Heidelberg, pp. 328-337.

[12] Wang, G; Cao, G; La Porta, T. 2006, Movement-assisted sensor deployment, Mobile Computing, IEEE Transaction on, 5(6):640-652.

[13] Wang, Y. C; Hu, C. C; Tseng, Y. C. 2005, Efficient deployment algorithms for ensuring coverage and connectivity of wireless sensor networks, Paper presented at Wireless Internatinal Conference, Budapest, July 10-15.

[14] Yuan, Z; Li, W; Zhu, J; Zhao, W. 2015, A Cost-efficiency Method on Beacon Node Placement for Wireless Localization, Paper presented at International Conference on Computing, Networking and Communications, California, February 16-19.

[15] Zlatanova, S; Liu, L; Sithole, G. 2013, A Conceptual Framework of Space division for Indoor Navigation, Paper presented at Proc. the Fifth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, Orlando, November 05-08.

Received : 2015.05.04
Revised : 2015.06.29
Accepted : 2015.06.30