

클라우드 소싱을 이용한 실내 공간 네트워크 생성

Generation of Indoor Network by Crowdsourcing

김보근* · 이기준* · 강혜경***

Bo Geun Kim · Ki-Joune Li · Hae-Kyong Kang

요약 건축 기술이 발달하고 도시의 인구 집약도가 늘어남에 따라 도심의 대형 건물 또한 늘고 있다. 이에 따라 대형 건물 내부의 위치를 쉽게 파악하고 실내 정보를 쉽게 취득할 수 있는 여러 서비스들이 많이 제공되고 있는데 실내 내비게이션 및 실내지도서비스 등이 그 예이다. 이러한 서비스들이 제공되기 위해서 가장 기초가 되어야할 정보 중 하나는 실내 네트워크 정보이다. 건물의 실내 네트워크는 실내의 각 공간들의 연결 관계에 대한 정보를 제공하며 건물의 기하 정보와는 달리 위상적 특성을 가진다. 하지만 현재 이러한 실내 네트워크를 구축하기 위해서는 건물의 기하 정보를 뒷받침하여 계산하거나 사람이 직접 도면을 이용하여 구축해야 된다. 이는 단순한 건물일 경우에는 쉬운 작업일 수 있지만 복잡한 대형 건물에서는 그 구축이 힘들다. 이를 해소할 방안으로 본 논문에서는, 사람들의 실내 이동정보를 클라우드 소싱 방법으로 건물의 실내 네트워크를 자동으로 생성하는 방법론을 제안한다. 수집된 보행자의 이동 데이터를 분석하여, 실내 네트워크를 추출하는 방식이다. 실내에서의 보행자 이동 데이터 수집에 대한 실내측위 환경이 잘 구축되어 있다면 본 방법론은 현실적이고 실질적인 건물의 실내 네트워크를 생성하는데 기여할 것이라 생각된다.

키워드 : 실내 네트워크, 셀 공간, 상태, 전이, IndoorGML

Abstract Due to high density of population and progress of high building construction technologies, the number of high buildings has been increasing. Several information services have been provided to figure out complex indoor structures of building such as indoor navigations and indoor map services. The most fundamental information for these services are indoor network information. Indoor network in building provides topological connectivity between spaces unlike geometric information of buildings. In order to make indoor network information, we have to edit network manually or derive network properties based on the geometric data of buildings. This process is not easy for complex buildings. In this paper, we suggest a method to generate indoor network automatically based on crowdsourcing. From the collected individual trajectories, we derive indoor network information with crowdsourcing. We validate our method with a sample set of trajectory data and the result shows that our method is practical if the indoor positioning technology is reasonably accurate.

Keywords : Indoor Network, Cellular Space, State, Transition, IndoorGML

1. 서 론

최근 대형 건물이 늘어나고 그 내부에서 제공되는 건물 안내 등의 유용한 실내 서비스가 늘어나고 있다. 이는 대형 건물의 정보 집약성과는 반대로 사람들이 정보의 홍수 속에서 찾고자 하는 것을 쉽게 찾지 못하는 것에서 기인한다. 또한 이는 건물의 규모가 커지면서 사람들의 편의를 위한 서비스가 많이 요구되고 있

음을 말한다. 그 예로 현재 대형 건물에서 시행되고 있는 실내 안내 서비스에는 자기 위치를 파악하고, 가고자 하는 목적지를 찾아주거나 길 안내를 해주는 실내 지도 서비스, 디지털 매장 안내 서비스 등이 있다. 이러한 서비스들은 크게 다음과 같은 3 가지 구성으로 나눌 수 있는데 실내에서의 자기 위치 파악, 장소 간의 연결 정보 파악, 해당 장소의 정보 파악 등이 그것이다. 이와 같이 실내에서의 자기 위치 파악이 선행되고

[†] This work was partly supported by a grant(11 High-tech Urban G11) from High-tech Urban Development Program and by a grant(14NSP-B080144-01) from National Land Space Information Research Program funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government, This work was also partly supported by the ICT R&D program of MSIP/IIPT[14-824-10-005, Development of In-Memory based 3D spatial DBMS for Spatial Convergence Industry] and by BK21PLUS, Created Human Resource Development Program for IT Convergence

* Bo Geun Kim, Master's Student, Dept. of Computer Science, Pusan National University. kimg@pnu.edu

** Ki-Joune Li, Professor, Dept. of Computer Science, Pusan national University. lik@pnu.edu (Corresponding author)

*** Hae-Kyong Kang, Senior Researcher, KRIHS, hkkang@krihs.re.kr

나면 실내에서 사용자들이 찾고자 하는 목적지를 잘 찾아주는 서비스가 필요하다. 예를 들어, 현재 자기 위치에서 찾고자 하는 매장의 이름을 검색하고 목적지까지 길 안내를 하는 기능이다. 이러한 기능은 실내를 구성하고 있는 공간적 요소들의 연결 정보를 미리 파악하고 이를 적용하여 서비스를 구현하여야 한다.

이에 가장 기본이 되는 요소로써 실내 네트워크 정보를 들 수 있다. 실내 네트워크 정보는 각 공간의 의미적 요소를 포함하며 실내 각 공간들의 연결 정보를 가진다. 실내 연결 정보를 통해 특정 장소 간의 연결 정보를 제공할 수 있으며, 길 안내 서비스까지 가능하다. 하지만 대형 건물과 같이 규모가 크고 구조가 복잡한 건물의 실내 네트워크를 생성하기란 쉽지 않은 일이다. 현재 건물의 실내 네트워크 정보를 생성하기 위해서는 이를 추출하기 위한 건물의 기하 정보가 뒷받침되어야 하거나 2차원 도면을 보면서 직접 생성하여야 한다. 이러한 과정을 작고 구조가 단순한 건물에 적용하기는 간단해 보이지만, 백화점이나 복합 상가 또는 대형 건물에서는 그 적용이 어렵다. 이에 좀 더 편리한 방법으로 대형 건물에서의 실내 네트워크 정보를 생성하는 것이 중요한 이슈가 된다.

앞의 두 과정이 진행되면 실내 공간정보 서비스에서 단지 목적지를 찾아주는 것에 그치지 않고 목적지에서 어떤 물건을 파는지, 어떤 행사를 하는지 등의 구체적인 장소에 대한 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이러한 과정들이 맞물려 하나의 온전한 실내 정보 제공 서비스가 완성되며 사용자들에게 복잡한 대형 건물을 다니면서 오는 혼란스러움을 조금이나마 덜어줄 수 있다.

본 논문에서는, 그 중에서도 아직 뚜렷한 해결 방안이 나오지 않고 있는 대형 건물의 실내 네트워크를 생성하는 방법에 대해서 알아보고자 한다. 이를 위해 기존의 실내 측위에 대한 연구를 기반으로 보행자들의 이동 데이터를 사용자 참여 형태로 수집할 것이다. 사용자 참여 형태의 서비스, 즉 클라우드소싱 방법은, 일반 사람들이 의식적이거나 무의식적으로 생산하는 데이터를 적절하게 가공하여 원하는 정보를 생산하는 방법이다. 건물 실내를 걸어 다니는 보행자들의 위치 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 통하여 실내 네트워크 정보를 자동으로 생성하는 방법을 다루고자 한다. 그리고 자동으로 생성된 네트워크 정보는 실내 네트워크를 표현하는 국제 표준인 IndoorGML의 형식으로 추출하여 네트워크 정보의 저장 및 교환에 쉽게 사용될 수 있도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 관련 연구를 살펴봄, 본 연구의 동기를 서술한

다. 3장에서는 본 연구의 기본 개념이 되는 셸기반 공간모델과 IndoorGML에 대하여 알아보고, 4장에서는 본 논문에서 제안하는 실내공간네트워크 정보 생성방법을 소개한다. 5장에서는 제안된 방법을 실험하여 적정성을 분석하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 논문에서는 클라우드소싱을 기반으로 데이터를 수집하고 이를 통해 실내 네트워크를 형성하는데 목적이 있다. 클라우드소싱을 위해서는 실내 측위에 대한 연구가 선행되어야 하며 이에 따른 와이파이 기반의 실내 측위를 보강하기 위한 선행 연구들이 있다[4]. 또한 보행자의 위치를 와이파이 신호에만 의존하지 않고 스마트 폰에 탑재된 센서를 이용하여 추적하는 연구 또한 진행되고 있다[7].

Moustafa Alzantot와 Moustafa Youssef는 클라우드소싱을 이용하여 보행자의 이동 데이터를 수집하였으며 이를 이용하여 건물 단층의 기하 정보에 대하여 추출하였다[1]. 하지만 건물의 기하 정보로는 실내 공간 간의 연관성을 표현할 수 없으며 해당 연구에서 네트워크 정보는 추출하지 않았다. Marc van Kreveland와 Lionov Wiratma는 동일한 경로에 대해 여러 개의 보행자 이동 데이터가 있을 때 해당 경로를 대표할 만한 중앙 궤적을 추출하는 연구를 제안하였다[5]. 하지만 본 연구에서는 클라우드 소싱을 통하여 다양한 보행자 이동 경로를 통하여 네트워크를 생성하기 때문에 중앙 궤적을 통한 네트워크 형성은 적합하지 않다.

도로 네트워크 생성 분야에서 본 논문과 유사한 연구가 진행되었다. 대표적인 연구로 Sophia Karagiorgou와 Dieter Pfoser의 연구[3]와 Lili Cao와 John Krumm의 연구[2]가 있다. 두 연구는 공통적으로 대량의 GPS 데이터를 수집한 후 클러스터링을 통해 GPS 데이터를 가공한다. 그리고 이를 이용하여 도로 네트워크를 생성한다. Sophia Karagiorgou와 Dieter Pfoser의 연구[6]는 턴 모델을 이용하여 도로 네트워크를 생성하지만 도로의 연결성이 잘 나오지 않는 단점이 있다. Lili Cao와 John Krumm의 연구[2]는 클러스터링을 기반으로 도로 네트워크를 추출하는데 GPS 데이터가 표시하는 노드들을 병합하는 방식이며 교차로 부분에서 링크 소실에 대한 문제점을 가지고 있다. 이와 같이 GPS를 통해 운전자의 이동 데이터를 수집하고 도로 네트워크를 생성한다는 부분에서는 본 논문과 유사한 부분이 존재한다. 하지만 이를 실내 네트워크의 생성에 그대로 적용하기는 어렵다. 도로공간과 실내공간

의 구조와 특징이 매우 달라, 실내공간의 특징을 반영하지 않는 도로네트워크 추출 방법을 그대로 적용할 수 없다. 먼저 GPS를 통해 얻을 수 있는 데이터의 규모가 실내에서의 데이터 규모보다 크다. 또한 데이터는 차선에 따른 방향성이 존재하여 실내에서의 보행자 이동 성질과는 거리가 있다.

3. 셀 공간과 실내 네트워크

3.1 셀 공간 정의 및 설명

실내 네트워크를 정의함에 있어 실내 네트워크를 포함하는 실내 공간을 어떻게 정의할 것인가를 먼저 논의해야한다. 이를 위해 실내 네트워크를 표현하는 국제 표준인 IndoorGML의 셀 공간 개념을 사용한다 [6]. 셀 공간은 지붕, 벽, 천장 등의 건축학적 요소를 실내 공간을 정의하는 요소로써 사용하지 않으며, 각 건축학적 요소들로부터 나타낼 수 있는 공간에 그 초점을 맞춘다. 방, 복도, 계단 등이 대표적인 공간의 예이다. IndoorGML에서의 전체 건물 공간 구성은 이러한 작은 여러 공간들이 모여 전체를 이루는 형식이다. 그 중 가장 작고 기본이 되는 공간을 셀이라 호칭한다. 즉 IndoorGML에서 전체 건물 공간은 해당 셀들의 집합체로 볼 수 있다. 이러한 셀은 다음과 같은 중요한 특성 3가지를 가진다. 셀은 방 번호와 같이 식별할 수 있는 식별자를 가지고 있다. 또한 각 각 특정 영역(바운더리)을 가지고 있으며 이는 다른 셀과 겹치지 않는다. 그리고 셀 내부에서의 (x, y, z) 좌표와 같은 구체적인 위치를 단지 이를 포함한 셀로써 표현한다. 다음 도식은 이러한 셀 공간이 어떻게 구성되는지에 대해 설명한다.

$$S = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, \quad c_i \text{는 } i\text{번째 셀.}$$

도식과 같이 여러 셀들이 모여 하나의 셀 공간을 이루며 각 셀들은 서로 겹치지 않는다. 더 나아가 셀 공간은 여러 셀의 집합으로 이루어질 뿐만 아니라 의미적인 표현, 기하적인 표현, 위상학적 표현에 대한 속성을 포함한다. 셀 공간의 의미적 표현은 각 셀들이 가지는 공간의 의미적 속성을 말한다. 해당 셀이 방인지 복도인지 문인지 등의 의미적 구분을 통하여 셀을 표현할 수 있다. 셀 공간이 가지는 기하적 속성은 해당 셀이 표현하고 있는 공간의 구체적인 기하 정보를 나타낸다. 예를 들어, 일반적으로 방은 직육면체의 3차원 솔리드 객체로 표현될 수 있다. 셀은 이러한 기하

정보를 가짐으로써 셀의 구체적인 영역을 표현한다. 또한 이러한 기하 정보를 통해 다른 셀과의 겹침 여부를 파악할 수 있다. 셀 공간이 가지는 위상학적 표현은 각 셀 간의 연결성을 쉽게 표현할 수 있도록 한다. 기본적으로 하나의 셀을 하나의 상태에 매핑할 수 있으며 셀 간의 연결성은 하나의 에지로 표현할 수 있다.

3.2 셀 공간 기반의 실내 네트워크

3.1절에서 알 수 있듯이 셀 공간이 가지는 위상학적 표현에 의하여 하나의 셀을 하나의 상태에 매핑할 수 있다. IndoorGML에서는 노드-관계 그래프의 개념을 이용하여 실내 공간의 연결성을 표현한다. 노드-관계 그래프는 노드와 에지로 구성되며, 노드는 실내 공간의 셀을 표현하며 에지는 두 셀 간의 위상학적 관계를 표현한다. 이를 통해 실내 공간의 인접성과 연결성을 표현한다. 푸앵카레 쌍대성은 실내 공간을 노드-관계 그래프로 변환하는 이론적 바탕이 되며 3차원에서의 복잡한 공간 관계를 위상학적 네트워크 모델로 단순화시키는데 이용된다. 푸앵카레 쌍대성은 N -차원의 원시 공간에서 k -차원의 공간 객체와 변환되는 공간의 $(N-k)$ 차원의 객체 사이의 대응관계를 설명한다. 예를 들어 방과 같은 3차원 솔리드 객체를 $(3-3)$ 차원인 0차원의 점 노드로 매핑시키는 개념이다. 또한 방과 방 사이를 매개하는 벽은 2차원의 면으로써 푸앵카레 쌍대성을 거치면 $(3-2)$ 차원인 1차원의 선으로 매핑된다. 이는 IndoorGML에서 두 노드를 잇는 에지의 역할을 한다. Figure 1은 푸앵카레 쌍대성을 이용해 객체가 변환되는 예를 보여주는 그림이다. IndoorGML에서는 방과 방 사이의 벽을 하나의 셀로 설정할지 단지 셀의 바운더리 개념으로 설정할지에 따라 두꺼운 벽 모델과 얇은 벽 모델로 나눌 수 있다. 두꺼운 벽 모델은 벽도 하나의 셀로 가정하며 문 또한 이에

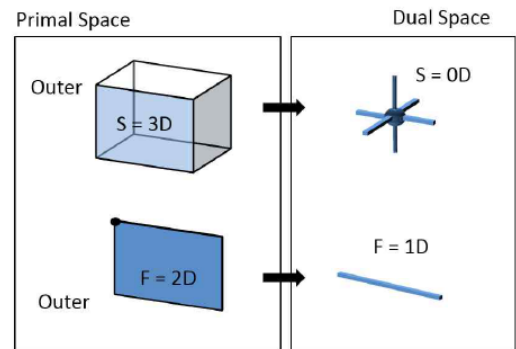


Figure 1. Duality Transformation in 3D Primal Space

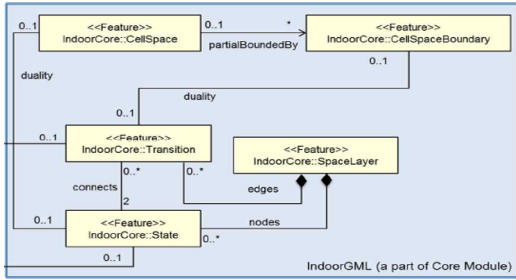


Figure 2. Implementation of Structure Space Model in IndoorGML

해당한다. 얇은 벽 모델에서의 벽은 셀의 바운더리 개념으로 생각되며 하나의 에지로 표현될 수 있다. 그리고 노드-관계 그래프는 각 각의 노드와 에지가 단지 위상학적 정보만을 말하는지, 혹은 기하 정보를 가지고 있는지에 따라 다시 구별된다. 논리적 노드-관계 그래프는 단지 노드와 에지를 이용하여 공간의 연결 관계만을 표현한다. 그리고 기하적 노드-관계 그래프는 각 노드와 에지가 점 또는 선과 같은 구체적인 기하 정보를 담고 있다.

IndoorGML에서 노드와 에지는 각 각 상태(State)와 전이(Transition) 객체로 매핑된다. Figure 2는 IndoorGML에서 셀 공간과 노드 및 에지를 어떻게 다루는 지를 설명한 그림이다.

하나의 셀은 CellSpace로 표현되며 이는 상태와 일대일 연관 관계를 가진다. 셀을 둘러싼 셀 바운더리는 CellSpaceBoundary로 표현되며 이는 전이와 일대일 연관 관계를 가진다. 해당 요소들이 모여 한 건물에 대한 IndoorGML 형식을 구성한다.

본 논문에서는 얇은 벽 모델을 이용하여 벽과 문은 셀로 여기지 않고 방과 복도와 같은 3차원 공간을 하나의 셀로 볼 것이다. 예를 들어 방과 방사이가 문으로 연결되어 있다면 각 방은 하나의 셀들로 표현이 되고 그 사이의 문은 셀 바운더리로 표현이 된다. 또한 실내 네트워크는 기하적 노드-관계 그래프로써 표현이 되며 각 각의 노드와 에지는 실제 좌표 등의 기하 정보를 담는다. 최종적으로 실내 네트워크는 IndoorGML의 상태와 전이를 이용하여 하나의 그래프 형태로 표현되고 저장된다.

4. 실내 네트워크의 생성

4.1 문제 정의 및 전체 흐름

기존의 건물 실내 네트워크 생성은 사람이 도면을

보고 직접 네트워크를 생성하거나 건물의 기하 정보를 사전에 제작하고 이를 이용하여 네트워크를 추출하는 방식을 이용하고 있다. 이는 구조가 단순한 건물에 대해서는 어렵지 않은 작업이 될 수 있지만 복잡상가와 같은 구조가 복잡한 대형 건물을 대상으로 하기에는 적합하지 않은 방법이라 할 수 있다. 이에 일반 대중의 자원을 활용하는 클라우드 소싱의 방법을 이용하여 건물에서의 보행자 이동 데이터를 수집하고 이를 기반으로 하는 실내 네트워크를 생성함을 본 연구의 목적으로 한다. 건물의 실내 네트워크 생성은 보행자의 이동 경로 데이터를 기반으로 하여 해당 표본 수가 높을수록 더욱 신뢰도 높은 네트워크를 얻을 수 있으며 보행자가 실질적으로 걸어 다닐 수 있는 공간에 대한 실내 네트워크 정보를 형성할 수 있는 장점이 있다. 실내 네트워크의 생성은 크게 데이터 단순화, 기본 네트워크 생성, 네트워크 보정 등 총 3단계로 나뉜다. 기본 네트워크의 생성은 네트워크를 덧붙이는 형태로 형성되며 여러 단계의 네트워크 보정 단계를 거친다. 최종적으로 실내 네트워크는 실내 네트워크를 표현하는 국제 표준인 IndoorGML의 형태로써 추출된다.

4.2 데이터 단순화

데이터 단순화는 보행자의 이동 데이터를 네트워크 생성에 적절한 임시의 형태로 바꾸는 과정이다. 이를 위해 수집한 보행자 이동 데이터에 대한 필터링 작업 또는 데이터의 단순화 작업이 필요하다. 본 논문에서는 보행자 이동 데이터에 대한 필터링을 고려하지 않았다. 이후 추가의 연구에서 데이터 필터링을 고려하여 더욱 일반적이고 다양한 보행자 이동 데이터에 대한 고려가 가능할 것으로 보인다. 데이터 단순화는 보행자의 이동 경로 중 불필요한 이동 경로 및 노드의 표시에 대한 제거 작업을 하는 것이다. Figure 3은 데이터 단순화의 임시적인 예를 보여준다. 그림에서 일직선상에 놓여있는 보행자 위치를 표현한 각 노드들은 데이터의 시작 노드와 끝 노드의 2개의 노드로 대표될 수 있다.

본 과정을 통해 보행자의 이동 데이터를 단순화할 수 있으며 더 나아가 이동 중 급격하게 방향 변화가 발생한 부분에 대해서만 중간 노드를 부여한다면 노드의 불필요한 사용이 제거된다. Figure 4와 같이 데이터 단순화를 통하여 1초 단위로 표시되었던 보행자 이동 경로가 시작 노드, 중간 노드, 끝 노드만으로 표현될 수 있다.

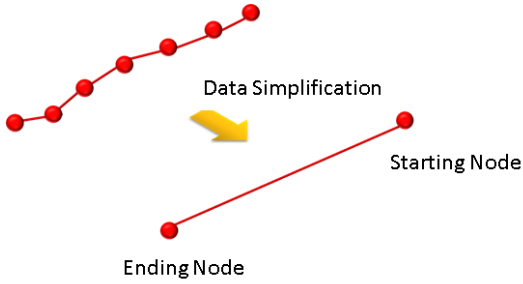


Figure 3. Simplification of Pedestrian's Moving Data

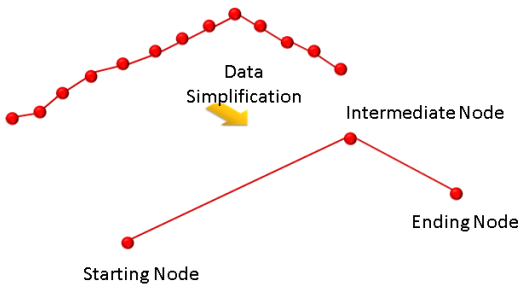


Figure 4. Simplification of Pedestrian's Moving Data

4.3 기본 네트워크의 생성

모든 원본 데이터에 대해서 데이터 단순화를 진행하였다면 다음은 이를 토대로 임시적인 기본 네트워크를 만드는 단계이다. 본 단계는 기본적으로 각 단순화된 데이터를 서로 덧붙이는 알고리즘을 바탕으로 하며 임의의 단순화된 데이터를 하나 선택한 후 다른 단순화된 데이터들을 덧붙여 나가는 방식이다. 단순화된 데이터를 임의의 네트워크에 덧붙일 경우 모두 4 가지 상황에 대해 고려해야 한다. 단순화 데이터가 노드-노드가 겹치는 경우, 노드-에지가 겹치는 경우, 에지-에지가 겹치는 경우, 모두 겹치지 않는 경우의 총 4가지 상황이다. Figure 5는 각 4가지 상황을 그림으로 설명한다. Figure 6은 노드-노드가 겹치는 경우에 대해서 단순화 데이터를 덧붙이는 과정을 설명한다.

임의의 네트워크와 덧붙일 단순화 데이터의 각 노드들이 서로 특정 범위 영역 안에 있는지 검사한다. Figure 6과 같이 덧붙일 단순화 데이터의 노드가 임의 네트워크의 노드와 같은 영역에 있다면 해당 노드를 제거한다. 이외의 영역이 겹치지 않는 노드에 대해서 단순화 데이터의 노드를 임의 네트워크에 덧붙인다. 이 때 1차 연결 후보 노드와 2차 연결 후보 노드를 둔 후, 실제 보행자가 많이 보행한 경로를 택하여 연결하게 된다. 이 과정은 이후의 나머지 연결 과정에서도

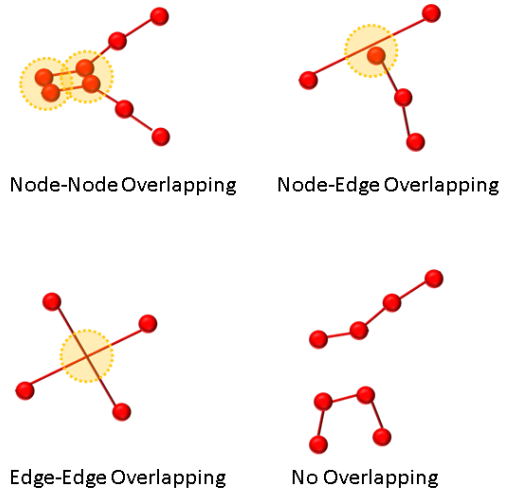


Figure 5. Correlation between Different Simplified Data

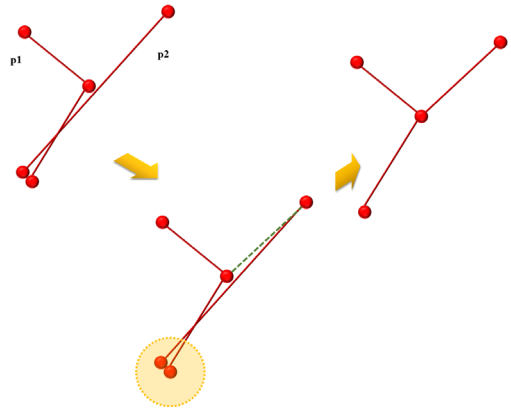


Figure 6. Network Generation in Node-Node Overlap Relation

사용되며 보행자의 데이터를 바탕으로 신뢰도 높은 연결을 제공할 수 있다.

노드-에지가 겹치는 경우 에지 내부에 겹치는 노드를 포함시켜야 한다. Figure 7은 그 예를 보여주며 에지에서 특정 범위에 속하는 노드를 판별하여 특정 범위 내에 있다면 해당 노드를 에지 속에 포함시킨다. 이를 통해 기존의 하나의 에지는 두 개의 에지로 나뉘진다.

에지-에지가 겹치는 경우는 먼저 노드의 포함 관계를 먼저 파악한다. 노드-노드 간 같은 영역에 포함되는 것이 없고 에지-에지가 겹치는 경우 에지 간의 교차 부분을 찾는다. Figure 8과 같이 에지 간의 교차 부분을 찾아 해당 부분을 하나의 노드로 만든다.

마지막으로 노드-노드, 노드-에지, 에지-에지 영역

간 겹치는 부분이 없고 임의의 네트워크와 동 떨어진 단순화 네트워크에 대한 네트워크 구성 방법이다. Figure 9는 그 예를 보여준다.

임의의 네트워크의 모든 노드와 덧붙일 단순화 데이터의 모든 노드 간의 거리를 파악하여 가장 연결

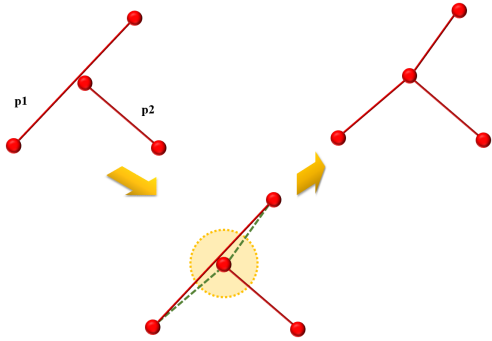


Figure 7. Network Generation in Node-Edge Overlap Relation

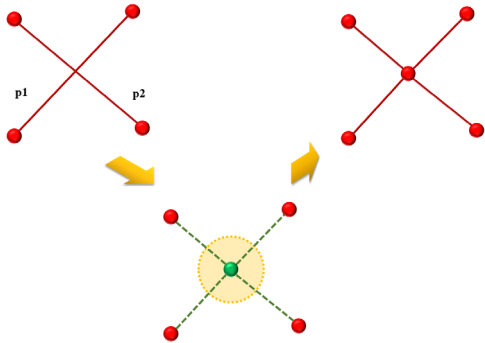


Figure 8. Network Generation in Edge-Edge Overlap Relation

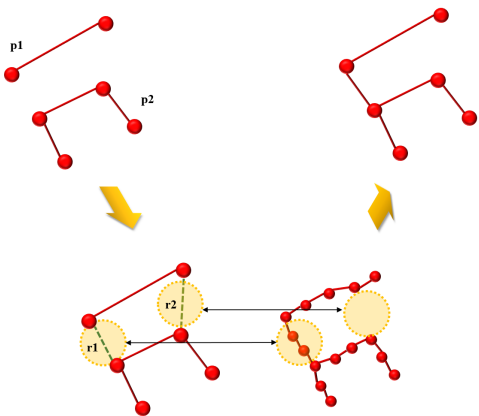


Figure 9. Network Generation when there are no Overlapping Areas

가능성이 높은 두 후보 에지를 선별한다. 선별된 에지는 원본 보행자 이동 데이터와 비교하여 에지의 근처 영역에 보행자 데이터가 얼마나 많이 포함되는가를 측정한다. 이를 통해 그 확률이 높은 에지를 선택하여 동떨어진 네트워크 간의 연결을 완성한다.

위 4가지의 상황 고려를 통해 가장 기본적인 실내 네트워크를 완성할 수 있다. 단순화된 데이터는 위 4 가지에서 단 한 가지 상황만을 포함하는 경우는 많지 않으며 여러 가지 상황을 함께 고려해야 되는 경우가 많다. 이는 위 4가지 상황을 적절히 조합한다면 큰 어려움 없이 실내 기본 네트워크를 생성할 수 있을 것이다.

4.4 네트워크 보정

다음은 기본적인 실내 네트워크를 바탕으로 조금 더 신뢰도 높은 네트워크를 형성하기 위한 네트워크 보정단계이다. 네트워크 보정은 기본 네트워크를 구성하는 노드들이 원본 보행자 이동 데이터를 토대로 가장 대표적인 좌표를 가지도록 하는 단계이다. 기본 네트워크를 덧붙이는 과정에서 생성되는 노드들은 각각의 단순화 데이터의 노드 좌표이다. 하지만 이는 각 공간을 대표하는 노드 좌표로는 볼 수 없다. 이에 근거하여 기본 네트워크의 각 노드들을 원본 보행자 이동 데이터를 이용하여 보정한다. Figure 10은 해당 네트워크 보정 단계를 설명한다.

먼저 기본 네트워크의 각 노드에서 특정 영역 범위를 설정하여 해당 범위에 포함되는 원본 데이터의 좌표들을 평균 내어 해당 노드의 좌표로 치환한다. 치환된 좌표를 가진 노드는 또 다시 특정 영역 범위를 설정하여 해당 범위에 포함되는 원본 데이터의 좌표들을 평균 낸다. 이를 반복하여 해당 노드의 좌표가 더 이상 바뀌지 않을 때 까지 반복하여 보행자 이동 데이터를

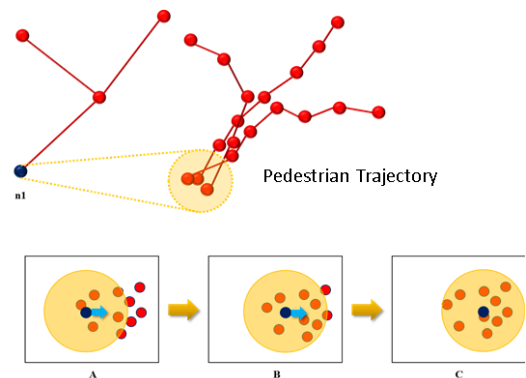


Figure 10. Network Correction

기반으로 한 기본 네트워크 노드들의 좌표를 수정한다.

4.5 네트워크의 층간 연결

각 층에 대해 실내 네트워크를 생성하였다면 원본 보행자 이동 데이터를 이용하여 층간 계단에 대하여 에지를 추가할 수 있다. 원본 데이터의 각 노드들은 시간 정보를 가지고 있다. 생성된 실내 네트워크의 각 노드에 특정 범위를 설정하여 원본 데이터들의 시간 영역을 조사하고 두 층의 시간 연결성을 조사하여 연관성이 높은 두 층의 노드를 에지로 연결해준다. Figure 11은 계단을 통한 두 층의 네트워크 연결을 보여준다. 1층의 n_1 노드 영역에서 원본 데이터의 시간 정보를 조사하고 2층의 n_2 노드 영역에 대해 조사하여 연관성이 높은 시간 관계를 찾는다면 n_1, n_2 두 노드를 계단으로 판별하고 이어준다.

5. 실험 및 검증

5.1 실험 환경

보행자들의 실내 이동 데이터를 수집하기 위하여 스마트폰 기반의 기존 애플리케이션을 조사 및 선정하였다. 선정된 애플리케이션은 SailsTech의 BuildNGO 실내 측위 애플리케이션이다. BuildNGO는 사전에 무선 AP 기반의 핑거프린트 맵을 만든 후 해당 정보를 분석하여 현재 위치를 추정해낸다. 사전에 제작되는 무선 AP 기반 핑거프린트 맵은 OpenStreepMap을 기반으로 하는데 이 때문에 후에 측정되는 보행자의 좌표는 경위도 좌표로 표시된다. 건물 내부의 무선 AP

상태를 스캐닝하는 단계인 핑거프린트 맵 제작은 BuildNGO를 스마트폰에 설치하여 직접 건물 내부를 돌아다니며 제작한다. Figure 12와 같이 측정할 경로를 미리 설정하고 측정 경로의 실제 거리를 기입한다. 이후 실제 해당 건물의 위치를 걸어가며 해당 경로의 무선 AP를 스캐닝 한다. 본 앱은 실내 측위에 의한 층 구분은 하지 않으므로 핑거프린트 맵을 만들 때 명시적으로 층을 표시하게 된다. 제작한 핑거프린트 맵은 SailsTech에서 제공하는 클라우드 서비스를 통해 원격으로 접속 가능하다.

위 과정을 통해 보행자의 이동 경로 데이터를 수집할 환경을 설정하고 SailsTech에서 제공하는 샘플 프로젝트를 통해 얻고자 하는 정보를 설정할 수 있다. Figure 13은 샘플 애플리케이션을 통하여 직접 수집한 보행자 이동 경로를 보여준다.

각 노드는 보행자의 특정 시간에서의 위치를 표현하며 이를 에지로 이어놓은 그래프 형태의 결과이다. 실험 환경은 부산대학교 건물 313동 3층과 4층이다. 수집 정보는 보행자의 이동에 따른 경위도 좌표, 방향 정보, 시간 정보이며 1초 단위로 각 정보들을 수집한다. 현재 59개의 보행자 이동 데이터를 수집하여 실내

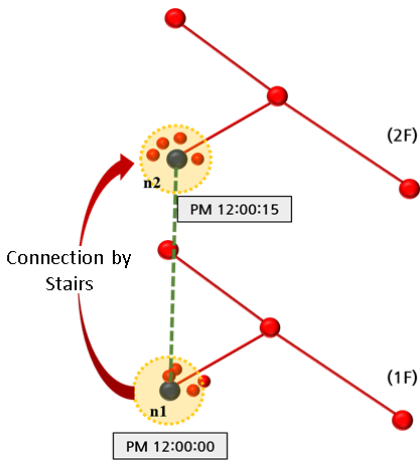


Figure 11. Edge Connection for Stair



Figure 12. BuildNGO Indoor Positioning Application

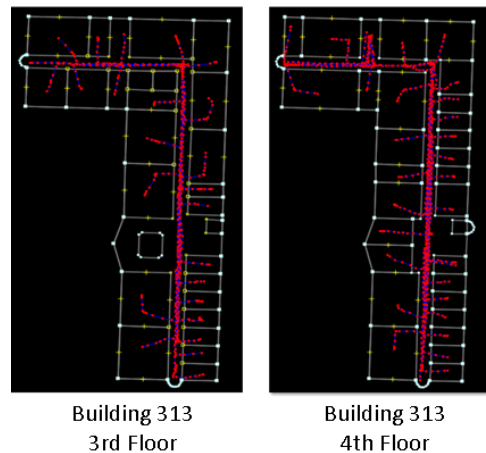


Figure 13. Pedestrian's Moving Data

네트워크를 생성하는데 이용하였다.

5.2 결과 분석

본 논문에서 제시한 네트워크 생성 방법론을 이용하여 5.1의 실험 환경을 바탕으로 건물 313동 3층과 4층에 대한 실내 네트워크를 생성하였다. 아래 그림은 각각 건물 313동 3층과 4층의 건물 단면과 생성된 실내 네트워크를 보여준다.

건물 313동 3층은 22개의 방과 1개의 복도 2개의 계단으로 이루어진다. 네트워크 생성을 통해 얻어진 건물 313동의 3층 실내 네트워크는 43개의 상태와 42개의 전이로 이루어진다. 방과 매핑되는 상태 수는 23개로 실제 방수인 22개와 비교하면 1개의 상태가 더 만들어진 것을 알 수 있다. 복도에 포함되는 상태 수는 18개로 각 방의 입구에 따른 복도의 상태가 형성됨을 알 수 있다. 계단이 있는 공간과 매핑되는 상태 수는 2개로 계단의 수와 동일하다.

건물 313동 4층은 27개의 방과 1개의 복도 2개의 계단으로 이루어진다. 네트워크 생성을 통해 얻어진 4층 실내 네트워크는 53개의 상태와 52개의 전이로 이루어진다. 방과 매핑되는 상태 수는 30개로 실제 방의 수인 27개보다 상태가 3개 더 만들어 졌다. 복도는 총 21개의 상태로 이루어져 있으며 2개의 계단에 각각 상태가 1개씩 매핑되었다.

생성된 결과 네트워크의 정확도를 판단하기 위해 건물 313동 3층과 4층에 대한 기준 네트워크를 만들고 그 결과를 비교하여 재현율과 정밀도를 판단해 보았다. Figure 15는 건물 313동 3층과 4층에 대한 기준

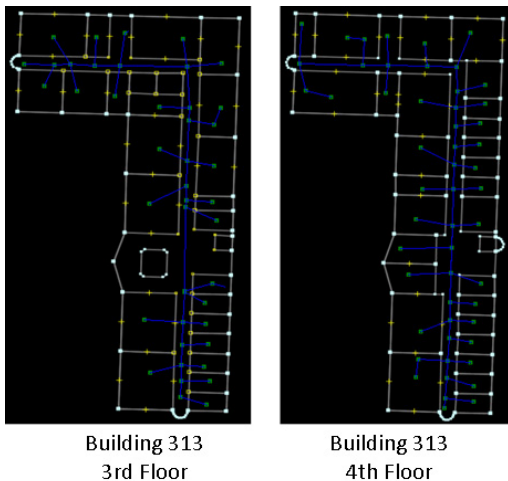


Figure 14. Network Generation Result

네트워크이다.

기준 네트워크의 생성 조건은 다음과 같다. 첫째, 방은 하나의 셀로 여기며 하나의 상태를 갖는다. 둘째, 방과 복도의 연결은 방의 상태와 복도에서 방으로 들어오는 진입로에 상태를 생성하여 이 둘을 연결한다. 기준 네트워크와 생성된 실내 네트워크를 비교한 재현율과 정밀도는 다음과 같다. Table 1의 내용을 통해 3층의 상태와 전이에 대한 정밀도와 재현율을 구할 수 있다.

3층의 상태에 대한 정밀도는 0.893, 재현율은 1로 나왔다. 또한 3층의 전이에 대한 정밀도는 0.888, 재현율은 1로 나왔다. Table 2를 통해 4층의 상태와 전이에 대한 정밀도와 재현율을 구할 수 있으며, 4층의 상태에 대한 정밀도는 0.925, 재현율은 1로 나왔다. 또한 전이에 대한 정밀도는 0.905, 재현율은 1로 나왔다.

각 층에 대한 정밀도와 재현율을 토대로 생성된 네트워크의 정확도를 따져보면 3층에서 생성된 상태의 정확도는 0.895, 전이의 정확도는 0.891이다. 그리고 4층에서 생성된 상태의 정확도는 0.929, 전이의 정확

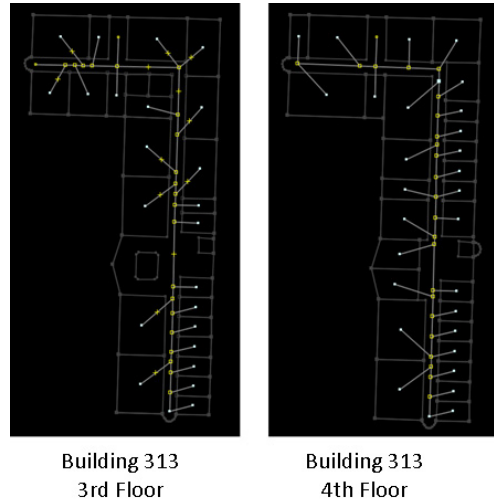


Figure 15. Standard Indoor Network for Comparing

Table 1. Analysis of 3rd Floor's network using Recall and Precision

State	True	False
Positive	42	5
Negative	1	0
Transition	True	False
Positive	40	5
Negative	1	0

Table 2. Analysis of 4th Floor's network using Recall and Precision

State	True	False
Positive	42	5
Negative	1	0
Transition	True	False
Positive	40	5
Negative	1	0

도는 0.913으로 나왔다. 이를 통해 실내 네트워크 생성을 통해 얻은 네트워크가 기준 네트워크와 비교하였을 때 상태 및 전이의 정확도가 약 90%의 정확도를 가지는 것을 알 수 있다.

또한 본 실험을 통하여 직선의 단순화를 위한 오차의 범위와 네트워크 데이터 보정을 위한 원의 반지름은 실험의 결과에 큰 영향을 주지 않았다. 보다 정밀한 영향에 대하여서는 추가의 연구를 통하여 수행할 필요가 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 보행자들의 이동 데이터를 클라우드 소싱 방식을 통하여 수집하고 수집한 데이터를 이용하여 건물의 실내 네트워크를 생성하는 방법에 대해 알아보았다. 생성된 네트워크는 정밀도와 재현율을 측정하여 기준 네트워크와 비교하여 얼마만큼의 정확도를 가지는지 측정하였고, 생성된 네트워크의 상태와 전이에 대해서 약 90%의 정확도를 가지는 것으로 나타났다. 이는 본 방법론을 통해 표현된 네트워크 부분도 있는 반면 제대로 표현되지 않은 네트워크 부분 또한 다소 존재함을 얘기한다. 이는 방법론의 수정 및 보완으로 생성된 네트워크의 정확도를 높여야 함을 말한다.

향후 연구 과제로써는 보행자의 이동 경로 데이터에 대한 노이즈 필터링과 추가적인 네트워크 보정에 힘써야 할 것이다. 원본 데이터의 노이즈 필터링으로 인해 좀 더 다양한 보행자 데이터를 취급할 수 있을 것으로 보인다. 또한 본 논문에서는 보행자 데이터의 시간 정보를 이용하여 계단을 판별하는 것에 그쳤지만 시간 정보와 보행자의 밀집 패턴을 이용한다면 어떤 노드가 방이며 복도인지 등의 공간적 의미를 구분해 낼 수 있을 것으로 보인다. 이를 통해 실내 네트워크의 활용도를 높이고 실내 네트워크의 다양한 활용을 예상해 볼 수 있을 것이다.

References

- [1] Alzantot, M; Youssef, M. 2012, Crowdsinside: Automatic construction of indoor floorplans, ACM SIGSpatial Conference, Nov. 2012, pages 99-108.
- [2] Cao, L.; Krumm, J. 2009, From GPS traces to a routable road map, ACM SIGSpatial Conference, Nov. 2009. pages 3-12.
- [3] Karagiorgou, S.; Pfoser, D. 2012, On vehicle tracking data-based road network generation, ACM SIGSpatial Conference, Nov. 2012, pages 89-98.
- [4] Kim, Y. G; Shin, H. J; Cha H. J. 2012, Smartphone-based Wi-fi Pedestrian-tracking System Tolerating the RSS Variance Problem, IEEE International Conference, March 19-23, 2012, pages 11-29.
- [5] Kreveld, M. V; Wiratma, L. 2011, Median trajectories using well-visited regions and shortest paths, ACM SIGSpatial Conference, Nov. 2011, pages 241-240.
- [6] OGC, IndoorGML, <http://www.opengeospatial.org/standards/indoorgml>
- [7] Ojeda, L; Borenstein, J. 2007, Non-GPS navigation with the personal dead-reckoning system, SPIE Defense and Security Conference 2007.

Received : 2014.12.29

Revised : 2015.2.26

Accepted : 2015.2.27