

내부공간 대피 시뮬레이션을 위한 3차원 GIS 데이터 모델링

류근원¹, 박인혜¹, 김혜영¹, 전철민²

¹서울시립대학교 지적정보학과 석사과정, ²서울시립대학교 지적정보학과 교수
(ryuwin, ihpsm, mhw3n, cmjun)@uos.ac.kr

3D-GIS Data Modeling for Evacuation Simulation in Indoor spaces

Keunwon Ryu¹, Inhye Park¹, Hyeyoung Kim¹ and Chulmin Jun²

¹Graduate student, ²Professor, Dept. of Geoinformatics, Univ. of Seoul

요 약

건물들이 대형화되고 복잡해 지면서 3차원 기반 정보의 요구가 증대하고 있다. 또한 위치기반서비스, 화재발생시 비상대피와 같은 유비쿼터스 컴퓨팅 응용프로그램을 위한 기반데이터로서도 3차원 GIS에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나, 대부분 현재의 3차원 모델링 기술은 건물이나 지형의 시각화에 집중되고 있으며 공간분석에서 요구되어지는 위상구조를 가지고 있지 않기 때문에 분석이나 시뮬레이션에 이용하는데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 2차원 GIS 레이어들과 3차원 모델을 결합시키는 것으로서 3차원 모델에 위상관계를 부여하는 방법을 제시한다. 3D 모델의 실내 공간을 분리된 오브젝트로 나누고 데이터베이스의 레코드를 통하여 2차원 GIS 레이어에서 상응하는 피쳐와의 관계를 정의하는 방법으로 2D-3D의 연동방법을 제시한다. 본 연구에서는 이렇게 연동된 건물모델에서 경로탐색을 위한 네트워크의 구축방법도 제시하며, 그 예시로서 건물내부공간에서의 시·중점이 부여되는 일반적인 길찾기와 긴급화재가 발생했을 때 비상대피로를 탐색하는 두가지의 상황을 테스트 한다.

1. 서 론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅 응용프로그램의 증가와 함께 3D GIS라는 용어 또한 점점 관심을 얻고 있다. 특히 3D 데이터 모델은 실내공간에서의 위치기반서비스 또는 화재대피와 같은 문제를 다룰 때 내부공간의 시각화와 분석에 있어 중요한 요소이다. 현재 3D 모델이 3D GIS와 혼용되고 있지만 3D 모델은 위상구조를 갖고 있지 않기 때문에 실내공간에서의 분석목적에 적용하기에는 한계를 가지고 있다.

대부분의 상용 GIS 시스템은 고도 데이터를 이용하여 3D뷰어를 생성하는 기능을 가지고 있다. 그러나 3차원 형상으로 보일지라도 이는 본질적으로 2D 데이터에 기반을 두고 단순히 높이값만을 추출한 것이다. 그러므로 그러한 데이터의 유형은 2.5D GIS 데이터라 할 수 있지만 진정한 3D라고는 볼 수 없다.

몇몇의 연구(Wang 2004, Brooks 2005)에서는 2D GIS와 3D 모델을 결합시키는 방법을 제시하는데 2.5D 형태의 디스플레이와 지형데이터의 분석에 초점을 맞추고 있다. 그러나 이런 접근방법이 2D와 3D 두 기능의 통합을 보여주고는 있지만 3D 객체들

사이에 위상관계가 결여되어 있어 실내공간에 적용하기에는 한계가 있다. 한편 Stoter(2006)는 객체들 사이의 위상관계를 유지하는 것에 초점을 맞춘다. 복잡한 3차원의 지형을 3D의 기하학적인 형태로 나타내고 데이터베이스를 사용하여 위상관계를 부여하였다. Stoter의 접근은 위상관계와 3D 오브젝트의 속성을 혼합할 수 있다는 점에서 본 연구에 밀접한 관련이 있다. 그러나, 내부공간의 각 실과 네트워크의 관계를 다루지 못하는 한계가 있다.

본 연구에서는 실내공간에서의 유비쿼터스 컴퓨팅 응용프로그램이 외부와 내부공간을 동시에 표현하기 위한 3D 모델을 요구한다는 것을 고려한다. 또한, 위치피악이나 경로탐색시에 2D GIS에서 제공되는 공간객체들 사이의 위상관계를 요구한다는 것에 초점을 맞추며 2D GIS 모델과 3D 모델의 연동방법을 제안한다. 제안된 2D-3D 하이브리드 모형은 두 모델의 장점인 3D 시각화 기능과 2D 토폴로지를 모두 제공하며 데이터베이스는 두 모델의 동일한 객체를 연결하는 부분에 이용된다. 최종적으로 앞서 제시한 것에 대한 적용사례로서 건물 내부에서 두가지 상황에서의 경로탐색의 경우를 테스트 하였다.

2. 토폴로지 데이터 구조

지리적 현상을 평면상에 표현하는 방법에는 크게 두 가지가 있는데 하나는 연속적인 필드로 표현하는 방법이고 다른 하나는 분리된 객체로 표현하는 방법이다(Chrisman 1975, Peuquet 1984, Worboys 1995, Longley et al. 2001). 레스터라고 불리는 필드 뷰어는 셀의 배열로서 실세계를 나타낸다. 분리된 객체 뷰어는 분명한 경계를 갖고 있는 객체로 나타내며 객체를 포인트, 라인, 폴리곤으로 정의한 벡터의 개념을 사용한다. 본 연구에서는 실내공간에서의 분석에 있어 공간 객체의 매칭이 요구되기 때문에 레스터 보다는 벡터표현에 초점을 맞춘다.

벡터 기반 객체들은 단순형태의 피쳐 및 위상구조를 갖는 피쳐를 이용하여 구축된다. 대부분의 상용 CAD 시스템은 단순형태의 피쳐들을 생성하는데 객체들 사이에 어떠한 관계도 없기 때문에 단순형태의 피쳐들은 서로 분리되고 겹쳐질 수 있으며 데이터베이스의 관계성이 부족하다는 단점이 있다(Zeiler 1999).

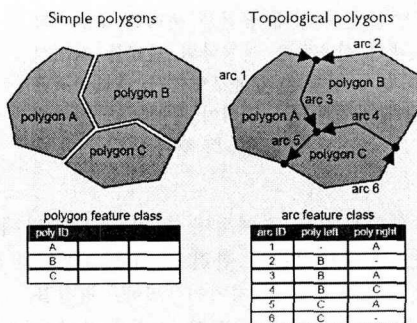


그림 1. 단순 폴리곤 및 토폴로지 구조의 폴리곤

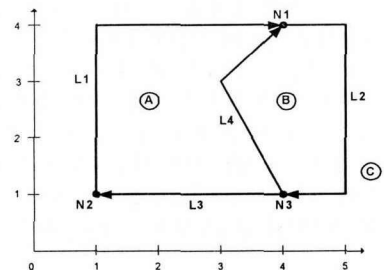
한편, 위상구조를 갖는 피쳐들을 생성하는 것은 토폴로지라고 불리는 공간원리에 기반한다. 토폴로지는 기하학(geometry)의 한 학문 분야를 지칭하는데, 굽히거나 늘리더라도 변하지 않는 요소들간의 관계성을 다루는 분야이다 (ESRI 2001). GIS에서 사용하는 토폴로지도 이와 같이 지형요소들간의 인접성(adjacency)이나 연결성(connectivity)이 유지된 데이터 구조를 지칭하는 용어로서 GIS에서 지리적인 분석을 가능하게 해주는 핵심적인 요소라 할 수 있다.

토폴로지 관계를 가지는 데이터에서는 단순형태에서는 불가능한 공간간의 인접성이나 상호관계, 네트워크의 연결성의 파악이 가능하다. 또한 이에 근거한 공간질의나 연산이 가능하다. 예를 들어, 한 레이어 안에서 특정요소에 인접한 요소들을 추출하거나 서

로 다른 레이어간의 중첩분석을 통해 원하는 지형요소를 추출하는 것도 뿐 만 아니라 한 지점에서 다른 지점으로의 최적 루트의 연산도 가능하다.

그림 1에서는 단순형태와 토폴로지로 구성된 폴리곤의 예를 보여준다. 단순 형태에서는 인접한 경계라 하더라도 폴리곤들은 서로 분리된 개체로 인식되며 폴리곤 간에는 상호관계를 알 수 없다. 한편 토폴로지가 부여된 폴리곤에서는 폴리곤들이 인접한 경계(arc)는 오직 한번만 저장되며 경계와 좌우측 폴리곤과 같은 관계를 알 수 있다.

토폴로지에는 선형 토폴로지와 폴리곤 토폴로지가 있다. 그림 2는 두 가지 토폴로지를 개념적으로 나타낸다. 하나의 폴리곤은 방향을 가진 아크(Arc)들로 구성되며, 아크들은 시작 노드와 끝 노드, 그리고 중간 버텍스들로 구성된다. 이렇게 폴리곤과 아크들이 상호 연결된 관계를 가지고 있기 때문에 상기한 각종 질의와 분석이 가능해 진다.



Arc coordinate list

Arc-ID	From-Node	Vertices	To-Node
L1	(1,1)	(1,4)	(4,4)
L2	(4,4)	(5,4) (5,1)	(4,1)
L3	(4,1)		(1,1)
L4	(4,1)	(3,3)	(4,4)

Line Topology

Arc-ID	From-Node	To-Node	Left-Poly	Right-Poly
L1	N2	N1	C	A
L2	N1	N3	C	B
L3	N3	N2	C	A
L4	N3	N1	A	B

Polygon Topology

Polygon-ID	Line#
A	L1, L3, L4
B	L2, L4
C	External polygon

그림 2. 선형 및 폴리곤 토폴로지

토폴로지관계를 가지는 공간요소들은 위치인식기반 서비스에서 효과적으로 이용될 수 있다. 예를 들어, GPS를 통해서 현재의 좌표를 알게 되면 가장 가까운 아크나 노드에 매칭을 시킬 수 있으며 이렇게 되면 현재 위치한 도로나 교차로의 이름이나 그 밖의 속성들(예를 들어 도로의 폭, 교통의 흐름 등)

도 알 수 있다. 또한 아크는 폴리곤과 관계를 가지므로 자신이 위치한 지점의 좌우측의 공간의 속성(예를 들어 필지의 지번, 지가, 건물명 등)들의 검색이 가능하다. 이렇게 1차적인 속성의 검색 뿐 아니라 현 지점에서 목적지까지의 최단루트의 산출이나 현 지점에서 일정 반경 내에 있는 공간들의 검색 등이 가능하다(그림 3-a).

실내에서는 GPS대신 여러가지 실내위치측위 방식으로 바뀔 뿐 실외에서의 위치기반서비스의 원리와 동일하다. 즉, RFID, UWB 또는 카메라 등의 센서를 통해 개인 위치를 알게되면 실외와 마찬가지로 지리적 좌표계를 가지는 벡터공간요소(점, 선, 면)에 매칭을 시킨 후 공간질의나 분석을 할 수 있다(그림 3-b). 본 연구에서는 유비쿼터스 컴퓨팅에 응용프로그램에서 요구되는 위치기반분석을 위해 3D 모델에 2D 위상학적인 프로퍼티를 부여 하기위한 방법을 제안한다.

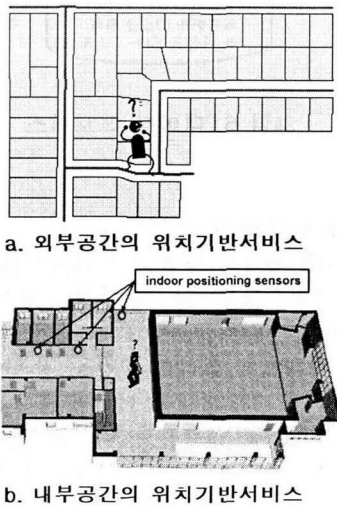


그림 3. 외부와 내부공간의 위치기반서비스

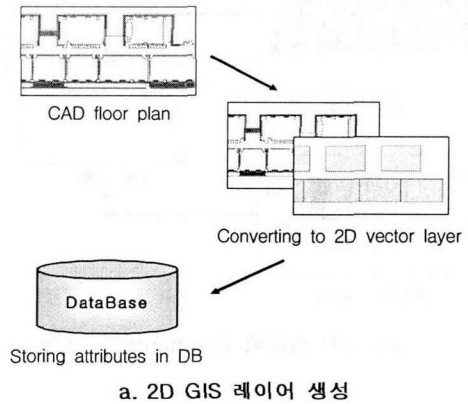
3. 2D-3D 연동

대부분의 상용 3D 모델링 시스템들은 시각화의 목적에 초점을 맞추어 CAD기반의 3D 모델을 생성하며 대부분 내부공간은 3D 모델에서 정의되어 있지 않다. 내부공간이 만들어져 있는 경우에도 각각의 공간은 앞서 언급한 것처럼 공간사이의 관계를 포함하지 않는데 이러한 3D 모델은 정량적인 분석 또는 위치기반 응용프로그램에 이용될 수 없다.

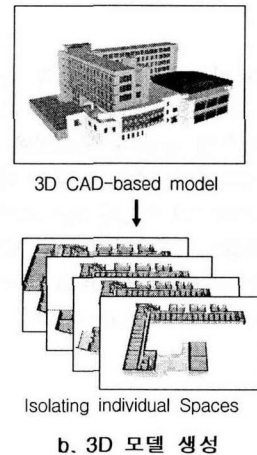
3D GIS는 3차원 시각화 기능뿐 만 아니라 분리되어 정의된 공간들 사이에 위상관계를 가지고 있어야

한다. 3D GIS 데이터 모델을 생성하기 위해서는 두 모델로부터 유리한 점들을 결합하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 이 두 기능을 실현하기 위해 2D-3D 하이브리드 모델을 만드는 방법을 개발하였다.

제안된 데이터 모델링 과정은 그림 4에서 설명된다. 첫째, 2D GIS 레이어들은 건물의 층별 평면도를 이용하여 생성한다. 이 때, CAD 도면은 ESRI ArcGIS를 이용하여 각각의 벡터 GIS 레이어(Shapefiles)로 변환한다. 생성된 GIS 레이어들은 위상관계가 유지되면서 분리되어 정의되어진 공간들로 조합된다. 건물 층별 레이어들을 생성한 후에 소유자의 이름과 이용상태와 같은 속성값들과 더불어 각 공간의 ID값들은 데이터베이스 테이블(그림 4-a)에 저장된다. 3D 모델링 과정도 이와 유사하게 수행되는데 처음 3D 모형을 생성할때 모든 공간은 분리된다. 층뿐만 아니라 모든 방은 각각의 공간으로 명확하게 나누어지는데 이 때, 2D GIS 레이어와 상응하는 공간에는 같은 ID 값을 할당한다(그림 4-b).



a. 2D GIS 레이어 생성



b. 3D 모델 생성

그림 4. 2D GIS 레이어와 3D 모델 생성

두 모델이 생성되면 공유된 DB의 테이블을 통하여 양쪽의 공간 객체들이 서로 연결된다(그림 5). 본 연구에서는 인터페이스에 두 모델의 뷰어를 통합하기 위하여 C# 언어를 사용하였다. 두개의 상용 라이브러리가 어플리케이션에서 사용되었는데 하나는 3D 모델 렌더링을 위한 것이고 다른 하나는 GIS 레이어를 표현하기 위한 것이다. 3D 모델 부분을 위해서는 EON Studio를 사용하였고 GIS 라이브러리를 위해 ESRI MapObjects를 사용했다. 이 제품들을 선택한 이유는 .NET 언어에 적합한 라이브러리를 갖고 있었기 때문이다. 응용프로그램에서 공간 객체는 어느 한쪽 뷰어컨트롤에서 마우스 클릭 이벤트에 의해 선택되고 확인된다. 클릭 이벤트에 의해 하나의 뷰어에서 선택된 공간의 ID는 공유 DB를 통하여 또 다른 뷰어로 전달된다. 이러한 방법으로 두 모델은 동시성을 지니게 된다.

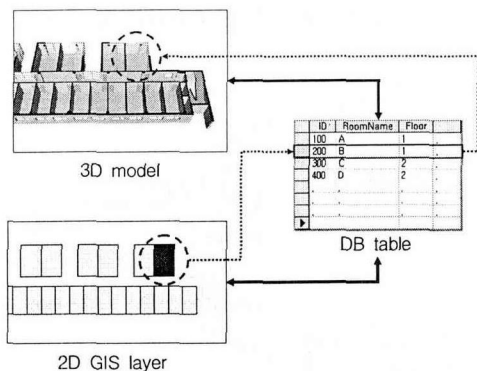


그림 5. 2D-GIS와 3D model의 연동

4. 적용사례

제안된 2D-3D 하이브리드 모델의 사용하는 사례로서 서로 다른 루트를 찾는 상황을 테스트 하였다. 테스트를 위해 충분한 규모와 복잡함을 나타내는 캠퍼스 건물을 선택하였다. 루트를 찾는 테스트를 위해 앞서 설명한 것처럼 2D GIS와 3D 모델에 네트워크 데이터를 생성하였고 데이터베이스 테이블을 통해 양쪽으로부터 네트워크 세그먼트를 매칭하여 연동시켰다. 데이터 처리 흐름은 그림 6에서 요약된다.

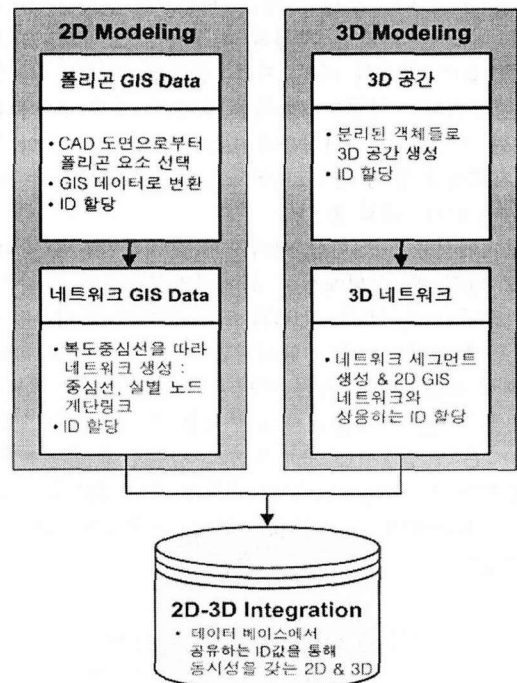


그림 6. 데이터 프로세스

2D 네트워크 모델링

우선, CAD 파일의 층별 도면들은 GIS 데이터 레이어들로 변환시켰다. GIS 레이어를 생성할때 창문, 문, 엘리베이터와 치수선과 같은 불필요한 요소들은 제외하고 벽들만을 폴리곤 공간을 정의하는데 이용하였다. 폴리곤 레이어들과 더불어 복도를 나타내는 네트워크 레이어를 생성하였다. 복도 네트워크를 생성하는 것은 도로 네트워크를 생성하는 절차와 유사하다. GIS 도로 네트워크와 같이 복도중심선들을 추출 하였는데 이 때, 두 라인이 서로 교차할 때마다 교차점 노드가 생성된다. 또한, 각각의 방을 나타내기 위해 직선에 노드가 삽입된다. 층 사이의 계단들 또한 링크 세그먼트로 생성된다.

완성된 2D 네트워크모델은 링크와 노드 사이에 위상관계를 가지고 있다. 최단경로를 계산하는 일반적인 계산과정에서는 거리와 이동시간 등이 비용요소로 이용된다. 여기에서는 건물내부이기 때문에, 이동의 흐름은 지속적으로 할당되므로 거리만이 비용요소로 사용된다. 폴리곤의 연동처럼 네트워크 세그먼트들도 2D와 3D 사이에 동시성을 지니게 되어야 한다. 그러므로, 2D 네트워크 링크 ID는 그것들의 3D 대응객체들과의 짝을 이루기 위해 각각의 3D 세그먼트들에 할당되어졌다(그림 7).

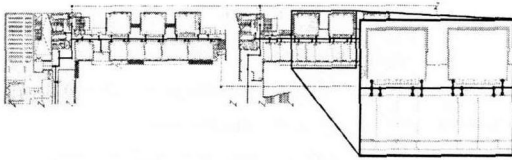


그림 7. 2D-GIS 네트워크 모델링

3D 네트워크 모델링

계산된 경로를 3차원으로 시각화 하기위해 2D GIS 레이어의 각 공간들을 3D 모델에서도 상응하는 공간들로 분리시켜 생성하였으며 2D GIS 레이어에서 생성된 네트워크 객체인 링크와 노드들 또한 3차원 모델로 구축하였다(그림 8).

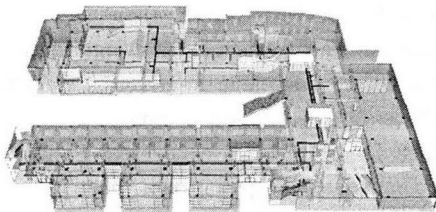


그림 8. 3D 네트워크 모델링

폴리곤인 각 실들과 네트워크 요소들은 3D 오브젝트에 동일한 ID를 할당하고 데이터베이스 테이블들을 ID의 운반자로서 사용함으로써 두 모델에서 동시성을 지니게 되었다. 이 두 모델의 중간에 공유된 데이터베이스를 통하여 양쪽의 네트워크 세그먼트들은 어느 한쪽의 선택에 의해 쿼리 되어지고 디스플레이 되어질 수 있다(그림 9). 한쪽에서 선택된 객체의 ID는 매칭되는 오브젝트를 동일시 하기위해 다른 쪽으로 전달된다.

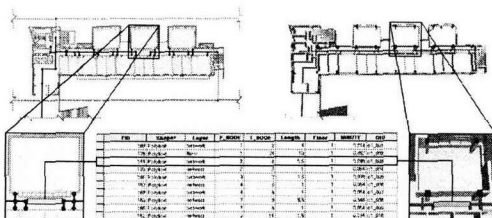


그림 9. 2D-GIS와 3D 모델 오브젝트의 연동

경로탐색

본 연구에서는 경로를 탐색하는 두가지 경우를 테스트 하였다. 하나는 지정된 시점과 목적지이며 또 다른 하나는 지정된 시점에서 가까운 출구까지이다. 예를 들어 첫번째 경우는 편의점 또는 주차장에서

방향을 탐색하는 것과 같은 일상생활에서 이용될 수 있으며 두번째는 화재 대피와 같은 응급상황에 이용될 수 있다.

첫 번째의 경우 어플리케이션에서 사용자가 시점과 목적지를 선택하는 것으로 처리가 시작된다. 선택은 2D GIS 또는 3D 모델의 두 뷰어컨트롤에서 객체를 클릭하거나 또는 공간의 명칭과 같은 속성값에 의해 공유 데이터베이스를 질의함으로써 대상을 선택할 수 있다. 사용자가 폴리곤 객체를 선택할 지라도, 그것은 복도 네트워크 중에서 가장 가까운 노드가 선택되며 경로탐색 계산은 네트워크 데이터를 이용하여 수행된다. 본 연구에서는 최단 경로를 계산하는데 있어 많이 알려진 Dijkstra의 알고리즘(Dijkstra 1959)을 이용하였다. 그림 10은 시점과 목적지 사이에 탐색결과로서 생긴 경로를 나타낸다. 3D모델에서 경로를 찾아내기 위한 테스트로서, 서로 다른 층으로부터 시·종점을 선택하였으며 링크의 거리를 비용요소로 이용하였다.

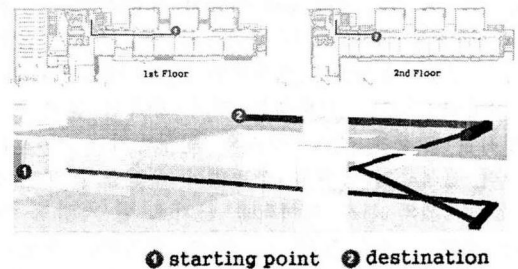


그림 10. 시·종점 부여시 경로탐색

응급상황시 대피의 경우는 그림 11에 보여진다. 여기에서는, 목적지가 유저가 입력하는 것이 아니라 가장 가까운 출구인 것을 제외하고는 같은 알고리즘을 사용한다. 또한 화재발생 위치를 선정한 것은 경로탐색 과정에서 화재발생지점을 피하는 것을 보여주기 위하여 제시된 조건이다.

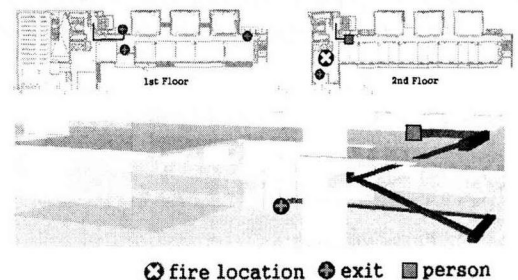


그림 11. 화재발생시 최근점 출구까지의 경로탐색

본 연구는 많은 유비쿼터스 컴퓨팅 응용프로그램들에서 대부분의 3D 모델링 기술들이 내부공간의 위치기반 상황을 처리할 수 없다는 사실을 무시한 채 3D 모델에만 초점을 맞추고 있기 때문에 이 문제를 해결하고자 시작되었다. 본 연구는 위치기반 서비스 응용프로그램에서 요구되는 3D 모델에서의 위상관계를 현실화 하기위한 방법을 제시한다.

3D 모델과 GIS 레이어로부터 3D와 2D의 짝을 이루는 오브젝트들을 연결함으로써 2D-3D 하이브리드 데이터 모델을 생성하는 방법을 제시하였으며 하이브리드 모델을 이용하는 예시로서 2가지의 경로탐색의 시나리오를 테스트하였다. 하나는 시종점 사이의 일반적인 최단경로이며 다른 하나는 화재대피경로에 관한 것이다.

본 연구에서 제안한 하이브리드 모델은 약간의 수정과 검증을 통해 실제적인 응용분야에 활용될 수 있을 것으로 생각한다. 3D 기반의 유비쿼터스 응용프로그램에서 요청되어지는 실내의 위치탐지와 관련된 기술들은 시장에서 경쟁하고 있는 상황이다. 비록 적합한 기술을 선택하는 것이 중요한 문제일수 있겠지만 그것은 현재 우리의 연구범위가 아니다. 오히려 센서들의 종류와 상관없이 우리들의 모델에서 공간객체와 센서 데이터를 근거로 한 사람의 위치를 정하는 것에 있어 센서들을 매핑하는 방법에 대해 연구하고 있다. 일단 사람의 위치가 취득되면 앞선 경로탐색 적용사례에서 시점이 감지된 위치로 대체되어질 수 있다.

또 다른 이슈는 래스터 데이터 모델을 사용하는 것에 관한 것이다. 많은 사람들이 상대적으로 큰 공간에 있게 되는 화재대피의 경우에는는 복도의 중앙선에 근거한 네트워크 경로에 의해 다루어 질 수 없는 다수의 경로제공이 요구될 것이며 이를 위해 래스터 데이터 모델의 활용이 요구될 것이다. 우리는 또한 실용적인 화재대피 시뮬레이션을 수행하기 위해서 3D 모델과 셀 기반의 레이어 사이의 연동방법을 개발하고 있다.

- [1] Chrisman, N.R., 1975b. Topological information systems for geographic representation. *Proceedings of Second International Symposium on Computer-Assisted Cartography (Auto-Carto 2)*, Falls Church, ASPRS/ACSM, pp. 346-351.
- [2] Brooks, S. and J. Whalley, 2005b. A 2D/3D hybrid geographical information system. *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques*, Australasia and South East Asia, pp. 323-330.
- [3] Dijkstra, E. W., 1959a. A note on two problems in connection with graphs, *Numerical Mathematics I*, pp. 269-271.
- [4] Longley, P., M. Goodchild, D. Maguire and D. Rhind, 2001. *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley & Sons.
- [5] Peuquet, D. J., 1984a. A conceptual framework and comparison of spatial data models, *Cartographica*, 21(4), pp. 66-113.
- [6] Stoter, J. and P. Oosterom, 2006. *3D Cadaster in an International Context*, Taylor & Francis.
- [7] ESRI, 2001. *Dictionary of GIS Terminology*, The ESRI Press.
- [8] Wang, X., 2005a. Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, pp. 471-496.
- [9] Worboys, M. F., 1995. *GIS: A Computing Perspective*, Taylor & Francis.
- [10] Zeiler, M., 1999. *Modeling Our World*, ESRI Press.