

복층 실내 환경을 위한 3차원 실내 내비게이션 및 자동화 시스템 설계

박가은, 최린*

고려대학교

maybday@korea.ac.kr, *lchoi@korea.ac.kr

Design of 3D Indoor Navigation and Automation System for Multi-Level Indoor Environments

Ga Eun Park, Lynn Choi*

Korea Univ.

요약

본 논문은 복층 구조를 가지는 실내 환경에서 효과적으로 내비게이션 기능을 제공하기 위한 3차원 실내 내비게이션 시스템을 구축한다. 3차원 실내 공간에서 사용자의 위치를 실시간으로 시각화하고, 복층 환경에서 발생하는 시각적 혼란의 원인을 경로 계산과 경로 시각화를 동일 선상이 아닌 전층을 하나의 연속된 공간으로 인식하여 경로를 전역적으로 계산하고 사용자 위치 및 선택 층을 기준으로 경로를 필터링하여 시각화하도록 한다. 이를 위해 A* 알고리즘 기반 최단 거리 경로 탐색을 수행하고, 복층 구조에서도 직관적인 경로를 인내가 가능함을 입증했다. 또한 다양한 구조와 규모를 가진 실내 건물에 최소한의 정보만을 입력해 자동으로 반복 작업을 수행하는 3차원 실내 내비게이션 환경 구축을 위해 자동화 시스템을 함께 설계하였다. 실험 결과, 자동화 시스템을 적용한 경우 수작업 대비 평균 81.45%의 구축 시간 단축 효과를 보았으며 향후 연구에서 여러 채의 건물이 포함된 단지 규모의 환경을 대상으로 자동화 시스템을 확장하고, 사용자 친화적 3차원 실내 내비게이션 구축을 목표로 한다.

I. 서론

실내 층위는 실내 환경에서 사용자의 위치를 추정하는 기술로, 최근 몇 년간 스마트폰 및 기타 무선 장치의 대중화를 통해 실내 층위 기반 서비스 분야가 많은 관심을 받고 있다.[1] 특히 재난 상황, 건축 현장에서의 안전 관리, 쇼핑 센터 또는 전시회와 같은 건물 운영 등 다양한 분야에서 활용되면서 실내 층위 기반 실내 내비게이션의 필요성이 점차 확대되고 있다.

기존의 실내 내비게이션은 주로 2차원 기반 지도에서 경로를 제공하고 있다. 이러한 방식은 각 층을 분리하여 단층으로만 표시하기 때문에, 각각의 층에 대한 제한적인 접근만 가능하며 사용자가 공간 구조를 파악하기에 시각적 한계가 있다.[2] 특히 2차원 지도를 사용하는 사용자는 현재 위치와 이동 예정인 층 정보를 계속해서 비교하며 건물 구조를 이해하게 된다. 이 과정에서 다층적이고 복잡한 실내 환경에서 길을 찾기 위해서는 단순한 경로 탐색을 넘어 더 많은 인지적 노력을 요구하게 된다.

2차원 실내 내비게이션에서 복층 환경에서는 층 간 이동을 포함한 경로 안내가 필수적으로 발생하지만, 각 층을 동일한 평면 좌표 상에서 층별로 분리하여 경로를 제공하는 경우가 많다.[3] 이로 인해 서로 다른 층에 위치한 경로들 간의 공간적 관계와 이동 방향을 파악하기에 어려움이 있다. 특히 계단이나 에스컬레이터, 엘리베이터와 같은 수직 이동에서는 경로의 연속성이 명확하게 전달되지 않아 시야를 방해해 혼란이 발생할 수 있다.[3]

본 연구에서는 정밀 실내 층위 기술을 적용하여 실시간으로 사용자의 위치, 이동 방향을 추정하여 시각적으로 출력하는 3차원 실내 내비게이션 구현을 목표로 한다. 최단 거리의 경로 안내를 하기 위해 경로 탐색 알고리즘인 A* 알고리즘을 적용해 최단 경로 계산을 수행하도록 한다.[4] 특히 실내 복층 구조에서 빈번하게 발생하는 시각화 문제의 원인으로 경로 계산과 경로 시각화를 동일 선상에서 다룬 기존 2차원 접근 방식의 한계로

해석하여 효과적인 해결 방법을 제시하여 3차원에서의 복층 환경의 시각적 혼란을 최소화하고자 한다. 더 나아가, 본 연구에서는 3차원 실내 내비게이션 환경을 효율적으로 구축하기 위한 자동화 시스템 구축에 대한 접근도 함께 다루고자 한다.

II. 본론

2.1 TestBed

본 연구의 구현 및 검증을 위해서 다양한 실내 공간 조건이 혼합된 복합적 구조를 갖는 건물인 고려대학교 안암 캠퍼스의 신공학관, 공학관을 테스트베드로 선정하였다. 해당 건물들은 넓은 공간, 계단 및 엘리베이터 등과 같은 수직 이동 가능 구조의 공간, 좁은 복도, 개방형 층 구조 등을 포함하고 있어 실내 건물 내 다양한 환경에서의 3차원 실내 내비게이션 구축에 적합하다. 또한 복층 환경에서의 경로 계산 및 시각화 문제를 검증하기에 적합한 공간이다.

2.2 실내 층위 시스템 및 도면 기반 모델링

3차원 실내 내비게이션에 적용된 실내 층위 기술은 스마트폰에 내장된 센서 및 신호를 활용해 사용자의 위치와 이동 방향을 추정하는 방식이다. 센서 기반 이동 방향 추정에서 발생 가능한 누적 오차를 완화하기 위해 벡터 캘리브레이션을 적용해 사용자의 위치를 정밀 추정하여 실시간으로 3차원 실내 내비게이션에 전달한다 [5].

3D 실내 내비게이션에서 중요한 요소 중 하나인 3D 모델링은 건물의 외곽 및 실내 구성 선분들을 활용하여 해당 건물의 외관과 실내 구조를 생성한다. 생성된 건물의 계단, 계단 등과 같은 실제 정보를 반영하여 실제와 비슷한 환경을 구축한다. [그림 1]은 테스트베드로 지정한 고려대학교 안암 캠퍼스의 신공학관과 공학관을 3D 모델링한 모습이다.

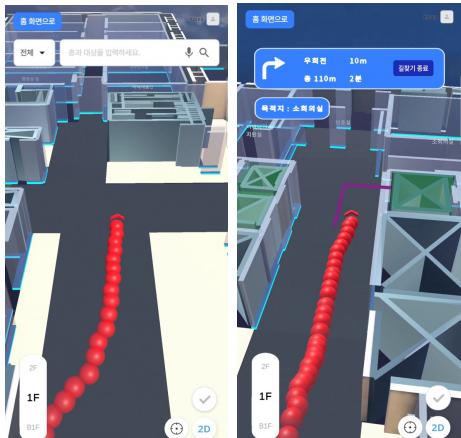


[그림 1] 고려대학교 안암 캠퍼스 신공학관, 공학관 3D 모델링

2.3 유니티 기반 3차원 실내 내비게이션 시스템

2.3.1 실내 내비게이션 시스템

3차원에서의 내비게이션 구현을 위해서 A* 알고리즘을 통해 최단 경로 계산을 수행하도록 한다. 도면 기반으로 생성된 위치정보(POI) 모델에서 층, 이름, 위치 정보를 추출하여 리스트화를 진행한다. 리스트화된 정보를 활용하여 목적지를 설정하도록 하며, 실내에서 사용자가 이동 가능한 영역의 중심에 전총을 기준으로 경로 계산 후 안내되도록 한다. 이 때, 기존의 2차원 실내 내비게이션을 그대로 적용하여 복층에서의 경로 안내 시각화를 할 경우 현재 층의 경로 뿐만 아니라 다른 층에 위치한 경로가 함께 표시되어 사용자 시야를 방해하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 경로 계산과 경로 시각화를 구분하는 방식을 적용해 복층에서의 내비게이션의 문제점을 개선한다. 경로 계산은 전총을 기준으로 수행하도록 하고 경로 시각화는 사용자의 위치 또는 선택된 층을 기준으로 필터링하여 해당 층까지의 경로를 보여줄 수 있다. [그림 3]은 3차원 실내 내비게이션을 구현한 모습이다.

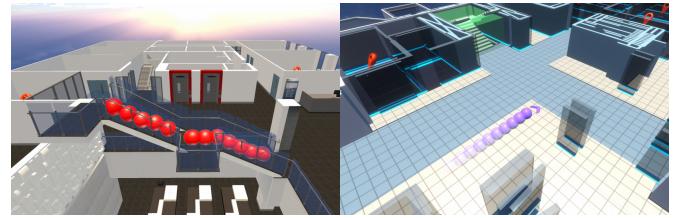


[그림 3] 3차원 실내 내비게이션

2.3.2 실내 측위 결과 시각화

3차원 실내 측위 시각화 작업은 Android, iOS, Web 환경에서 활용할 수 있도록 unity 게임 엔진을 기반으로 구현되었다. 고려대학교 안암 캠퍼스 내 사용자 위치 또한 제공하기 위해 실외에서의 사용자의 위치를 gps 기반으로 추정한다. 사용자의 실내 진입 시 실외에서 실내로 이동하게 되면 위성의 수와 사용자 위치와 더 가까운 실내 건물의 거리 정보를 종합적으로 고려하여 실내로 판정한다. 실내로 확정이 되면 3차원 실내 지도로 씬이 전환되어 되고 실내에서의 사용자의 위치와 방향에 대한 측위 결과를 받아 자동으로 회전하고 이동하도록 한다. 사용자의 직전 위치 확인을 위

해 사용자 위치 히스토리를 남겨 이동 과정을 확인할 수 있다. [그림 2]은 실내 측위 결과 시각화한 모습이다.



[그림 2] 실내 측위 결과 시각화

2.3.3 자동화 시스템

제안된 3차원 실내 내비게이션은 특정 건물에 한정되지 않고, 건물마다 서로 다른 조건과 규모를 가진 다양한 실내 건물에 적용 가능하게 설계되었다. 시스템 구축 과정에서 필요 오브젝트 배치, 건물 별 씬 생성, 설정 및 컴포넌트 반영, 빌드 및 필요 파일 추출 등과 같은 작업들이 반복적으로 수행된다. 이러한 과정은 건물 및 단지의 규모가 커질수록 수작업으로 진행 시 많은 시간과 인력이 필요하다. 이에 따라 반복적인 작업을 효율적으로 작업을 위한 python 기반 자동화 시스템을 구축한다. 해당 자동화 시스템은 최소한의 정보를 입력하여 자동으로 unity 프로젝트를 생성하고 씬을 구성한다. 또한 자동으로 필요 오브젝트를 배치하고 설정 및 컴포넌트를 반영하여 자동으로 빌드 파일을 생성 및 필요 파일 추출을 수행한다. 이를 통해 일관된 3차원 실내 내비게이션 시스템을 자동으로 구축할 수 있어 반복적인 작업을 최소화하고 생성 시간 또한 단축시킬 수 있다. [표 1]은 실내 건물 한 채의 3차원 실내 내비게이션 시스템을 수작업과 자동화 시스템을 기반으로 구축하는데 걸리는 시간이다. 수작업보다 자동화 시스템으로 구축했을 때 평균적으로 81.45%의 단축률을 보였다.

[표 1] 3차원 실내 내비게이션 시스템 구축 소요 시간

구분	수작업 기반 (분)	자동화 시스템 기반 (분)	단축률 (%)
신공학관	37	7	81.08
공학관	33	6	81.82
평균	35	6.5	81.45

III. 결론

본 논문에서는 복층 구조의 실내 공간에서 효과적인 경로 안내를 제공하기 위한 3차원 실내 내비게이션 시스템을 구축하였다. 각 층을 분할된 평면으로 표현하여 복층 환경에서 공간 구조를 직관적으로 전달되지 않는 문제를 해결하였다. 3차원 실내 내비게이션 구현을 위해 사용자의 위치와 이동 방향을 실시간으로 시각화한 후, 전총을 하나의 연속된 공간으로 인식하여 전역적인 최적화된 경로 계산을 하였다. 사용자의 현재 위치 또는 선택 층을 기준으로 경로를 필터링하여 시각화함으로써 복층 환경에서 발생하는 시각적 혼란을 효과적으로 완화하였다. 또한 다양한 구조와 규모를 가진 건물에서의 3차원 실내 내비게이션 환경을 구축하기 위해 자동화 시스템을 설계하였다. 최소한의 정보 입력만으로 반복적인 작업을 최소화하여 실내 내비게이션 시스템 구축에 소요되는 시간과 수작업 부담을 크게 감소시킬 수 있었다. 실험 결과, 자동화 시스템을 적용했을 때 수작업 대비 평균 81.45%의 시간 단축되었다.

본 연구는 복층 구조의 실내 환경에서 3차원 실내 내비게이션 자동화 시스템 구축의 실질적 구현 가능성을 제시한다. 향후 연구에서는 여러 채의 건물 및 단지 환경을 대상으로 하는 사용자 친화적 3차원 실내 내비게이션 구축하고 자동화 시스템을 확장하는 것을 목표로 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부 디지털 기반 건축시공 및 안전감리 기술개발 사업
의 연구비지원 (RS-2022-00143493)에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, “A Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 9, no. 2, pp. 106–128, 2007.
- [2] A. R. J. Ruiz, F. S. Granja, J. C. P. Honorato, and J. I. G. Rosas, “Accurate Pedestrian Indoor Navigation by Tightly Coupling Foot-Mounted IMU and RFID Measurements,” *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, vol. 11, no. 2, Article 34, 2012.
- [3] M. Alattas, A. Alharthi, and A. Aljaedi, “Challenges and Limitations of Indoor Navigation Systems in Multi-Floor Buildings,” *Journal of Location Based Services*, vol. 15, no. 3, pp. 165–182, 2021.
- [4] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,” *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968.
- [5] W. Son and L. Choi, “Universal Vector Calibration for Orientation-Invariant 3D Sensor Data,” *SENSORS*, vol. 25, no. 15, Article 4609, 2025.