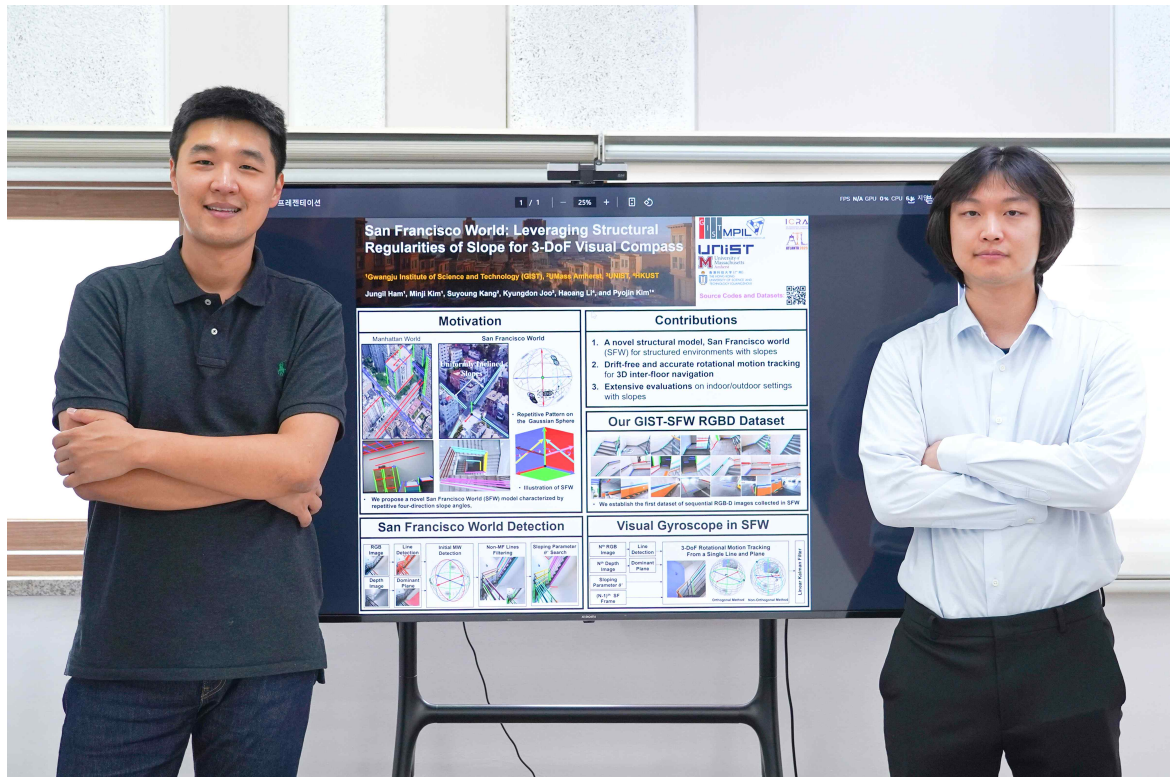


“계단에서 길 잃던 로봇, 이젠 ‘방향감각’ 탑재” GIST, 언덕길도 자유자재로 오가는 로봇 길찾기 기술 ‘슬로프(SLOPe)’ 개발

- 기계로봇공학과 김표진 교수 연구팀, 복잡한 경사 지형에서도 안정적인 3자유도 회전 추정 기술 개발... 새로운 구조 모델 ‘샌프란시스코 월드(SFW)’ 모델 기반의 고정밀 시각 나침반
- SLOPe 알고리즘과 함께 SFW 기반 공개 데이터세트도 전 세계에 공유... 자율주행 로봇·드론·AR 내비게이션 등으로 기술 확장 기대... 국제학술지 《IEEE RA-L》 게재



▲ (왼쪽부터) 기계로봇공학과 김표진 교수, 함중일 학생

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 기계로봇공학과 김표진 교수 연구팀이 미국 매사추세츠대학교(UMass Amherst), 울산과학기술원(UNIST), 홍콩과기대(HKUST(GZ))와 공동으로 로봇이 실내외 경사진 환경에서도 정확하게 방향을 인식할 수 있는 새로운 시각 기반 나침반 기술인 ‘슬로프(SLOPe, Single Line and Plane-based Absolute Orientation Perception)’를 개발했다고 밝혔다.

이번에 개발된 SLOPe 기술은 단 하나의 선분과 평면 정보만으로 로봇의 3자유도 (3-DoF) 회전을 추정할 수 있는 경량화된 알고리즘이다. 특히, 계단이나 경사로처럼 구조가 복잡하고 기울어진 공간에서도 안정적으로 방향을 인식할 수 있어, 기존 시각 기반 기술이 한계를 보였던 환경에서도 정확하게 작동한다.

기존의 로봇 길찾기 기술*은 주로 평평한 실내에서 잘 작동했지만, 언덕이나 계단 등 다양한 회전 동작이 필요한 도시 환경에서는 방향을 잃는 경우가 잦았다.

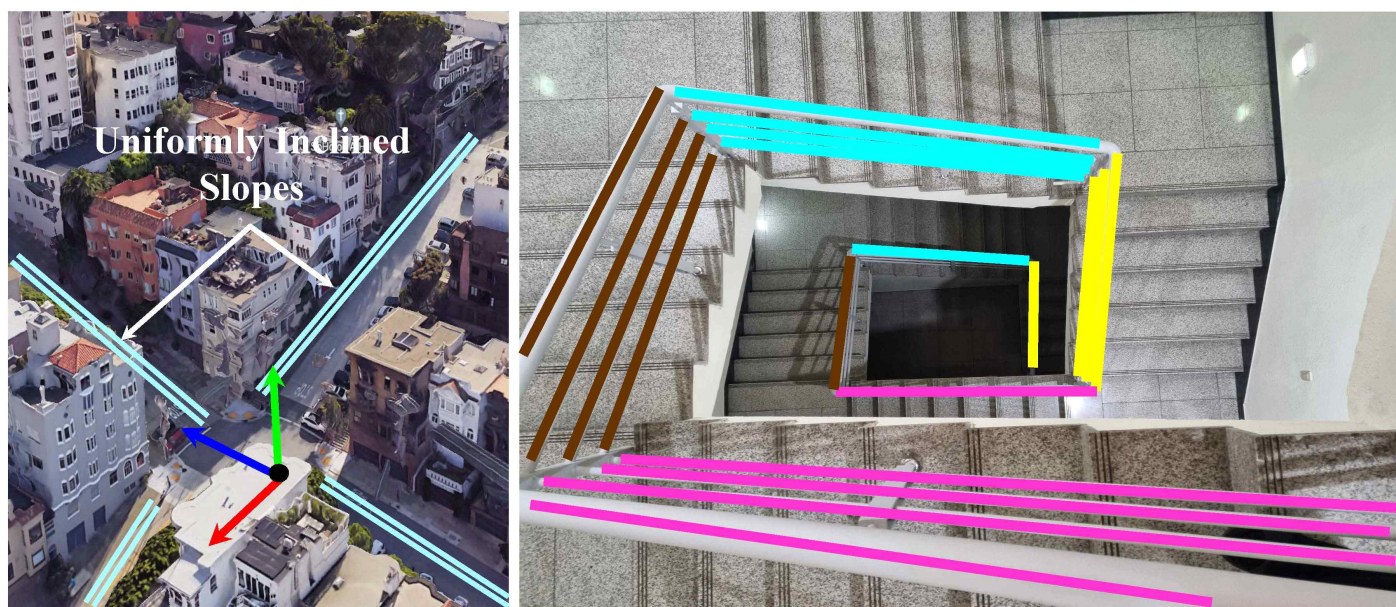
SLOPe는 이러한 한계를 극복하고, 로봇이 경사진 공간에서도 스스로 방향을 판단하며 안정적으로 이동할 수 있도록 돕는 핵심 기술로 주목받고 있다.

* 로봇 길찾기 기술(Visual Odometry / SLAM): 로봇이 스스로 "내가 지금 어디 있는지", "어디로 가야 하는지" 판단하는 기술. 주로 카메라 영상이나 거리 센서를 보고 주변을 인식하며 스스로 위치를 파악함.

SLOPe 기술의 기반이 되는 것은 '샌프란시스코 월드(San Francisco World, SFW)'라는 새로운 구조 모델이다.

기존의 '맨해튼 월드(Manhattan World)'나 '애틀랜타 월드(Atlanta World)' 모델은 수직·수평 구조 중심으로 설계되어 경사 구조 반영에 한계가 있었던 반면, SFW는 언덕이 많은 샌프란시스코 지형에서 착안해 경사 구조를 효과적으로 반영할 수 있도록 설계됐다.

이 모델은 하나의 수직 방향, 두 개의 수평 방향, 그리고 동일한 경사각을 갖는 네 개의 주요 경사 방향을 포함해, 복잡한 도시 환경도 정밀하게 표현할 수 있다.



▲ San Francisco 월드 구조 모델에 대한 대표적인 도시 장면(위)과 연구팀이 수집한 데이터셋에서의 이미지 샘플(아래). 연구팀은 San Francisco의 경사진 지형으로부터 영감을 받아 동일한 경사각을 공유하는 여러 기울어진 Sloping 방향 (cyan)과 세 개의 상호 직교하는 방향 (red, green, blue)을 갖는 San Francisco 월드를 디자인하였다.

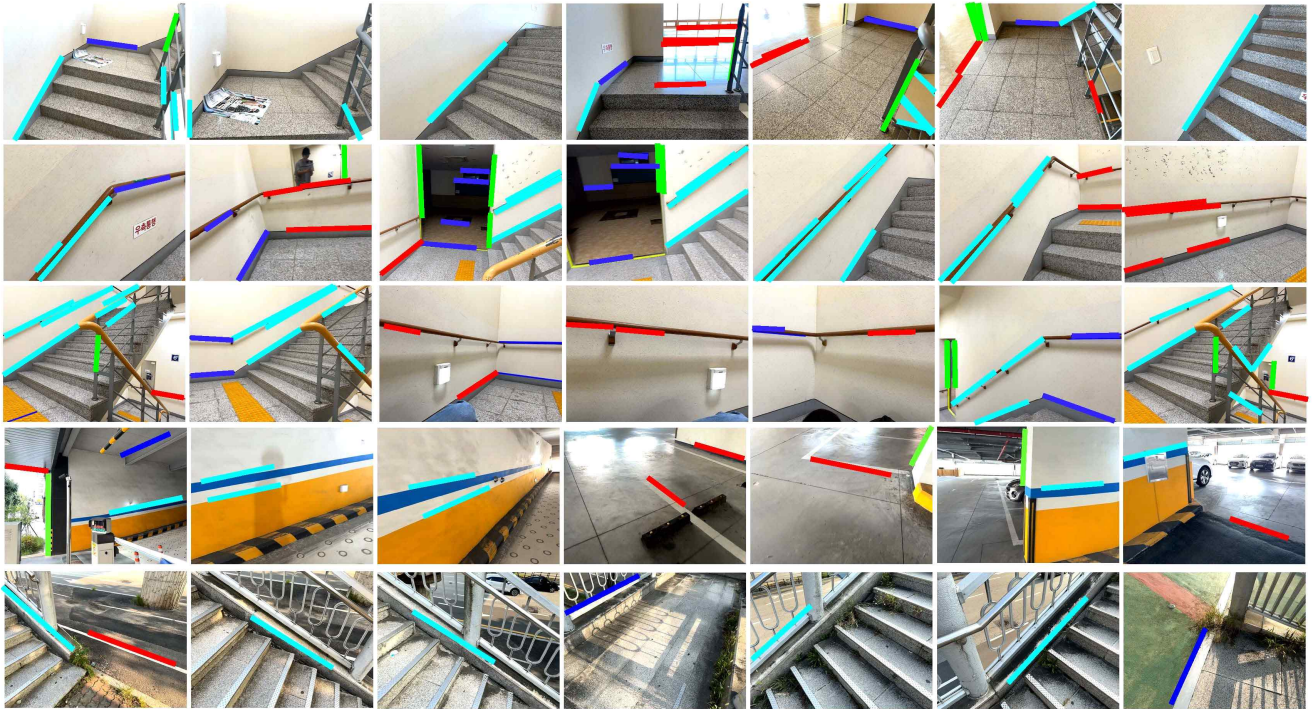
연구팀이 개발한 SLOPe 기술은 기존 기법보다 계산이 간결하면서도 정확도가 높으며, 도심 내 계단이나 경사로 등 층간 이동이 빈번한 환경에서도 높은 정밀도와 안정성을 확보했다.

실제로 GIST 캠퍼스에서 촬영한 SFW 기반 RGB-D* 이미지 데이터세트와 텍사스 A&M 대학교(TAMU)의 공개 데이터세트를 활용한 실험에서, 기존 최신 기술보다 더 높은 회전 추정 정확도와 정밀도를 입증했다.

아울러 연구팀은 세계 최초의 SFW 기반 **RGB-D 시퀀스 데이터세트인 GIST-SFW***를 공개하며, 연구의 재현성과 확장 가능성도 확보했다.

* **RGB-D**: 컬러 영상(RGB)과 깊이 정보(Depth)를 함께 제공하는 영상 형식으로, 각 픽셀의 색상뿐 아니라 카메라로부터의 거리까지 포함한다. Microsoft Kinect, Intel RealSense 등 RGB-D 센서를 통해 획득되며, 로봇 비전, 3D 공간 인식, 증강현실(AR) 등 다양한 분야에서 활용된다.

* **GIST-SFW 데이터세트 공개 웹사이트**: <https://SanFranciscoWorld.github.io>



▲ **카메라 3-DoF 회전 운동 추정 및 라인 클러스터링 결과**. 연구팀은 다양한 실내외 환경에서 실험을 통해 개발한 “카메라 3-DoF 회전 운동 추정” 방법의 정확도를 검증하였으며, San Francisco 월드를 기반으로 한 최초의 실내 RGB-D 데이터셋인 GIST-SFW를 공개하였다.

연구팀은 향후 SLOPe 기술을 기반으로, **층간 이동이 가능한 3D 비전 기반 SLAM 기술과 자율주행 로봇 내비게이션 시스템으로 연구를 확장할 계획**이다.

* **SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)**: 로봇이 실시간으로 위치를 파악하고 주변 지도를 동시에 생성하는 기술

김표진 교수는 “SFW는 단순한 구조 모델을 넘어, 복잡한 지형에서도 정확하고 효율적인 로봇 비전 시스템을 구현할 수 있는 기반 기술”이라며, “이번 연구를 통해 로봇이 계단이나 언덕도 자유롭게 이동하며 실생활에 한층 가까워지는 시대가 앞당겨질 것”이라고 밝혔다.

GIST 기계로봇공학과 김표진 교수가 지도하고 함중일 박사과정생이 수행한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 개인기초연구사업(우수신진연구)의 지원을 받았으며, 국제학술지 《IEEE Robotics and Automation Letters(RA-L)》 2025년 1월 호에 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : IEEE Robotics and Automation Letters(IF: 5.46, 2024년 기준)
- 논문명 : San Francisco World: Leveraging Structural Regularities of Slope for 3-DoF Visual Compass
- 저자 정보 : 함중일(제1저자, 기계로봇공학과), 김표진(교신저자, 기계로봇공학과), 김민지(제2저자, 기계로봇공학과), 강수영(제3저자, UMass Amherst), 주경돈(제4저자, UNIST), Haoang Li(제5저자, HKUST(GZ))