

재난조사를 위한 다중센싱 로봇 플랫폼 개발

김성삼*, 정용한*, 임언택*, 구슬*, 김은별*, 석재욱*
*행정안전부 국립재난안전연구원 재난원인조사실
e-mail:sskim73@korea.kr

Development of A Multi-sensing Robot Platform for Disaster Investigation

Seong-Sam Kim*, Yong-Han Jung*, Eon-Taek, Lim*, Seul, Koo*, Eun-Byul Kim*,
Jae-Wook, Suk*

*Disaster Scientific Investigation Div., National Disaster Management Research
Institute, MOIS

요약

본 논문에서는 지상 로봇에 탑재된 다양한 센서로부터 취득된 데이터 융합을 통해 재난 현장의 3차원 정보를 실시간으로 수집하고, 시설물의 손실 정보를 탐지, 위험성을 평가·분석하는 다중센싱 로봇 플랫폼을 개발하는 방안을 제시한다. 이를 위해 Vision-LIDAR SLAM(Simultaneous Location and Mapping) 기술을 적용하여 재난사고 현장의 정밀한 3D 모델링과 매핑을 수행함으로써, 재난 상황과 손실 정보를 신속하고 정확하게 조사하고 위험성을 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

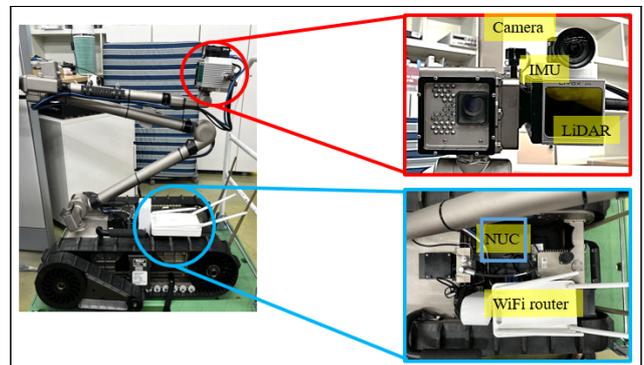
재난사고 현장에서 신속하고 정확한 데이터 수집과 조사는 추가적인 위험성을 예방하고 적절한 사후 대응 대책을 마련하는 데 핵심적인 역할을 한다. 본 논문에서는 LiDAR, 카메라, 관성센서(IMU)로부터 취득된 다중 데이터들을 융합하여 신속성과 정확성을 요구하는 재난사고 현장 조사에 필요한 정밀한 3차원 측위와 지도를 생성하는 핵심 기술을 제안하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 이러한 재난 로봇 플랫폼과 Vision-LIDAR SLAM(Simultaneous Location and Mapping) 기술을 토대로 재난 및 안전관리기본법 상의 법정 업무인 재난사고의 원인 및 피해규모 조사를 수행하는 현업에 활용하는 방안을 제시하였다.

2. 재난조사 로봇 플랫폼의 개발과 성능평가

2.1 재난사고 현장조사 지상로봇 플랫폼

예측하기 힘든 재난사고 현장은 접근성이 제한될 가능성이 높기 때문에 안정적인 강건한 로봇 시스템의 작동성 보장과 센서간 동기화를 통해 통합적인 운용 체계를 설계단계에

서부터 고려해야 한다. 본 논문에서는 미국 911테러, 2011년 후쿠시마 원전사고 등 다양한 재난 현장에서의 수색·구조와 전장에서 지뢰탐지 임무에서 활약하고 있는 iRobot사의 Packbot을 이동체 플랫폼으로 선정하였다. 원격 제어가 가능한 로봇과 집게를 장착된 팔(arm), 로봇 팔의 헤드에 장착된 카메라와 로봇의 바디 전후좌우에 탑재된 카메라에서 촬영된 영상을 무선으로 전송받아 로봇을 제어한다. 또한, 로봇 팔을 움직여 조사 대상체를 스캔하고 모니터링할 수 있으며, 현장 탐색시 최대한 접근하여 재난정보를 취득할 수도 있도록 운용할 수 있다.

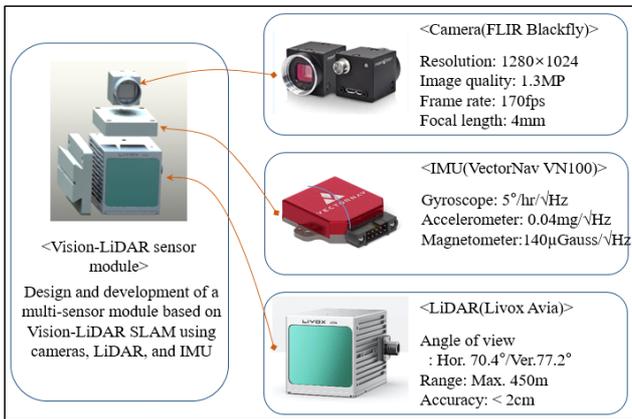


[그림 1] Vision-LiDAR SLAM 조사로봇 플랫폼

2.2 Vision-LiDAR SLAM기반 통합센서모듈 개발

본 논문에서 제안한 조사로봇 플랫폼은 재난사고 현장에서

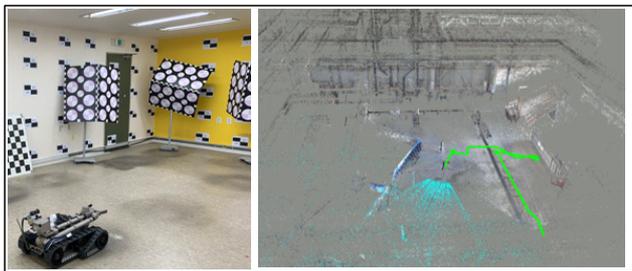
신속하고 정확한 데이터 수집과 조사를 위해 LiDAR, 카메라, 관성센서(IMU)를 통합한 센서모듈을 개발하였다. 또한, 대용량의 시각 및 3D 점군 자료를 실시간으로 처리할 수 있는 소형 컴퓨터와 무선망 통해 전송할 수 있는 네트워크 체계를 갖추고 있다. 다중센서 통합 모듈로 취득된 광학-SLAM 점군 데이터를 융합하여 재난 현장의 정밀한 3차원 측위와 지도를 생성하고, 이를 토대로 과거 사진 학습 자료와 인공지능(Artificial Intelligence) 알고리즘을 통해 건축물 부재별 분할과 크랙, 콘크리트 박리, 철근 노출과 같은 손상 정보를 탐지·추출하는 기능을 개발하였다. 이러한 연구성과를 활용하여 재난사고 발생 원인을 규명하고 피해규모 추정과 위험성 평가 등의 현장조사 업무에 활용할 수 있을 것이다.



[그림 2] Vision-LiDAR SLAM 통합센서모듈의 구성

2.3 실내 재난사고 조사를 위한 성능평가

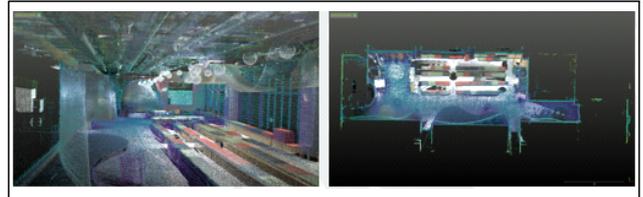
본 연구에서 개발한 로봇 플랫폼과 탑재된 통합센서모듈의 성능평가는 카메라/시스템 캘리브레이션과 SLAM의 정확도, 시설물 분할 및 손상정보 탐지 성능 등 3가지 핵심 성능에 대한 실험과 그 검증은 수행하였다. 아래 그림 3은 조사로봇 통합센서모듈의 카메라/시스템 캘리브레이션 실험을 수행하는 모습과 국립재난안전연구원의 실험동 내부를 Vision-LiDAR SLAM을 수행하고 있는 모습을 보여주고 있다. 특히, 로봇의 오도메트리 정보, 전체 경로에 대한 loop closure, pose-graph 최적화를 통해 SLAM의 정확도를 향상하는 방안을 제안하였다.



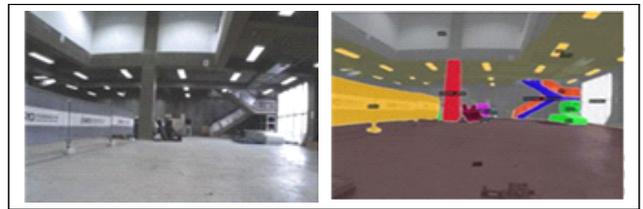
[그림 3] 조사로봇 통합센서 시스템 캘리브레이션 실험(좌), 건축물 실내 Vision-LiDAR SLAM 결과(우)

3. 재난조사 로봇 플랫폼의 활용 방안

재난조사 로봇 플랫폼을 활용하여 조사자들이 접근하기 힘든 재난현장을 실시간 3차원 모델링을 수행하고, 내부 건축물 부재별 분할과 크랙, 박리, 철근 노출과 같은 건축물 손실정보를 탐지·분석할 수 있도록 최적화된 인공지능 알고리즘(oneFormer, YoLo v.8)을 제안하였다. 이러한 기술들은 재난 상황에서 신속한 의사결정과 효율적인 대응을 가능하게 할 것으로 기대된다.



[그림 4] SLAM기반 건축물 실내 3차원 모델링 결과



[그림 4] 실내 건물 정보 분할(segmentation) 결과

4. 결론

접근하기 어렵고 위험한 재난현장에서 조사로봇 플랫폼은 재난 현장의 직관적인 상황 파악과 조사, 신속한 대응을 위한 새로운 기술적인 접근 방식을 제시할 수 있다. 논문에서 제안된 재난조사 로봇 플랫폼을 이용하여 재난사고 현장의 데이터 수집, 처리, 분석 능력을 향상시킴으로써, 재난 상황을 정확하게 인식·평가하여 적절한 대응을 위한 의사결정을 지원하는 핵심적인 역할을 수행할 수 있다. 이를 통해 재난 현장에서 발생할 수 있는 다양한 도전 과제들을 풀어나가기 위한 실용적이고 혁신적인 솔루션을 제공할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 주요과제(NDMI-주요-2024-06-02)로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김성삼, 신동윤, “난접근 재난 현장의 재난 로봇 기술개발 현황과 정책 제언”, 한국산학기술학회논문지, 제22권 제11호, pp. 270-276. 2021년