

VRS 네트워크-RTK GNSS 모듈을 이용한 자율 이동 로봇의 정밀 측위방법에 관한 연구*

김동언¹·정윤재^{2*}·한동석^{3*}

A Study on Precision Positioning Methods for Autonomous Mobile Robots Using VRS Network-RTK GNSS Module*

Dong Eon Kim¹·YUN-JAE CHOUNG^{2*}·Dong Seog Han^{3*}

요 약

이 논문에서는 자율 이동 로봇을 구성하기 위한 핵심 요소 기술에 대하여 비용 효율적인 시스템 디자인과 사용자 편의성에 맞춘 설계 방법을 제안한다. 자율 이동 로봇을 사용하여 고정밀 측위 시스템을 구현하고자, NTRIP(Network Transport of RTCM via Internet Protocol) 클라이언트 기능이 포팅된 리눅스 기반의 VRS(virtual reference station)-RTK(real-time kinematic)-GNSS(global navigation satellite system) 시스템을 구축한다. 특히, RTK 리플레이 시스템을 사용하지 않고, 구축된 시스템의 동적 위치 분석을 통하여 GNSS 측위 시스템 구축 비용을 절감하였다.

동적 위치 분석은 자율 이동 로봇의 궤적 추종 시, 각 지점들을 샘플링하여 그라운드 트루스(ground-truth) 지점과의 위치 정밀도를 비교 측정하는 방식으로 이루어진다. 해당 시스템은 빠른 샘플링 시간 대비 높은 측위 성능을 확보하며, 사용자 편의성을 고려하여 GPS-웨이포인트 waypoint) 시스템을 제안한다. cm 수준의 정밀 GNSS 정보는 30Hz의 샘플링 속도로 제공되며, 추측 항법(dead reckoning) 기능의 지원으로 고층 빌딩과 밀집된 숲을 통과할 때도 유효한 정보를 보장한다. 제안된 시스템을 통한 수평 위치 오름값은 6.7cm로 측정되며, 10cm 이내의 매우 정밀한 동적 위치 측정 오류를 나타낸다. 높은 표본화 속도로 정밀한 동적 위치 정보를 제공하는 VRS 네트워크-RTK 리눅스 시스템은 사용자의 편의성을 위하여 GPS 웨이포인트 플래너 기능을 지원하여 GPS 정보를 기반으로 쉽게 목적지를 설정하도록 구현되었다.

2024년 4월 2일 접수 Received on April 2, 2024 / 2024년 7월 29일 수정 Revised on July 29, 2024 /
2024년 8월 19일 심사완료 Accepted on August 19, 2024

* 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20017474')

1 구미전자정보기술원, 선임연구원 / Gumi Electronics & Information Technology Research Institute, Senior
Researcher

2 (주)지오씨엔아이, 연구부소장 / Geo C&I Co., Ltd., Deputy Director of Geospatial Research Center

3 경북대학교, 전자공학과 교수 / Kyungpook National University, School of Electronics Engineering

* Corresponding Author E-mail: dshan@knu.ac.kr, chyj@geocni.com

주요어 : 네트워크-RTK, GNSS 시스템, GPS-웨이포인트, 자율 이동 로봇

ABSTRACT

This paper proposes a cost-effective system design and user-friendly approach for the key technological elements necessary to configure an autonomous mobile robot. To implement a high-precision positioning system using an autonomous mobile robot, we established a Linux-based VRS (virtual reference station)-RTK (real-time kinematic) GNSS (global navigation satellite system) system with NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) client functionality. Notably, we reduced the construction cost of the GNSS positioning system by performing dynamic location analysis of the established system, without utilizing an RTK replay system.

Dynamic location analysis involves sampling each point during the trajectory following of the autonomous mobile robot and comparing the location precision with ground-truth points. The proposed system ensures high positioning performance with fast sampling times and suggests a GPS waypoint system for user convenience. The centimeter-level precision GNSS information is provided at a 30Hz sampling rate, and the dead reckoning function ensures valid information even when passing through tall buildings and dense forests. The horizontal position error measured through the proposed system is 6.7cm, demonstrating a highly precise dynamic location measurement error within 10cm. The VRS network-RTK Linux system, which provides precise dynamic location information at a high sampling rate, supports a GPS waypoint planner function for user convenience, enabling easy destination setting based on GPS information.

KEYWORDS : Network-RTK, GNSS System, GPS-Waypoint, Autonomous Mobile Robot, Cost-effective

서 론

자율 이동 로봇은 딥러닝 기술의 발전으로 복잡한 상황에서도 독립적으로 운영될 수 있는 수준에 도달했다. 초기에는 진공청소기 기능을 자율 청소 로봇에 이식하는 것에서 시작된 이 기술 (Kim et al, 2012), (Kaur et al, 2014), (Zhao et al, 2016), (Prayash et al, 2019), (Perween et al, 2020)은 이제 공항, 박물관, 병원에서 안내 기능을 제공하는 역할 (Antony et al, 2020), (Guan et al, 2021)이나 식당에서 호출 신호에 응답하여 지정된 테이블에서 식기를 수거하고 반환하는 역할 (Guan et al, 2021), (Qasim et al, (2022), (Rossi et al,

2022) 등으로 발전했다. 또한, 노동 비용이 지속적으로 상승함과 더불어 반복적이고 단순한 작업을 피하려는 경향이 자율로봇 활용 분야의 확장으로 이어졌다. 특히, 위험한 장소 순찰이나 화재 감시 등 특수 목적을 위한 자율 이동 로봇의 응용에 대한 활발한 연구가 진행 중이다 (Aggravi et al, 2021), (Li et al, 2023), (Yan et al, 2021), (Li et al, 2024), (Huang et al, 2022).

자율주행 상용화를 위하여, 정밀도로지도 제작을 위한 갱신기술 및 웹 GIS(geographic information system) 기반 HD 맵 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Park et al, 2019), (Kwon et al, 2021). 또한, 도로환경 분석에 대한 연구도 주요한 연구 주제로 다루어지고 있

는데, 모바일 매핑 시스템(mobile mapping system)을 이용하거나 운행설계 영역 관점에서 분석한 연구가 있다(Kim et al, 2019), (Kim et al, 2019), (Woo et al, 2022).

알려지지 않은 지역을 운행하며 센서로부터 받은 정보를 업데이트하며 글로벌 웨이포인트를 계산하여 탐색하는 연구가 진행되었으며, 로컬 웨이포인트로 인해 회피가 필요한 장애물과 충돌 가능성이 있다 (Kamalova et al, 2020). 또한, 글로벌 경로 계획을 위한 GPS(global positioning system)가 지원되는 자율주행차량 연구가 있다. 이 연구의 경우에는 GPS 데이터를 이용한 장애물이 없는 실외 환경에서 목적지 지점을 향한 연구가 수행되었다 (Akhshirsh et al, 2021).

제한된 대역폭을 효과적으로 활용하기 위한 다중 위성군의 개별 보정 정보 제공을 통해 효과적인 GNSS(global navigation satellite system) 활용에 관한 연구가 진행되었다. 해당 연구에서는 RTK(real-time kinematic) 리플레이 시스템을 활용하여 다양한 조건과 환경에서 보정정보 전송 주기에 따른 성능 평가 실험을 수행하여 보정정보 주기와 RTK 성능 관계를 분석하였다 (Yoon et al, 2020).

본문에서는 이러한 연구를 참조하여, 자율 이동 로봇을 사용하여 고정밀 측위 시스템을 구현하고자, NTRIP(Network Transport of RTCM via Internet Protocol) 클라이언트 기능이 포팅된 리눅스 기반의 VRS(virtual reference station)-RTK GNSS 시스템을 구축한다. 특히, RTK 리플레이 시스템을 사용하지 않고, 구축된 시스템의 동적 위치 분석을 통하여 GNSS 측위 시스템 구축 비용을 절감하였다. 구축된 GNSS 측위 시스템은 데드 레커닝 기능의 적용으로 터널 아래를 운전하거나 고층 빌딩의 숲을 통과하거나 높은 가로수 아래를 지날 때 안정적인 GNSS 정보를 제공할 수 있다. 고정밀 GNSS 프로토타입이 장착된 이동 로봇의 성능을 사전에 결정된 궤적을 따라 테스트 프로토콜을 수립하여 검증한다. 이때, 자율 이동 로봇 사용자의 편리성을 위하여 GPS 웨이포인

트 기능의 개발을 통해 이동 위치 설정 인터페이스를 구현한다.

고정밀 GNSS 프로토타입이 장착된 이동 로봇의 성능을 사전에 결정된 궤적을 따라 테스트 프로토콜을 수립하여 검증한다. 자율 이동 기능 중 궤적을 따라 얻은 GNSS 정보를 고정밀 GNSS 측량 장비로 측정된 정보와 비교하여 제안된 프로토타입의 위치 정보의 정밀도를 확인한다. 제안된 시스템은 자율 이동 로봇에 대한 사용자 친화적인 기술을 제안하며, 더 위험한 상황에서의 자율 감시 시스템 및 다수의 이동 로봇 제어 시스템에 적용될 수 있다.

본 논문의 II장에서는 자율 이동 로봇의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 구성을 서술하며, III장에서는 고정밀 측위를 위한 GNSS 프로토타입을 제안하고, VRS 네트워크 RTK 시스템을 통한 정밀 위치 정보를 수신하는 방법을 제시한다. IV장에서 고정된 위치와 동적 위치에 대한 측위 테스트 프로토콜을 제안하고, 시스템에서 제안된 샘플링 레이트와 시스템에서 요구되는 표본화율에 따른 성능을 비교하고, 위치 측정 실험을 통하여 그 성능과 효용성을 검증한다. V장에서 결론으로 시스템의 결과에 대해 고찰한다.

자율 이동 로봇의 프레임워크 구성

1. 이동 로봇 하드웨어 구성

자율주행 시스템에서 이동체 플랫폼은 Clearpath Robotics사의 Jackal을 사용한다. 이 로봇 플랫폼은 자율 이동을 위한 실험 및 주행 중 동적 위치 오류의 성능을 검증하는 데 사용된다. Jackal은 NVIDIA의 JETSON TX2 보드, GPS, IMU [21]를 탑재한 온보드 컴퓨터를 통해 액추에이터를 제어한다. 센서의 더 자세한 구성은 그림 1에 나타난다. Jackal은 Velodyne사의 VLP-16 3D 라이다를 사용하여 글로벌 맵을 구축하고, 매핑된 환경 내에서 로봇의 포즈를 추정하며, 충돌 회피를 위한 로컬 비용 맵을 구성한다. 이 논문에서는 시각화를 위해

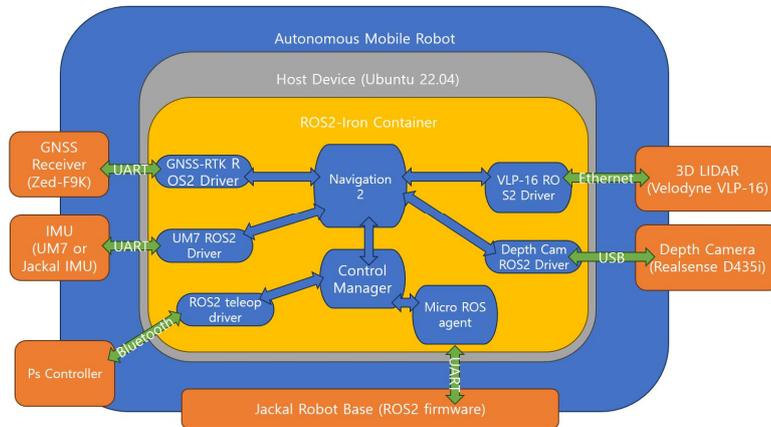


FIGURE 1. Autonomous mobile robot system

Intel Realsense Depth 435 카메라가 사용되었다. 본문에서 제안된 자율 이동 로봇 시스템은 정적 또는 동적 객체와의 충돌을 피하면서 구조화되지 않은 실내 환경을 자율적으로 탐색할 수 있다. 매핑 모듈은 VLP-16 라이다를 기반으로 한 SLAM(simultaneous localization and mapping) 알고리즘을 사용하여 알려지지 않은 환경의 글로벌 맵을 구축한다. 이 플랫폼에서 사용된 SLAM은 실제 지도와 비교되었으며, Google의 Cartographer[22]로 얻은 결과를 통해 자율주행에 사용된다. 계획 모듈은 충돌

방지를 위한 로컬 비용 맵을 구축하고, 이 비용 맵을 기반으로 목표 위치에 도달하기 위한 궤적을 생성하며, 이 궤적을 따르기 위한 충돌 회피 기능을 수행한다[23]. 각 모듈은 주로 ROS2에서 제공하는 오픈 소스 패키지로 구현된다. 내비게이션 스택은 ROS2의 Nav2 패키지를 사용하여 라이다에 의해 스캔된 데이터, 프레임 변환 데이터, 이동 로봇에 의해 추정된 현재 로봇 포즈 데이터, 목표 위치 데이터를 기반으로 구성된다.

그림 2는 자율주행 기능을 수행하는 이동 로

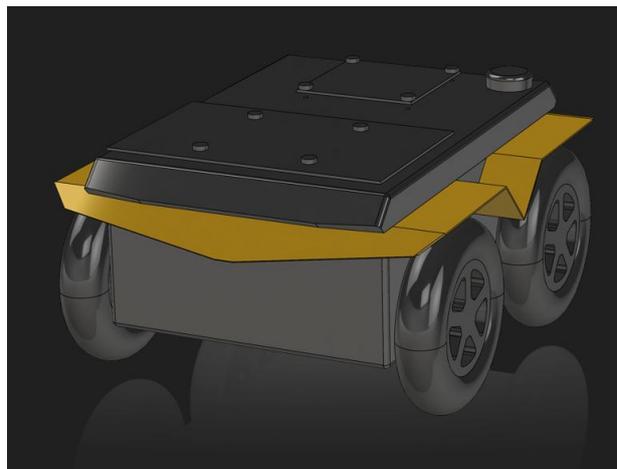


FIGURE 2. Autonomous mobile robot platform

[그림출처: <https://roas.co.kr/jackal-ugv/>]

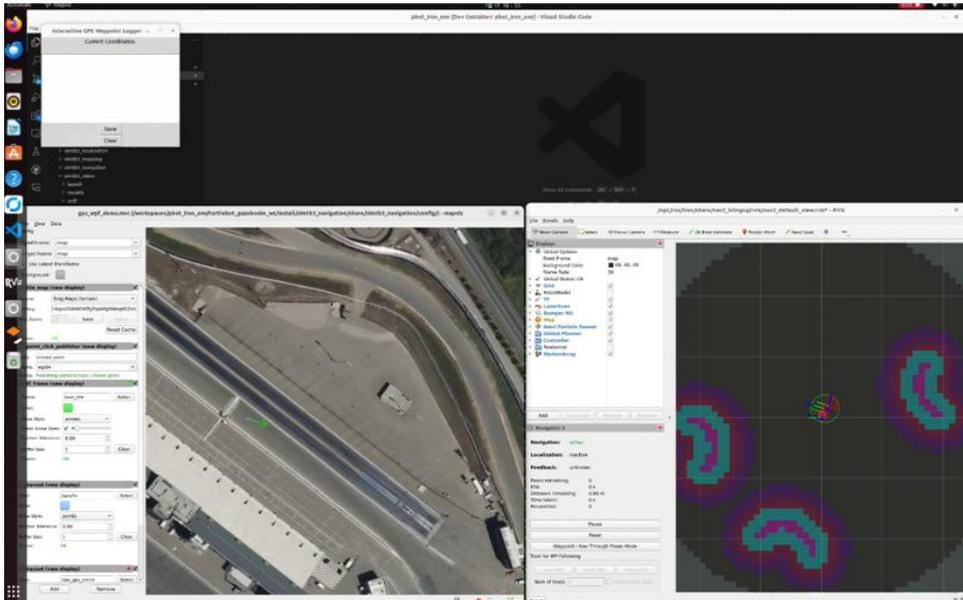


FIGURE 3. A GPS-waypoint system integrating mapviz GUI and bing maps API

봇의 플랫폼을 보여준다. Jackal 로봇 프레임에는 라이더 센서, LTE 모듈, GNSS 안테나가 장착되어 있으며, 로봇의 전진 방향으로 RGB-D 카메라가 통합되어 있다. 이 카메라를 통해 인식된 객체의 분할이 수행되며, 인식된 객체와 사람 사이의 거리가 계산된다. 자율 이동 로봇을 구동하기 위해, 고성능 엣지 컴퓨팅 장치인 Jetson Orin이 장착되어 있으며, 로봇 주변에는 종합적인 감시 기능을 제공하기 위해 카메라들이 설치되어 있다. 내비게이션과 탐지를 위해, GNSS 수신기, IMU 센서, 3D 라이더 센서, RGB-D 카메라를 사용하여 측정 대상 환경을 정확히 인식하고 원하는 위치를 지정할 수 있다. 자율 이동 로봇은 중앙 서버 및 사용자 단말기의 지시에 따라 경로를 변경하여 비상 상황에 대응할 수 있다.

2. GPS-웨이포인트 시스템 구성

이동 경로 및 목적지 설정을 구축하기 위해, GPS 정보를 기반으로 한 지도와 이동 로봇 간의 정보 교환 및 관리 시스템이 구축된다.

Mapviz는 플러그인 시스템으로 구비된 2D 데이터 시각화를 통해 사용자 정의 기능을 제공하는 ROS 기반의 시각화 도구로 사용된다. GPS 웨이포인트 플래너를 디자인하기 위해, GUI는 그림 3과 같이 구성된다. Mapviz GUI는 Bing의 Bing Maps API가 제공하는 지도를 활용하여 위치를 검색, 업데이트, 수정한다. 이를 통해 변화하는 환경에 대응하여 로봇의 내비게이션 데이터를 실시간으로 조정할 수 있다.

정밀측위 처리모듈 시스템 구축

1. 고정밀 GNSS 위치 정보 처리 모듈 프로토타입 개발

자율 주행 로봇에 고정밀 위치 정보를 전달하기 위해, GNSS를 사용하는 위치 정보 처리 장치가 그림 4와 같은 시스템으로 구성되어 개발되었다. NTRIP 클라이언트 앱 기능이 리눅스 시스템으로 포팅되어, 30Hz로 설정된 고정밀 좌표 및 자세 정보를 이동 로봇에 전달한다. GPS와 IMU 센서를 결합한 ZED-F9K 모듈과

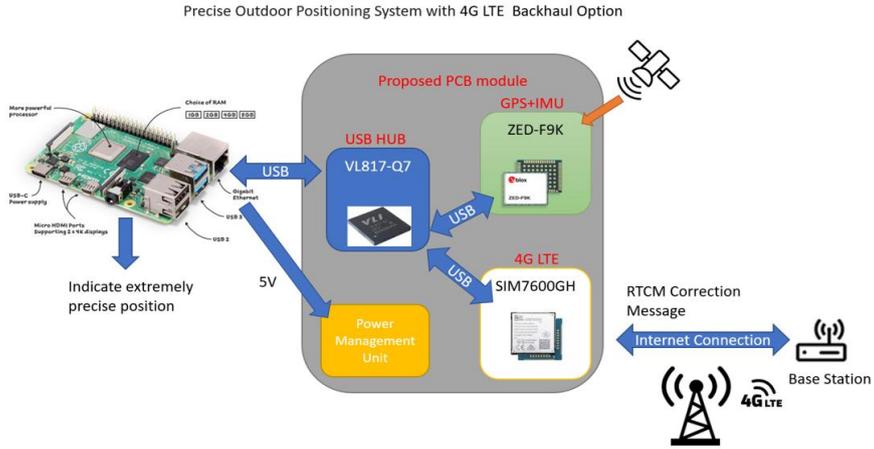


FIGURE 4. Outdoor high-precision positioning system utilizing 4G LTE

4G LTE 기능을 위한 SIM7600GH가 사용되며, VL817-Q7 USB 허브로 구성된 USB 통신 모듈이 사용된다. 이 모듈은 USB를 통해 라즈베리 파이와 통신하며, 전력관리 유닛을 통해 라즈베리 파이의 배터리에서 5V 운영 전력을 받는다. 라즈베리 파이는 ARM 시스템 내에서 라즈비안 운영 시스템으로 운영된다. 우분투 20.04는 컨테이너 기술을 통해 실행되며, NTRIP 클라이언트는 ROS Galactic 버전에서 운용된다. GNSS 시스템에서는 UART 포트를 사용하여 RTCM 데이터를 GNSS 수신기에 전달하고 GNSS 모듈에 의해 위치가 파악된 결과를 수신한다. LTE 라우터를 통해 NTRIP 서버에서 받은 정보는 Wi-Fi 통신을 통해 위치 정보 처리 장치로 전송된다.

2. RTK-VRS 시스템을 이용한 GNSS 수신 방법

국토지리정보원에서 상시 관측소를 운영하며 통합 기준점 등의 국가기준점에 대한 정보를 관리한다, 통합기준점은 평탄지에 설치되어 측량 분야에 활용할 수 있는 다기능 기준점을 의미한다. 이러한 기준점 정보를 이용하여 네트워크-RTK 서비스를 VRS 방식으로 제안된 모듈에 대한 위치 정밀도를 확인할 수 있다.

본문에서 제안한 정밀 측위 처리 모듈 시스템이 GNSS 정보를 획득하는 과정은 그림 5와 같다. 기준국은 GNSS 데이터를 수신하여 제어국으로 전송하고, 제어국에서는 수집된 데이터를 보정 정보로 변환한다. 정밀 측위 처리 모듈 시스템에서는 제어국에 모듈의 현재 위치를 전송하고, 제어국은 요청받은 위치에 해당하는 보정 정보를 전송하게 된다. 이 보정 정보를 통하여 모듈에서는 정밀좌표를 취득하게 된다.

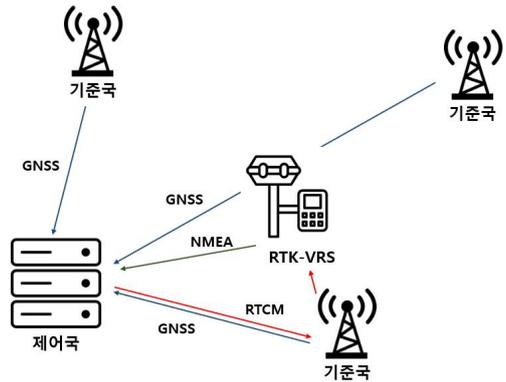


FIGURE 5. Precision coordinate acquisition system using RTK-VRS method

NTRIP 클라이언트 기능을 이식할 수 있는 VRS-RTK 프로토타입 시스템은 그림 6에서와 같이 제시된다. 전면에는 GNSS 위치 지정을 위

한 시스템 작동 API를 선택할 수 있는 터치스크린이 장착되어 있으며, GNSS 및 IMU 정보가 전송되는 메시지 창이 표시된다. 뒤쪽에는 라즈베리 파이와 배터리가 위치한다. 라즈베리 파이 위에는 GNSS 모듈이 부착되어 있고, 그 옆에는 신호 디버깅을 위한 장치들과 USB 허브가 있다.

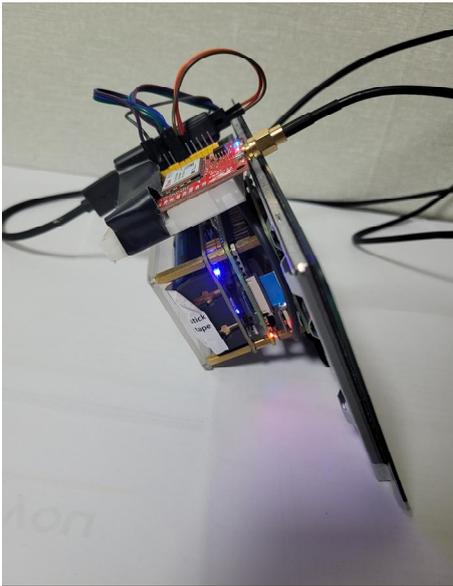


FIGURE 6. GNSS positioning information processing module prototype with RTK-VRS method applied

실험 결과 및 분석

1. 고정된 지점에 대한 GNSS 측위 테스트 프로토콜

국토지리정보원에서 제공하는 통합기준점으로 제안된 정밀 측위 처리 모듈의 고정점에 대한 위치 정밀도를 먼저 확인한다 [24]. 그림 7과 같이 고정 위치점에서의 위치 오차를 확인하기 위하여 제안된 정밀 측위 처리 모듈 시스템을 구성하여 실험한다. 통합기준점에서도 도·분·초(degrees-minutes-seconds) 단위

정보를 위·경도(decimal degrees) 단위 정보로 변환하는 기준은 1 degree=1hr로 하여 minutes와 seconds를 degrees 단위로 계산하여 세 값들을 합산하는 방식을 사용한다.

정밀 측위 처리 모듈에서 획득되는 GNSS 데이터는 NMEA(The National Marine Electronics Association)에서 제공하는 nmea 규격을 사용한다. 이 규격에서 제공하는 GPS Fix 데이터인 GPGGA를 통하여 시간, 위도, 경도, 고도 등의 정보를 확인할 수 있다. 이 위도와 경도의 정보를 지구의 중심을 원점으로 x, y, z 축을 정의하고 점의 위치를 표현한 WGS84 좌표 시스템으로 변환하여 x, y축의 위치 정보를 획득한다. 획득된 위치 정보와 통합기준점에서 제공되는 좌표정보와 정밀 측위 처리 모듈에서 출력되는 실시간의 좌표정보를 비교하여 수평 위치 오차를 다음과 같다.

$$\varepsilon = (x_i^E - x_{ref}^E) + j(y_i^N - y_{ref}^N) \quad (1)$$

여기서 x_i^E , y_i^N 는 정밀 측위 처리 모듈에서 측정된 현재의 위치값이며, y_i^N , y_{ref}^N 는 통합기준점에서 제공되는 좌표정보이다.



FIGURE 7. Test environment for fixed position points of precision positioning processing module

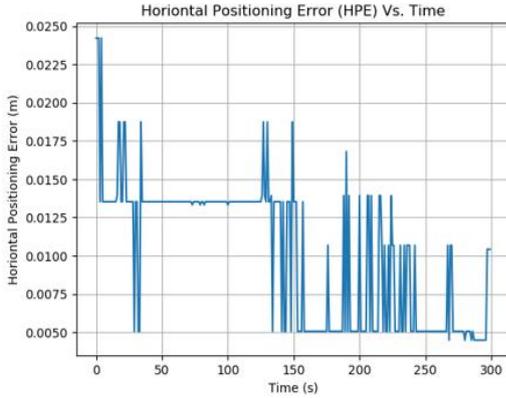


FIGURE 8. HPE time series values set to 1Hz

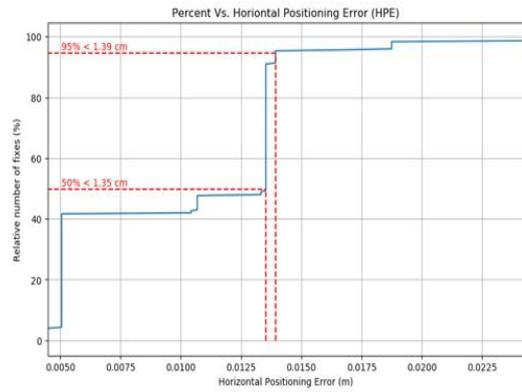


FIGURE 9. Measurement Ratio of HPE Values Set to 1Hz

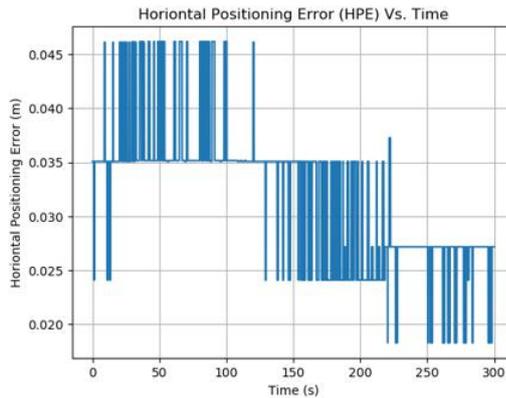


FIGURE 10. HPE Time Series Values Set to 30Hz

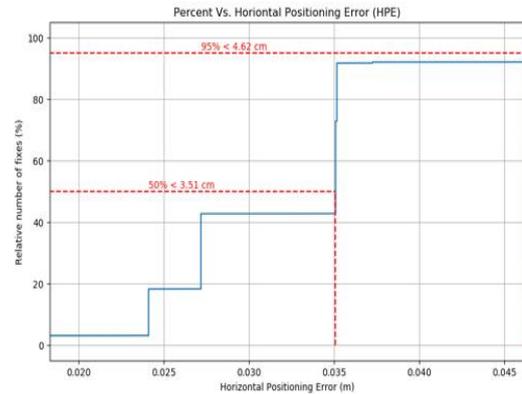


FIGURE 11. Measurement ratio of HPE values set to 30Hz

또한, 제안된 정밀 측위 처리 모듈의 동작 Hz를 변경하여 그 HPE(horizontal position error) 성능을 비교해보는 실험을 진행하였다.

정밀 측위 처리 모듈의 수평 위치 오차에 대한 측위 성능은 1과 30Hz 각각에서 시간의 흐름에 따른 위치 오차 측정 시 각각 그림 8, 9와 같이 나타난다. 또한, 제어 시스템에서 요구되는 사항인 10cm 이내의 정밀한 위치 측정 성능을 확인하기 위하여 정밀 측위 처리 모듈의 성능을 그림 10, 11과 같이 확인하였다. 1Hz로 설정하였을 때는 약 95%의 데이터가 1.39cm 이내의 매우 정밀한 측위 결과를 확인하였고, 30Hz로

설정하였을 때는 4.62cm 이내의 우수한 정밀 측위 결과를 확인하였다. 이는 시스템 요구사항에 대하여 두 조건 모두가 만족하는 결과로 확인된다.

2. 동적 위치에 대한 GNSS 측위 테스트 프로토콜

로봇의 자율 이동 중 궤적 추적 성능을 평가하기 위한 동적 위치 정밀도 테스트 프로토콜은 다음과 같다. GPS-웨이포인트 기능으로 구성된 지도 상에서 점들을 선택하면 이 점들이 연결되어 로봇의 경로를 정의한다. 이 점들은 MRP(moving reference point)로 저장되며,



FIGURE 12. Dynamic position error measurement method for tracking mobile trajectories

자율 이동 전에 GPS KOLIDA-K95와 같은 고정밀 GNSS 장비를 사용하여 이 지점들의 정확한 GNSS 좌표를 얻게 된다. 이는 그림 12에서 나타나듯이 각 측정점마다 고정밀 GNSS 장비로 측정이 이루어진다. VRS-RTK 기능이 있는 GNSS 프로토타입을 장착한 자율 이동 로봇은 GPS-웨이포인트에서 설정된 궤적을 따라 이동하며 GNSS 좌표를 기록한다. 운행을 위한 각 지점의 설정은 시작점과 끝점을 설정하면 경로 생성이 되며, 이 시스템에서는 사용자가 원하는 위치 지점을 지나가는 것이 목적이므로, 각 목적 지점마다 GPS-웨이포인트 기술로 각 지점을 설정하였다. 또한, 미리 정의된 주행 지점에

서 프로토타입에 의해 얻은 GNSS 위치 정보를 사전에 고정밀 장비로부터 측정된 GNSS 위치 정보와 비교함으로써 수평 위치 오류를 계산하였다. 이러한 방식으로 얻은 두 위치 정보 사이의 x 및 y 좌표 간의 오차는 유클리드 거리 계산을 통해 수평 위치 오류를 도출하였다.

로봇의 자율 이동은 영천 지역에 위치한 농업 기술 센터에서 이루어졌다. 농업 기술 센터의 주차장에서 시작하여 바로 옆에 위치한 와인 학교 건물을 목적지로 설정했으며, 이는 그림 13과 같이 구성된다. GPS-웨이포인트 기술을 사용하여 지정된 경로를 따라 13개의 MRP(이동 참조점)가 설정되었으며, 각 MRP 지점에서



FIGURE 13. Trajectory Planning of an Autonomous Mobile Robot for HPE Testing

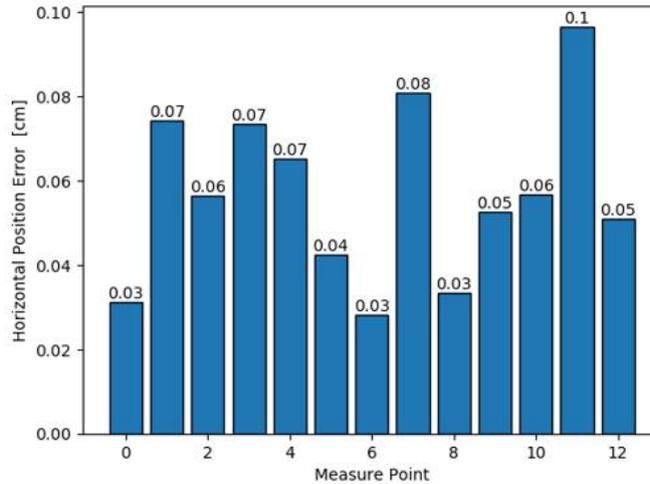


FIGURE 14. Position measurement error values at each point on the trajectory

GNSS 위치 결정을 통해 동적 수평 위치 오류가 측정되었다.

3. 자율 이동 궤적 상의 동적 위치 오차 측정

동적 수평 위치 오류의 측정값은 그림 14에 나타나 있다. 네트워크 VRS-RTK GNSS 모듈이 탑재된 자율 이동 로봇은 GPS-웨이포인트에서 설정된 궤적을 따라 이동하며 GNSS 좌표를 기록한다. 고정밀 GNSS 계측 장비(GPS KOLIDA-K95)를 이용하여, 각 샘플링 지점마다의 정확한 GNSS 좌표와의 비교를 통하여, 동적 위치에 대한 오차를 측정한다. 목적지로 들어가기 직전 건물 근처에서 측정된 지점들은 수평 위치 오류가 10cm이며, 10회 반복 실험을 통해 얻은 평균 위치 오류는 6.7cm로, 10cm 이내에서 매우 정밀한 위치 결정 결과를 확인할 수 있다. 위성의 배치 상태, 기상 상황 등에 차이가 발생하지만, 본문에서 제안된 시스템은 평균적으로 6~7cm의 매우 정밀한 측위 결과를 얻을 수 있다.

결 론

본 연구는 자율 이동 기능을 갖춘 자율 이동

로봇을 위한 NTRIP 클라이언트 기능 이식을 갖춘 고정밀 GNSS 프로토타입 시스템을 설계하고, GPS 웨이포인트 플래너와 같은 기술들을 통합하여 보다 지능적인 자율 로봇 시스템을 개발했다. 자율 이동 로봇은 컨테이너 기술을 사용하여 운영되며, 동적 및 정적 장애물을 피하고 정지 및 출발 기동을 수행할 수 있다. 자율 이동 및 안내 지점을 설정하기 위해, 시스템은 GPS 웨이포인트 플래너 기능을 지원하여 GPS 정보를 기반으로 쉽게 목적지를 설정할 수 있다. 이는 Bing Maps API를 사용하여 Mapviz GUI에서 구현되어, 지도 검색 및 저장을 가능하게 한다. 또한, 고정밀 GNSS 위치 정보 처리를 위해 리눅스에서 NTRIP 클라이언트 기능 포팅 및 사용자 맞춤형을 허용하는 VRS-RTK 프로토타입 시스템이 구축되었다. 이 시스템은 GNSS 정보를 30Hz의 속도로 수신하며, 모듈에서 권장하는 5Hz에서 사용할 경우 약 1~2cm의 더 정밀한 결과를 달성한다. 상대적으로 저렴한 상업용 GNSS 모듈을 사용하여, 이 시스템은 빠르게 수신된 정보를 사용하여도 센티미터 수준의 정밀한 위치 결정 결과를 제공한다. 이는 자율 이동 로봇을 위한 시스템을 구축하기에 성능이 적합하다. 고정밀 GNSS 위치 정보 처리 프로토타입을 갖춘 자율

이동 로봇은 미리 정해진 목적지로 자율적으로 탐색하면서 GNSS 정보를 통해 각 궤적 지점에서 수평 위치 오류를 측정한다. 수평 위치 오류 값은 6.7cm로 나타나, 10cm 이내의 매우 정밀한 동적 위치 측정 오류를 나타낸다. 향후 연구는 더 넓은 범위의 자율 이동 로봇의 활용을 위한 군집 제어 핵심 요소 기술 연구와 다중 접속시의 GNSS 성능 안정화를 위한 서버 구축을 목표로 한다. **KAGIS**

REFERENCES

- Kim, S.W., Sim, J.Y. and S. Yang. 2012. Vision-based cleaning area control for cleaning robots. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 58(2) :685-690.
- Kaur, Manreet. and Abrol. Preeti. 2014. Design and development of floor cleaner robot (automatic and manual). *International Journal of Computer Applications* 97(19).
- Zhao, Z., Chen, W., Peter, C.C.Y. and X. Wu. 2016. A novel navigation system for indoor cleaning robot. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE.
- Prayash, H.A.S.H., Sharear, R., Islam, F., Hossain, N. and S. Datta. 2019. Designing and optimization of an autonomous vacuum floor cleaning robot. 2019 IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-intelligence and Internet-of-Things (RAAICON). IEEE.
- Parween, R., Rayguru, M.V.M.M., Abdulkader, R.E. and M.R Elara. 2020. Autonomous self-reconfigurable floor cleaning robot. *IEEE Access* 8 :114433-114442.
- Wang, B., Lui, Z., Li, A. and A. Prorok. 2020. Mobile robot path planning in dynamic environments through globally guided reinforcement learning. *IEEE Robotics and Automation Letters* 5(4) :6932-6939.
- Antony, M., Parameswaran, M., Mathew, N., Sajithkumar, V.S., Joseph, J. and C.M. Jacob. 2020. Design and implementation of automatic guided vehicle for hospital application. 2020. 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). IEEE.
- Guan, W.H., Melvern, C., Hou, F.T., Zaw, A.M., Khan, M., Aramugam, K. and M. Ramaswamy. 2021. D-Bot: A Food Serving Robot During Pandemic Situation. 2021. IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-Intelligence and Internet-of-Things (RAAICON). IEEE.
- Qasim, M.A., Abrar, F., Ahmad., S. and M. Usman. 2022. AI-Based Smart Robot for Restaurant Serving Applications. *AI and IoT for Sustainable Development in Emerging Countries: Challenges and Opportunities*. Cham: Springer International Publishing 107-123.
- Rossi, A., Capute, A., Scafora, A. and S. Rossi. 2022. Investigating Customers' Preferences of Robot's Serving Styles. 2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE.
- Aggravi, M., Sirignano, G., Giordano, P.R. and C. Pacchierotti. 2021. Decentralized Control of a Heterogeneous Human-Robot Team for Exploration and Patrolling. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 19(4) :3109-3125.
- Li, Y., Wang, M., Xie, X., Chai, W. and X. Chen. 2023. Brain-Inspired Perception

- Feature and Cognition Model Applied to Safety Patrol Robot. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.
- Yan, D., Cao, H. Wang, T., Chen, R. and S. Xue. 2021. Graph-based knowledge acquisition with convolutional networks for distribution network patrol robots. *IEEE Transactions on Artificial Intelligence* 2(5) :384-393.
- Li, Y., Xu, J., Guo, D. and H. Liu. 2024. Trust-Aware Human-Robot Fusion Decision-Making for Emergency Indoor Patrolling. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*.
- Huang, L., Zhou, M., Hao, K. and H. Han. 2022. Multirobot Cooperative Patrolling Strategy for Moving Objects. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 53(5) :2995-3007.
- Park, Y.K., Kang, W.P., Choi, J.E. and B.J. Kim. 2019. A study on the Evaluation of Real-Time Map Update Technology for Automated Driving. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(3) :146-154. (박유경, 강원평 최지은, 김병주. 2019. 자율주행 지원을 위한 정밀도로지도 갱신기술 평가를 위한 기준 도출 연구. *한국지리정보학회지* 22(3) :146-154).
- Kwon, Y.H., Choung, Y.J., Cho, H.J. and B.Y. Gu. 2021. A Study on Building the HD Map Prototype Based on Web GIS for the Generation of the Precise Road Maps. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 24(2) :102-116. (권용하, 정윤재, 조현지, 구분엽. 2021. 정밀도로지도 제작을 위한 Web GIS 기반 HD Map 프로토타입 구축 연구. *한국지리정보학회지* 24(2) :102-116).
- Kim, G.C., Yoon, H.S. and Y.S. Choi. 2019. Analysis of Road Surface Irregularity and Superelevation Using Mobile Mapping System. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(3) :155-166. (김기창, 윤하수, 최윤수. 2019. Mobile Mapping System을 이용한 도로 평탄성과 편경사 분석 연구. *한국지리정보학회지* 22(3) :155-166).
- Kim, J.H., Lee, H.S., Roh, S.L. and D.H. Lee. 2019. Evaluating a Positioning Accuracy of Roadside Facilities DB Constructed from Mobile Mapping System Point Cloud. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(3) :99-106. (김재학, 이홍술, 노수래, 이동하. 2019. Mobile Mapping System Point Cloud를 활용한 도로주변 시설물 DB 구축 및 위치 정확도 평가. *한국지리정보학회지* 22(3) :99-106).
- Woo, B.R., Kim, A.R., Ahn, Y.J. and S.H. Tak. 2022. Road Environment Analysis from the Operational Design Domain Perspective for the Implementation of Autonomous Driving-Based Mobility Services. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 25(4) :107-118. (우보람, 김아름, 안용준, 탁세현. 2022. 자율주행기반 모빌리티 서비스 도입을 위한 운행설계영역 관점의 도로환경 분석. *한국지리정보학회지* 25(4) :107-118).
- Kamalova, A., Kim K.D. and S.G. Lee. 2020. Waypoint mobile robot exploration based on biologically inspired algorithms. *IEEE Access* 8 :190342-190355.
- Akhshirsh, G.S., Al-Salihi, N.K. and O.H. Hamid. 2021. A cost-effective GPS-aided autonomous guided vehicle for global path planning. *Bulletin of Electrical Engineering*

and Informatics 10(2) :650–657.

Yoon, H.J. and B.W. Park. 2020. Assessment of Position Degradation Due to Intermittent Broadcast of RTK MSM Correction Under Various Conditions. *Journal of Positioning, Navigation, and Timing* 9(3) :237–248.

Noh, S., Park, J. and J. Park. 2020. Autonomous mobile robot navigation in indoor environments: mapping, localization, and planning. 2020. International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE.

Pak, J., Kim, J., Park, Y. and H.I. Son. 2022. Field evaluation of path-planning algorithms for autonomous mobile robot in smart farms. *IEEE Access* 10:60253–60266.

Noh, S., Park, J.Y. and J.H. Park. 2020. Autonomous mobile robot navigation in indoor environments: mapping, localization, and planning. 2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE.

Won, D.K., Choi, Y.S., Yoon, H.S. and W.J. Lee. 2021. A Study on the Accuracy of GNSS Height Measurement Using Public Control Points. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 24(2) :78–90 (원두건, 최윤수, 윤하수, 이원중. 2021. 공공기준점을 이용한 GNSS 높이측량 정밀도 분석 연구. *한국지리정보학회지* 24(2) :78–90). **KAGIS**