

# GPS 주행 데이터를 활용한 자율운반로봇의 웨이포인트 기반 맵 자동 생성 기법

## Automatic Waypoint-Based Map Generation Using GPS Trajectory Data

구재완<sup>1</sup>·양건모<sup>1</sup>·곽정훈<sup>1</sup>·감병우<sup>2</sup>·이준우<sup>3</sup>·서갑호<sup>†</sup>  
Jaewan Koo<sup>1</sup>, Kyon-Mo Yang<sup>1</sup>, Jeonghoon Kwak<sup>1</sup>,  
Byong-Woo Gam<sup>2</sup>, Joonwoo Lee<sup>3</sup>, Kap-Ho Seo<sup>†</sup>

**Abstract:** In this study, we propose an automatic map generation and path simplification method for autonomous transport robots operating in unstructured outdoor environments such as orchards. Unlike traditional approaches that require manual waypoint configuration, our method utilizes GPS trajectory data collected during actual robot movement to generate waypoints automatically. Additional processes include real-time link creation between waypoints, simplification based on angle thresholds to remove redundant nodes, and the generation of a geofence boundary and an RDDF path. Compared to existing algorithms, the proposed method significantly reduces the number of waypoints—by over 80%—while maintaining 100% coverage of the original data. Moreover, users can define full routes by selecting only a few key waypoints, improving both usability and efficiency.

**Keywords:** Autonomous Robot, Waypoint Generation, Map Simplification, GPS Trajectory, Low-Power Embedded System

### 1. 서론

자율주행 기술은 최근 인공지능, 정밀 위치추정, 로봇 제어 기술의 급속한 발전에 힘입어 다양한 산업 분야로 빠르게 확산되고 있다. 특히 농업, 물류, 건설 등의 현장에서는 작업 효율 향상과 인력 부담을 줄이기 위해 자율주행 로봇의 도입이 증가하고 있으며, 이에 따라 복잡하고 유동적인 환경에서 안정적인 자율주행을 위한 기술 개발이 진행되고 있다<sup>1,2</sup>.

과수원과 같은 비정형 실외 환경은 계절별 식생 변화, 경작지 배치, 지형 불균일성 등으로 인해 정형화된 경로 설정이 어

렵다<sup>3,4</sup>. 특히, 수작업 기반 로봇 경로 및 웨이포인트 설정 방식은 작업자가 모든 경로 및 경로점(Waypoint)을 직접 지정해야 하므로, 넓고 변화가 많은 농작업 환경에서는 작업 효율이 낮고 유지 관리가 어렵다는 한계를 가진다. 또한, 대규모의 농작업 환경에서 정밀하게 경로를 추종하고, 작업 단위를 구분하며, 경로 간 전환 시 기준점을 제공하기 위한 다수의 경로점을 사용자가 직접 설정하는 것은 현실적으로 어려운 문제이다<sup>5,6</sup>. 따라서 최근에는 로봇 주행시 획득된 데이터를 기반으로 지도를 생성하고, 주행 경로를 실시간으로 구성하는 기술이 적용되고 있다.

로봇의 주행 경로와 경로점들을 생성하는 연구 방식중 하나는 라이다(LiDAR), 비전 카메라, IMU 등을 활용하여 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 기반 지도를 생성하고, 생성된 지도를 기반으로 로봇이 주행하기 위한 경로와, 경로점간의 웨이포인트를 생성하는 방식으로 주행 경로를 구성하는 것이다<sup>7-9</sup>. 하지만 이러한 방식은 생성된 지도로부터, 로봇이 실제로 주행 가능한 경로를 후처리로 추출해야 하므로, 경로 유효성 판단에 추가적인 연산과 검증이 필요하다는 점에서

Received : Jun. 30. 2025; Revised : Jul. 28. 2025; Accepted : Aug. 5. 2025

※ This research was supported in part by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (20018401), Republic of Korea.

1. Senior Researcher, KIRO, Pohang, Korea (jwko03236, kmyang, jeonghoon@kiro.re.kr)

2. Executive Director, Daedong Robotics (DDR), Seoul, Korea (bwgam@daedong.co.kr)

3. Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea (jwl@knu.ac.kr)

† Chief Researcher, Corresponding author: KIRO, Pohang, Korea (neworld@kiro.re.kr)

실용성이 떨어진다. 또한 SLAM 알고리즘의 특성상 농작업 환경이 넓어 질수록 지도의 크기가 커지며, 지도내에서 로봇이 이동하지 못하는 경로를 생성한다.

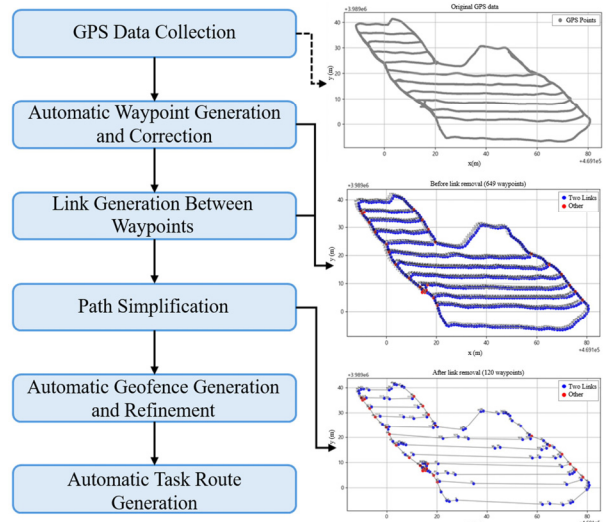
본 논문에서는 로봇 또는 작업자가 실제 주행한 GPS 기반 주행 궤적 데이터를 활용하여, 주행 경로와 웨이포인트를 동시에 자동 생성하는 방식을 제안한다. 제안하는 방법은 실시간성에서는 SLAM보다 떨어질 수 있으나, 반복 주행 기반의 누적 궤적 데이터를 이용해 안정적이고 단순화된 경로 구성이 가능하며, 실제 운행 이력을 기반으로 해서 경로의 유효성이 확보된다. 제안하는 알고리즘은 GPS 기반의 반복 주행 데이터를 활용하여 자율운반로봇의 웨이포인트 기반 맵을 자동으로 생성하고, 경로점 생성 및 링크 연결, 경로 간소화, 지오펜스 생성, 작업경로 추출을 수행한다. 제안하는 방법은 반복 주행 기반 GPS 로그 데이터를 바탕으로 로봇이 작동한 지역의 맵을 자동 구성하고 최적화할 수 있도록 설계되었으며, 복잡한 센서 융합 없이도 고정밀 경로 구성이 가능하다는 점에서 농작업 환경이 넓거나 확장되는 상황에 경제적으로 적용이 가능하다. 특히 이 기법은 스마트 농업과 같은 비정형 실외 환경에서의 실질적인 활용 가능성을 염두에 두고 개발되었으며, 맵 자동 생성의 관점에서 기존 연구들과 다음과 같은 차별성을 가진다:

- 주행 GPS 데이터를 활용한 경로 및 경로점 자동 생성: 센서 융합 없이 실제 주행 이력을 기반으로 경로의 유효성을 확보하며, 비정형 실외 환경에서도 적용 가능한 실용적 접근법을 제시
- 경로 연결, 간소화, 지오펜스 설정, 작업 경로 추출까지 포함한 통합 경로 자동 생성: 단순한 경로 추출을 넘어 맵 구성 전 과정을 자동화하여 자율주행 로봇 운용의 효율성과 확장성 확보

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GPS 기반 주행 데이터를 이용한 웨이포인트 생성, 링크 설정, 경로 간소화, 지오펜스 및 RDDF 자동 생성 등 전체 알고리즘의 구성과 흐름을 단계적으로 설명한다. 3장에서는 실제 과수 환경에서 자율운반로봇을 활용해 수집된 주행 데이터를 바탕으로 수행한 맵 자동 생성 및 경로 간소화 결과를 제시한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결론과 함께 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

## 2. 맵 자동 생성 및 간소화 방법

본 장에서는 자율운반로봇이 수집한 GPS 기반 주행 데이터를 바탕으로 경로점을 자동으로 생성하고, 연결선(link) 설정 및 경로 간소화, 지오펜스와 작업경로(RDDF)의 생성까지 포함하는 전체 맵 생성 알고리즘의 절차를 기술한다. 제안된 알고리즘은 실외 비정형 환경에서의 반복 주행 데이터를 입력으로 하며, 자동화된 경로 생성과 최적화를 통해 실시간 운용 가능한 경로 정보를 출력한다.



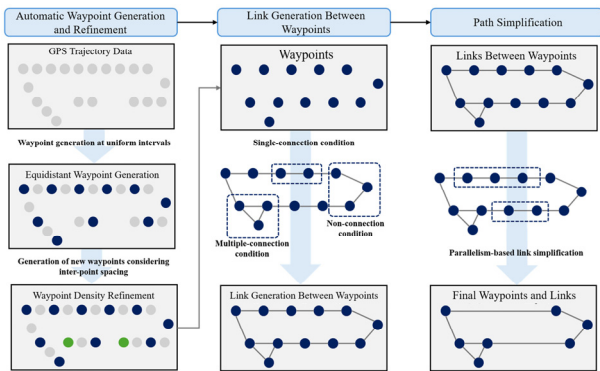
[Fig. 1] System architecture for automatic waypoint-based map generation

### 2.1 GPS 경로점 지도 자동생성 시스템

[Fig. 1]은 주행을 통해 수집된 GPS 데이터를 기반으로 경로점 간소화 및 작업 경로 자동 생성 시스템의 구조도이다. 경로 자동 생성을 위해 로봇 운행 환경에서 실제 주행을 통해 GPS 데이터를 수집한다. 본 연구에서는 10Hz의 주기로 GPS 좌표 데이터를 저장하며, 수집된 궤적은 시간순으로 정렬되어 이후 경로점 자동 생성에 활용된다. 경로점 자동 생성/보정 단계에서는 주행기록의 연결성을 고려하여 일정 간격으로 경로점을 생성한다. 다음 단계인 경로 간 링크(Link) 생성 과정에서는, 앞서 생성된 이전 경로점들과 새롭게 추가된 경로점들 사이의 연결 가능성을 판단하고, 이들 사이의 물리적 또는 논리적 연결 조건을 종합적으로 고려하여 경로점 간 연결을 수행한다. 경로 간소화 단계에서는 생성된 경로점과 링크수를 최적화하며, 마지막으로 로봇이 주행해야 하는 환경을 정의하는 지오펜스 및 작업 경로(RDDF)를 생성하여 수집된 GPS 주행기록을 이용하여 자율주행을 위한 지도를 자동으로 생성한다.

### 2.2 주행 기록 상태를 고려한 경로점 생성 및 경로 간소화

[Fig. 2]는 제안하는 시스템의 경로간 링크 생성 및 간소화 방법이다. 제안하는 자동 경로 생성 시스템에서는 우선 수집된 주행기록의 GPS 데이터 간 거리 정보를 분석하여, 일정 기준 거리(D) 이상 이격된 지점에 새로운 웨이포인트를 생성한다. 기준 거리 D는 실험 환경에 따라 1.5~2.0 m로 설정할 수 있으며, 동일 궤적 상의 중복 기록 방지를 위해 선별적 포인트만 채택된다. 또한, 두 경로점 간 거리가 과도하게 긴 경우에는 중간 지점을



[Fig. 2] Flowchart of link generation and path simplification between waypoints

보간하여 경로의 밀도를 일정하게 유지한다. 경로점이 생성된 후 GPS 수신오차나 경로상의 편상에 의한 실제 중심 경로와의 차이를 고려하기 위해 경로점 위치 보정을 수행한다. 경로점 위치 보정에서는 웨이포인트에 대해 반경  $r$  이내의 GPS 포인트들의 평균 좌표를 계산하여 해당 위치를 보정한다. 이 단계는 경로의 정밀도를 향상시키며, 경로 간 연결의 부드러움을 보장한다.

경로점간의 연결선(Link)생성 단계에서는 웨이포인트 간 연결선은 비연결조건, 단일 연결 조건, 다중 연결 조건, 세 가지 조건에 따라 연결선을 생성하며 그 정의는 아래와 같다.

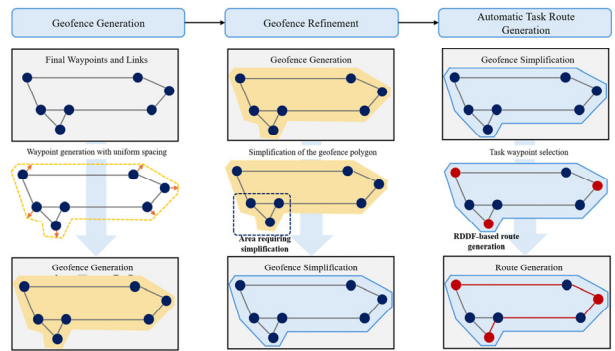
- 비연결 조건: 두 점 간 거리가 너무 멀거나 주행 상의 연속성이 없는 경우 적용
- 단일 연결 조건: 이전 웨이포인트와의 단순 연결을 의미하며, 일반적인 순차 주행 상황에 해당
- 다중 연결 조건: 반경 내의 여러 웨이포인트와의 연결을 통해 교차점이나 분기점에서 자연스러운 경로 구성

이와 같은 연결 전략은 교차로, 회전지점 등 복잡한 주행 영역에서의 경로 품질 향상에 기여한다.

경로 간소화는 생성된 웨이포인트 및 링크의 수를 줄여 경로의 효율성을 높이는 단계이다. 세 개의 연속된 노드 간 방향 꺾임 각도가 사전에 설정된 임계값(예: 5도 또는 10도) 이하인 경우, 중간 노드를 제거하여 직선 구간으로 간주한다. 이 과정을 통해 전체 경로의 복잡도가 감소하며, 메모리 사용량과 연산량을 줄일 수 있다. 특히 저사양 시스템에서의 실시간 적용성을 높이는 데 효과적이다.

### 2.3 주행 안전성을 위한 지오펜스 자동생성

지오펜스(Geofence)는 자율주행 로봇이 경로점을 따라 주행하는 과정에서 사전에 정의된 운행 가능 영역을 벗어날 경우, 로봇의 움직임을 즉시 정지시키기 위해 설정되는 가상의 경계



[Fig. 3] Architecture of automatic geofence generation, simplification, and RDDF path creation

이다. 이러한 지오펜스는 로봇의 안전한 주행을 보장하고, 예기치 못한 외부 환경으로의 이탈을 방지하는 데 핵심적인 역할을 하며, 일반적으로 지도 기반의 좌표 정보나 경로 계획 알고리즘과 연계되어 실시간으로 영역 이탈 여부를 판단하게 된다. [Fig. 3]은 지오펜스 자동 생성, 간소화 및 RDDF 작업경로 생성 구조도이다.

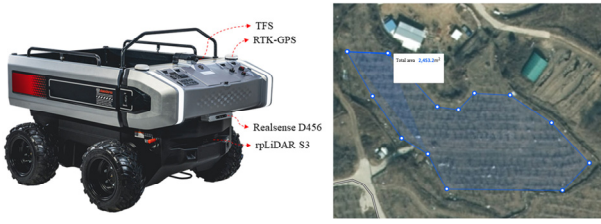
본 연구에서는 최종 경로를 기반으로 지오펜스를 자동 생성하는 과정에서는 주행 경로의 외곽에 일정 여분(예: 1m)을 설정하여 polygon 형태의 안전 영역을 정의한다. 생성된 지오펜스는 concave 형태를 가질 수 있으며, 계산 효율을 고려해 복잡한 모서리를 단순화하는 후처리를 통한 지오펜스 간소화를 수행한다.

마지막으로 사용자의 사용 편의성을 향상시키기 위하여, 제시된 경로점들중에 작업에 필요한 경로점만을 사용자가 입력하면 경로점과 링크의 관계를 고려하여 RDDF (Route Data Definition File)로 작업 경로를 생성한다. 예를 들어 경로점들이 1-2-3-4-5로 연결되어 있고, 사용자는 1번과 5번에서만 작업을 수행한다면, 로봇이 이동하기 위한 모든 경로인 1, 2, 3, 4, 5번을 순차적으로 선택하는 것이 아닌 1번과 5번 경로점만을 선택하면 된다.

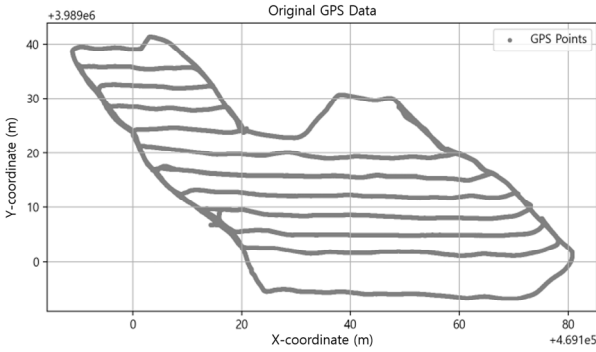
## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험환경 구성 및 데이터 수집

본 논문에서는 과수환경에서의 실용적인 자율 맵 생성 알고리즘을 검증하기 위해, [Fig. 4]와 같이 (주)대동로보틱스사의 RT100 로봇과 총면적  $2453.2 m^2$ 의 사과과수원에서 데이터를 수집하고 적용하였다. RT100은 비정형 지형에서의 원활한 자율주행을 목적으로 설계된 4륜 구동 기반의 로봇 플랫폼이며, 네 개의 독립된 바퀴에 모터가 연결되어 있어 제자리 회전 (Zero Turn)이 가능하며, 좁은 공간이나 곡선 주행이 필요한 과수원 환경에 적합하도록 설계되었다.



[Fig. 4] Orchard environment and autonomous driving platform



[Fig. 5] GPS trajectory data collected in an orchard environment

본 연구는 로봇에 부착된 TFS (Tether Follow Sensor)의 와이 어를 이용하여, 로봇의 이동 경로 GPS 데이터를 수집하였다. 로 봇의 평균 주행 속도는 약 3 km/h로 설정되었다. 전체 주행 구간 동안 14,176개의 GPS 포인트가 수집되었고, 사과 나무가 심어 져 있는 사이를 주행하여 [Fig. 5]와 같이 수집하였다.

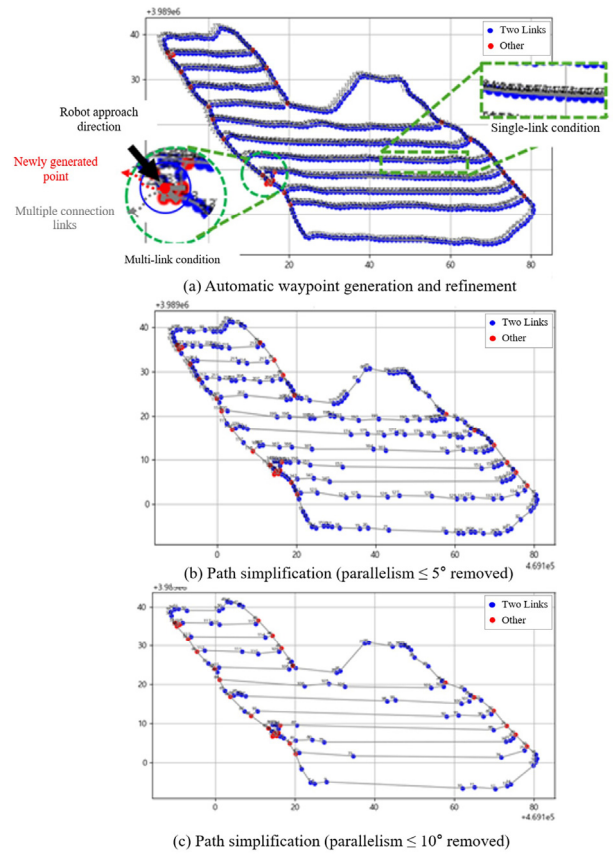
### 3.2 경로점 및 경로간 링크 생성 결과

수집된 GPS 데이터를 이용하여 제안하는 자율주행 경로 생 성 및 지오펜스 생성 시스템을 수행하였다. [Fig. 6]은 단계별 경로생성 변화이다.

[Table 1]은 자동생성 파라미터에 따른 경로점과 링크수에 대한 결과이다. 경로점 간소화를 수행하지 않은 자동 생성된 웨 이포인트 수는 총 649개였으며, 이후 경로 간소화 알고리즘이 적 용되어 최종적으로 120개의 웨이포인트로 축소되었다. 이 과정 에서 약 80% 이상의 노드가 제거되었음에도 불구하고, 전체 주 행 궤적에 대한 커버리지는 100%를 유지하는 것을 확인하였 다. 이는 제안된 알고리즘이 불필요한 경로점을 효과적으로 제 거하면서도 주행 경로의 구조적 특징을 잘 보존함을 의미한다.

또한 제안하는 경로점 생성 및 최적화 성능을 기존 알고리즘인 Douglas-Peucker, FastSTray-style, Kalman Filter + Downsampling 를 ChatGPS 4o를 이용하여 경로점과 경로점간 링크를 [Fig. 7] 과 같이 생성하였다<sup>[10-13]</sup>.

[Table 2]는 각 알고리즘별 총 경로점 수, 링크 수, 커버된 GPS 데이터 수 및 커버리지에 대한 비교 결과를 나타낸다.



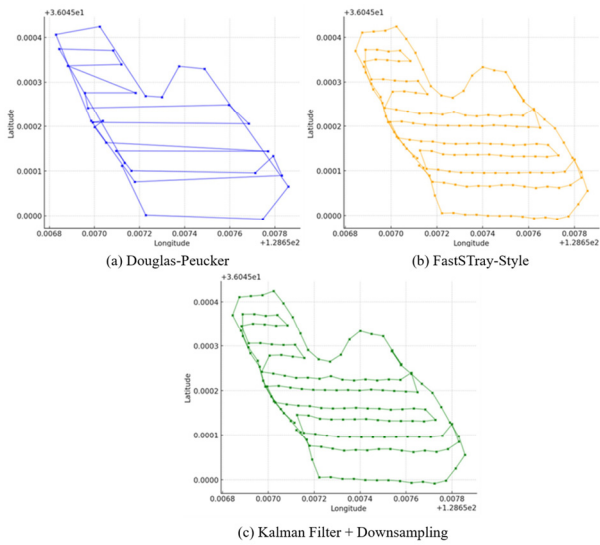
[Fig. 6] Step-by-step results of waypoint generation and path simplification

[Table 1] Number of Waypoints and Links by Waypoint Generation Method

	Waypoint Generation	Waypoint Simplification	
		Angle Threshold $\leq 5^\circ$	Angle Threshold $\leq 10^\circ$
Total Number of Waypoints	649	227	<b>120</b>
Total Number of Links	662	240	<b>133</b>
Total Number of GPS Data Points	14,176	14,176	<b>14,176</b>
Number of Covered GPS Data Points	14,176	14,176	<b>14,176</b>
Link-Based Coverage	100%	100%	<b>100%</b>

비교에 사용된 Douglas-Peucker, FastSTray, Kalman Filter + Downsampling 알고리즘 모두 GPS 데이터의 100%를 커버하 는 결과를 보였으며, 이는 모든 방식이 전체 주행 궤적에 대한 정보 손실 없이 경로를 구성하고 있다.

그러나, 경로 단순화 성능 면에서 차이가 두드러졌다. FastS Tray와 Kalman 기반 방식은 각각 159개의 경로점과 158개의



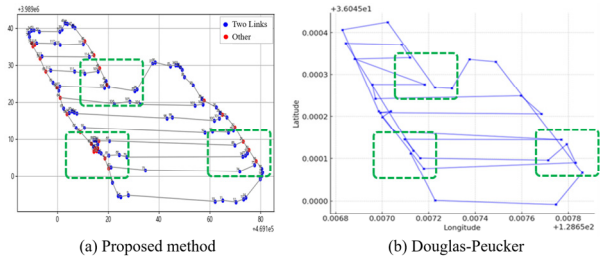
[Fig. 7] Waypoint and link generation results using conventional algorithms

[Table 2] Comparison of Waypoints and Links Across Different Algorithms

	Proposed Method	[Fig. 7]		
		a	b	c
Total Number of Waypoints	<b>120</b>	32	159	159
Total Number of Links	<b>133</b>	31	158	158
Total Number of GPS Data Points		14,176		
Number of Covered GPS Data Points		14,176		
Link-Based Coverage		100%		

링크를 유지하였으며, 이는 간소화 전 대비 다소 높은 수준의 노드 수를 유지하고 있어 경량화 측면에서 한계를 보인다. 반면, Douglas-Peucker 알고리즘은 전체 경로점 중 약 99.8%를 제거하고 32개의 핵심 노드만으로 경로를 구성함으로써 매우 높은 압축률을 달성하였다.

하지만 Douglas-Peucker 방식은 링크 연결 조건이나 경로의 주행 가능성에 대한 고려가 없어, 결과적으로 실제 로봇 주행 시 경로 단절 또는 연결 오류가 발생할 수 있음을 확인하였다. [Fig. 8]에서 보는 바와 같이, 제안하는 방식은 각 웨이포인트



[Fig. 8] Comparison of the proposed method with conventional algorithms

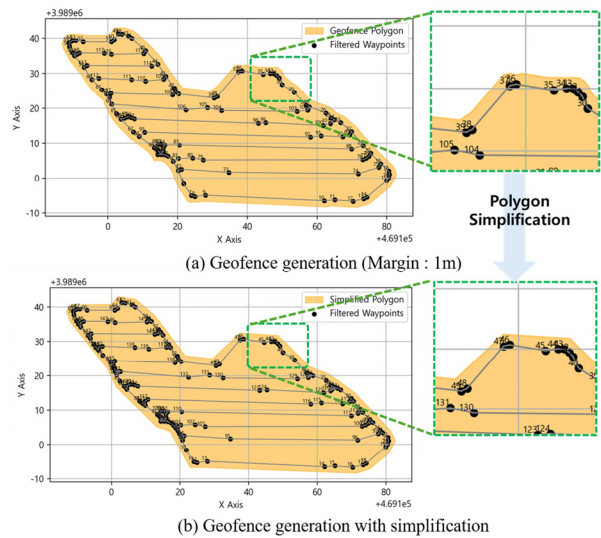
간 링크 구조를 유지하면서도, 필터링을 통해 불필요한 경로점을 제거하고 120개의 핵심 웨이포인트만으로 전체 경로를 구성하였다. 특히, 2개 이상의 링크를 가지는 노드를 중심으로 경로 구조를 안정적으로 유지하고 있으며, 이는 실제 주행 경로의 연결성과 구조적 타당성을 동시에 만족하는 것을 보여준다. 따라서 제안 방식의 3개의 링크 연결 조건이 단순한 간소화를 넘어 로봇 주행의 실행 가능성과 안정성까지 고려한 설계로서, 기존 알고리즘보다 실용적 측면에서 더 우수한 결과를 제공함을 확인하였다.

### 3.3 지오펜스 자동 생성 및 경로 주행 결과

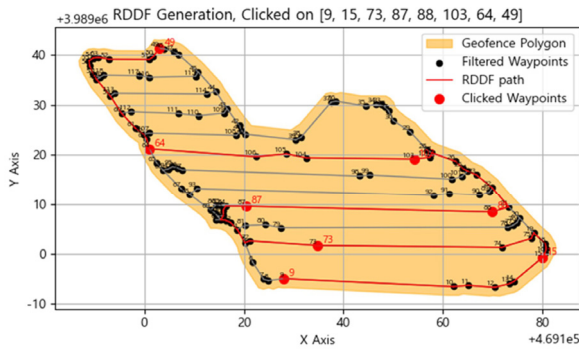
제안하는 방법으로 생성된 경로 지도를 실제 로봇에 적용하기 위하여 지오펜스를 자동으로 생성하고 사용자에게 주행하기 위한 경로점을 입력받고 로봇을 주행하였다.

[Fig. 9]는 지오펜스 자동 생성 및 간소화 결과이다.에서는 지오펜스 자동 생성 결과를 제시하였다. 생성된 다각형 형태의 안전경계는 실제 주행 경로를 충분히 포함하며, 복잡한 경계도 단순화 처리를 통해 실시간 판단이 가능한 형태로 변환되었음을 확인하였다.

생성된 지오펜스를 반영한 경로 지도는 RT100 플랫폼에 적용되었으며, 사용자는 해당 지도 상에서 주행을 위한 웨이포인트를 직접 선택하여 입력할 수 있다. [Fig. 10]은 사용자가 지도 상의 일부 경로점을 클릭함으로써 자동으로 RDDF (Robot Driving Data Format) 기반의 경로가 구성되는 과정을 시각적으로 보여준다. 전체 경로를 수동으로 지정할 경우 사용자는 총 53개의 경로점을 일일이 선택해야 하지만, 제안하는 알고리즘은 선택된 주요 웨이포인트 간의 연속적인 RDDF 경로를 자동으로 구성함



[Fig. 9] Results of geofence generation and simplification



(a) RDDF Generation  
(Clicked Waypoints : 9, 15, 73, 87, 88, 103, 64, 49)



(b) Autonomous Driving with RDDF

[Fig. 10] Simplified task route generation and autonomous driving on the RT100 platform

로써, 단 8개의 경로점만으로도 동일한 주행 경로를 설정할 수 있는 것으로 확인되었다. 이는 수동 입력 대비 약 84.9%의 사용자 입력 감소 효과를 나타내며, 사용자 편의성과 경로 설정 효율 측면에서 제안 기법의 유효성을 입증한다.

이상의 실험 결과는 제안한 알고리즘이 실제 환경에서도 효과적으로 작동하며, 수동 작업 없이도 안정적이고 효율적인 맵 자동 생성 및 경로 최적화가 가능함을 보여준다. 다음 장에서는 이러한 결과를 바탕으로 본 연구의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

#### 4. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 GPS 기반의 주행 데이터를 활용하여 자율운반로봇의 맵을 자동으로 생성하고, 이를 간소화 및 최적화하는 알고리즘을 제안하고 실제 과수원 환경에서 그 성능을 검증하였다. 제안된 알고리즘은 웨이포인트의 자동 생성, 링크 설정, 경로 간소화, 지오펜스와 RDDF의 자동 생성을 포함하여 수작업 없이도 실시간 자율주행 시스템에 필요한 경로 정보를 효과적으로 구성할 수 있음을 입증하였다.

실험 결과, 약 80%의 웨이포인트가 간소화되는 동안 전체 궤적 커버리지를 유지하였으며, 이는 경로 품질의 손실 없이 데이터 효율성과 운용 가능성을 동시에 확보한 결과이다. 또한 기

존 알고리즘과 비교하여 로봇 주행의 실용성까지 고려하여 경로점간 링크를 생성하는 것을 확인하였다. 마지막으로 생성된 지오펜스 및 작업 경로의 자동 생성 기능은 자율주행 로봇에 적용하여 실제 적용되는 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 비교한 기존 알고리즘보다 향상된 알고리즘과 융합하여 경로점을 최적화하도록 연구가 수행되어야 하며, 실시간 센서 정보(예: 장애물 탐지, 지면 기울기 등)와의 융합을 통해 경로 생성의 적응성을 높이는 방향으로 확장하는 연구를 진행할 예정이다. 또한, 다양한 작물과 지형에 대한 적응성을 높이기 위한 데이터 기반 매핑 전략 및 기계학습 기반 경로 보정 기법 도입도 유망한 방향이다.

#### References

- [1] V. Rondelli, B. Franceschetti, and D. Mengoli, "A review of current and historical research contributions to the development of ground autonomous vehicles for agriculture," *Sustainability*, vol. 14, no. 15, Jul., 2022, DOI: 10.3390/su14159221.
- [2] B. Ferreira and J. Reis, "A systematic literature review on the application of automation in logistics," *Logistics*, vol. 7, no. 4, Nov., 2023, DOI: 10.3390/logistics7040080.
- [3] Y. Xia, X. Lei, J. Pan, L. Chen, Z. Zhang, and X. Lyu, "Research on orchard navigation method based on fusion of 3D SLAM and point cloud positioning," *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, Jun., 2023, DOI: 10.3389/fpls.2023.1207742.
- [4] H. Yoon, J. Kwak, K.-M. Yang, B.-W. Gam, T.-G. Yeo, J. Park, and K.-H. Seo, "GPS Error Filtering using Continuity of Path for Autonomous Mobile Robot in Orchard Environment," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 19, no. 1, pp. 23-30, Feb., 2024, DOI: 10.7746/jkros.2024.19.1.023.
- [5] F. Salvetti, S. Angarano, M. Martini, S. Cerrato and M. Chiaberge, "Waypoint generation in row-based crops with deep learning and contrastive clustering," *arXiv:2206.11623*, 2022, DOI: 10.48550/arXiv.2206.11623.
- [6] X. Yao, B. Zhang, X. Wang, Y. Su, G. Cao, and Y. Bian, "Adaptive navigation for robots in unstructured agricultural environments using stable feature localization and multi-sensor obstacle detection," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 234, Jul., 2025, DOI: 10.1016/j.compag.2025.110302.
- [7] J.-H. Han, C.-H. Park, Y. Y. Jang, J. D. Gu, and C. Y. Kim, "Performance evaluation of an autonomously driven agricultural vehicle in an orchard environment," *Sensors*, vol. 22, no. 1, Dec., 2021, DOI: 10.3390/s22010114.
- [8] S. Cerrato, V. Mazzia, F. Salvetti, M. Martini, S. Angarano, A. Navone, and M. Chiaberge, "A deep learning driven algorithmic pipeline for autonomous navigation in row-based crops," *arXiv:2112.03816*, 2024, DOI: 10.48550/arXiv.2112.03816.
- [9] F. Li, Y.-C. Kim, and B. Xu, "Non-standard map robot path planning approach based on ant colony algorithms," *Sensors*, vol. 23, no. 17, Aug., 2023, DOI: 10.3390/s23177502.

[10] W. Gao, B. Ai, J. Loo, and D. Hsu, "IntentionNet: map-lite visual navigation at the kilometre scale," *arXiv:2407.03122*, 2024, DOI: 10.48550/arXiv.2407.03122.

[11] D. L. Marino and M. Manic, "Fast trajectory simplification GPS algorithm for natural user interfaces in robot programming by demonstration," *arXiv:1608.07338*, 2016, DOI: 10.48550/arXiv.1608.07338.

[12] M. Frosi and M. Matteucci, "Art-slam: Accurate real-time 6dof lidar slam," *arXiv:2109.05483*, 2022, DOI: 10.48550/arXiv.2109.05483.

[13] OpenAI, J. Achiam, S. Adler, S. Agarwal, and L. Ahmad, et al., "GPT-4o Technical Report," *arXiv:2303.08774*, DOI: 10.48550/arXiv.2303.08774.



### 구재완

2017 계명대학교 의용공학과(공학사)  
2020 경북대학교 기계공학과(공학석사)  
2019~현재 한국로봇융합연구원 지역연구  
본부 선임연구원

관심분야: 기계설계, 구조해석



### 김병우

1996 울산대학교 전기공학과(공학사)  
1996 대우자동차 입사  
2001 (주)대동공업 입사  
2019 울산대학교 전기전자정보 시스템공학과  
(공학석사)  
현재 (주)대동로보틱스 전무

관심분야: 시스템제어, 임베디드 시스템



### 양견모

2011 세종대학교 디지털콘텐츠학과(공학사)  
2014 연세대학교 컴퓨터과학(공학석사)  
2018~현재 한국로봇융합연구원 지역연구  
본부 선임연구원

관심분야: 인공지능, 지식추론, 상황인식



### 이준우

2007 부산대학교 전기전자공학부 전자전기  
통신공학전공(공학사).  
2009 KAIST 로봇공학학제전공(공학석사).  
2014 KAIST 전기 및 전자공학(공학박사).  
2015~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과  
부교수

2019~현재 경북대학교 대학원 로봇 및 스마트 시스템공학과 겸임교수  
관심분야: 군집 지능, 계산 지능, 최적화, 군집로봇, 건설로봇



### 곽정훈

2015 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과  
(공학사)  
2017 계명대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
2021 동국대학교 멀티미디어공학과(공학박사)  
2022~현재 한국로봇융합연구원 지역연구  
본부 선임연구원.

관심분야: 인공지능, 딥러닝, 로봇 제어



### 서갑호

1999 고려대학교 전기공학과(공학사)  
2001 KAIST 전기및전자공학(공학석사)  
2009 동대학(공학박사)  
2009~현재 한국로봇융합연구원 지역연구  
본부 수석연구원

2021~현재 경북대학교 로봇 및 스마트 시스템 공학과 겸임교수  
관심분야: 시스템 제어, 농업로봇, 웨어러블로봇