

로봇주행 기술 및 표준화 동향

Robot Navigation Technology and Its Standardization Trends

스마트 서비스 시대의 IT 융합기술 특집

유원필 (W.P. Yu)	공간인지연구팀 책임연구원
최성록 (S.L. Choi)	공간인지연구팀 연구원
이재영 (J.Y. Lee)	공간인지연구팀 선임연구원
박승환 (S.H. Park)	공간인지연구팀 선임연구원

목 차

-
- I . 서론
 - II . 로봇주행 기술 개요
 - III . 로봇주행 산업 동향
 - IV . 로봇주행 표준화 동향
 - V . 로봇주행 기술 향후 전망

로봇주행은 환경 정보와 위치 정보를 기반으로 현재 위치로부터 목적지까지 경로를 생성하고 제어하는 기술 체계를 의미한다. 주행 기술은 이미 로봇청소기, 군용로봇, 무인주행 자동차, 농업용 무인트랙터 등 개인용 서비스 로봇으로부터 전문서비스 로봇까지 다양한 응용제품의 형태로 구현되고 있다. 즉, 로봇주행은 로봇의 이동(mobility) 기능을 구현하는 것으로 제품 형태로 혹은 획기적인 기술 시연을 통해 보편화되고 있다. 본 고에서는 로봇주행 기술의 개요와 이를 구성하는 핵심 요소기술의 동향을 살펴보고 산업 및 표준화 동향을 살펴봄으로써 인식, 제어, SW, 시스템 공학 등 첨단융합기술로서의 로봇주행의 중요성과 기술확보 방향에 대해 살펴보고자 한다.

I. 서론

ISO/DIS8373에 의하면 주행(navigation)은 위치 인식(localization)과 환경지도(environment map)로부터 이동경로와 방향을 결정하고 제어하는 기술을 지칭한다.¹⁾ 주행은 조작(manipulation)과 함께 로봇을 다른 종류의 제품에 비해 확연히 차별화시키는 요소이다. 조작 기술과는 다르게 주행 기술은 비교적 기술완성도가 높은 상태로 주행기능을 이용한 다양한 응용제품이 출시되고 있다.²⁾ (그림 1)의 예시는 로봇주행과 조작기능을 나타내기 위한 개념도이다. 주행기능의 구현을 위해 공간정보처리, 위치인식, 로봇 주변의 환경인식(예를 들어, 지형지물인식, 정적/동적 장애물 인식) 등 기술난이도가 높은 하위기능을 필요로 한다.

1970년대 초반에 미국 SRI에서 Shakey라는 이름의 이동로봇을 최초로 개발한 이래로 센서, 부품, 컴퓨팅, 통신, 네트워킹 기술의 비약적인 발전으로 현재의 주행 기술은 다양한 로봇 응용제품으로 실생활에 사용되고 있다. 간단한 예로, 1990년대 초반만 하더라도 이동로봇의 제어를 위한 통신방식은 RS232C와 같은 직렬통신방식이 고작이었으나 (그림 2)에 나타난 바와 같이 현재는 3G/Wi-Fi 등 로봇제어뿐만 아니라 로봇을 이용한 서비스를 제공하는 IT 인프라



(그림 1) 로봇주행(왼쪽)과 조작(오른쪽) 예시

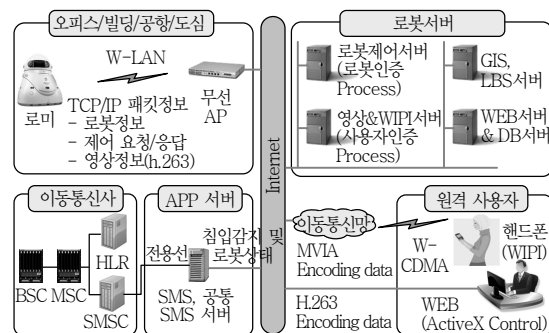
- 1) Deciding on and controlling the direction of travel, derived from localization and environment map.
- 2) [1]에 의하면 현재의 조작기술은 1975년 무렵의 주행 기술 수준에 머무르고 있을 정도로 기술성숙도뿐만 아니라 가격 경쟁력이 낮은 것으로 인식되고 있다.

도 로봇 시스템의 기술요소로 고려하는 수준에 도달하였다.

한편, 전 세계적으로 저출산, 고령화, 글로벌화, 삶의 질 추구와 같은 사회적 변화와 정보 기술, 센서, 나노/바이오 기술 등 관련 기술의 발전, 기후변화, 친환경 산업 등 환경 이슈의 등장으로 기존의 산업생산방식이나 서비스 구조의 변화가 불가피하게 되었고, 이에 따라 로봇 기술, 특히 주행기능을 이용한 제품에 대한 요구가 높아질 것으로 예상된다[2].

또한, 주행기능을 구현하기 위해 하위 기술요소의 통합이 필요하고 로봇청소기, 감시로봇 등 다양한 주행 기반 제품이 등장함에 따라 표준화의 필요성이 증가할 것으로 예상된다.

따라서, 본 고에서는 주행 기술의 현재 수준과 동향, 그리고 관련 표준화 동향을 살펴봄으로써 로봇주행 기술의 산업적 응용 현황과 향후 발전가능성을 제시하고자 한다. 서론에 이어 II절에서는 주행 기술의 전반적인 개요를 기술하고 각 하위 요소기술에 대해 소개한다. III절에서는 주행 기술의 국내외 산업 동향에 대해 살펴보고자 한다. IV절에서는 주행 기술의 표준화 동향에 대해 소개한다. 마지막으로 V절에서는 향후 주행 기술의 발전방향 및 기술확보를 위해 제안하고자 한다. 참고로 본 고에서는 지상에서의 로봇주행 기술을 중심으로 다루며 수중, 공중에서의 로봇주행 기술은 다루지 않는다.



(그림 2) IT 융합형 로봇 시스템 구조 예시

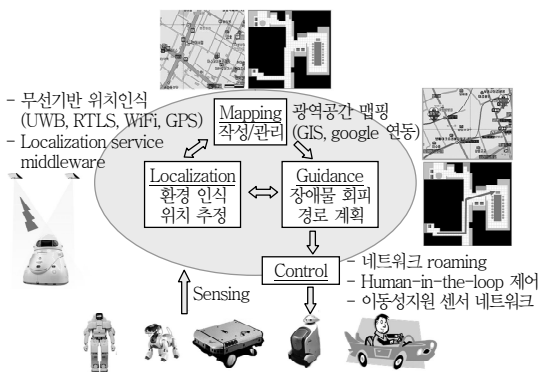
II. 로봇주행 기술 개요

1. 로봇주행 기술의 구조

(그림 3)은 로봇주행 기술의 일반적인 구조를 나타낸다. (그림 3)에서 위치인식(localization), 지도작성(mapping), 주행제어(guidance/control)는 차량용 내비게이션과 동일한 개념이지만 로봇의 특징은 각 요소 정보의 정밀도(level of detail), 공간인지 기반의 지역경로생성 및 자율제어로 요약이 가능하다. 특히, (그림 3)에 나타난 바와 같이, 전통적인 로봇요소 기술 외에 RTLS, WiFi, GIS, 센서 네트워크 등 대상 응용서비스에 따라 IT 기술과의 적극적인 융합을 통해 주행성능의 고도화가 가능하다[3].

로봇주행기능은 공간 정보의 활용방법에 따라 크게 세 가지 접근법으로 구분이 가능하다[4].³⁾

- 지도 기반 로봇주행(map-based navigation): CAD 데이터를 포함, 사용자가 사전에 제작한 지도 정보를 이용하는 주행방법이다. 차량용 주행지도도 지도의 사전제작방식을 활용하므로 이 범주에 속한다.



(그림 3) 로봇주행 기술의 구조

3) 본 절에서 제시한 분류는 주로 실내환경에서의 로봇주행과 관련된 것으로 실외환경인 경우 공간의 크기와 복잡도에 의해 실내환경에서의 분류기준을 그대로 적용하기에는 어려움이 존재한다.

- 지도작성 기반 로봇주행(map building-based navigation): 로봇이 미지의 환경에 대한 센싱 정보를 바탕으로 주행에 필요한 지도를 스스로 작성하는 방식이다. SLAM 이론이 개발되어 있으며 최근 로봇청소기도 SLAM 이론을 구현한 제품이 판매되고 있다.

- 지도를 사용하지 않는 로봇주행(mapless navigation): 주행 환경 내의 랜드마크(landmark)나 사물을 인식하여 주행하는 방식이다. optical flow, appearance-based matching, 사물인식 등 방법을 통해 로봇의 모션과 진행 방향을 결정한다.

이하, 본 절에서는 (그림 3)에 나타난 로봇주행 기술의 각 하위요소에 대하여 동향을 살펴본다.

2. 로봇 위치인식

로봇 위치인식은 이동로봇의 위치(position)와 방향(orientation)을 인식하거나 환경지도상에서 이동로봇의 위치와 방향을 파악하는 기술이다.⁴⁾

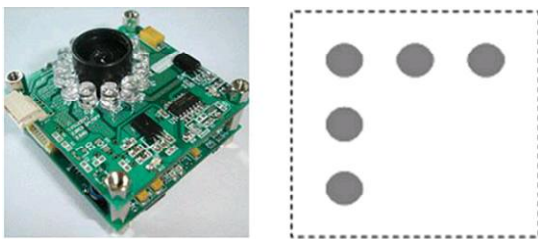
위치인식방법은 크게 상대위치인식 및 절대위치인식기술로 구분이 가능하다. 상대위치인식은 바퀴 인코더(encoder), 가속도/자이로 센서 등 로봇탑재 센서를 이용하여 로봇의 이동경로와 위치를 계산하는 추측항법(dead reckoning)방식을 의미한다. 한편, 절대위치인식은 GPS를 포함하여 레이저, 카메라, 초음파 등을 이용하여 환경을 직접 센싱하여 로봇의 위치와 방향을 계산하는 방식을 의미한다.

로봇 위치인식 방법은 지도 정보의 활용과 밀접한 연관을 가진다. SLAM 방식은 가정 내 제한된 크기

4) ISO/DIS 8373, ISO TC 184/SC 2/WG Robots and robotic devices-vocabulary, 2010. 09. 참고로, 이동로봇의 자세 (pose)를 결정하기 위해 위치정보와 방향각정보가 필요하지만 본 고에서는 위치인식기술로 통칭하여 부르기로 한다.

의 공간인 경우에 상용화가 되었다. 국내에서도 삼성 전자, LG전자가 천장의 영상특징점(feature)을 기반으로 랜드마크 지도를 생성하고 이를 기반으로 로봇의 현재 위치를 인식하여 청소효율을 높인 제품을 출시하였다. 최근 미국의 Neato Robotics사에서 저가의 가정용 LIDAR 센서(785nm 파장대의 근적외선 레이저로 인체에 무해한 class1급)를 개발하여 레이저 기반의 SLAM을 구현한 제품을 출시하였다. 이것은 SLAM 구현을 위한 레이저 센서의 가격 경쟁력을 확보한 것으로 기존 제품 대비 한 단계 기술적 완성도를 높인 것으로 판단된다.

재귀반사 광학방식의 실내위치인식센서는 국내에서 생산하고 있는 StarGazer 제품이 폭넓게 이용되고 있다(그림 4) 참조). 이 제품은 천장에 별도의 적외선 반사패턴을 부착하고 로봇에 장착된 카메라를 이용하여 해당 반사패턴을 획득하고 획득된 영상을 분석하여 로봇의 현재 위치를 파악하는 방식이다. 약 4미터 이내의 천장 높이를 가지는 공간에서 안정적으로 동작을 하며 5cm 이내의 정확도를 제공한다. (그림 5)는 2009년도에 인천의 일명 미래도시에 투



(그림 4) StarGazer카메라부와 적외선 반사패턴의 예



(그림 5) 인천미래도시 서비스 로봇의 예

입되었던 로봇을 나타낸 것으로 모두 StarGazer를 탑재하여 위치인식기능을 구현하고 있다.

한편, 공간의 규모가 커지고 구조가 복잡해지는 경우(예를 들어, 공항, 터미널, 쇼핑몰 등 방문객이 많고 랜드마크 부착방법이 공간의 규모에 따라 비경제적인 경우)에 대한 위치인식기술은 미흡한 상태로 향후 개발이 필요한 부분이다. 하지만, 물류, 교통 등 환경을 변형하더라도 생산성 확보가 중요한 경우에는 RFID나 마그네틱 모듈을 바닥에 설치하여 로봇의 위치를 인식하는 방법을 사용하고 있다. (그림 6)은 최근 네덜란드의 2getthere사에서 중동의 아부다비에 설치한 무인셔틀 시스템으로 마그네틱 경로를 설치하여 최대속도 40km/h로 약 50km 구간을 운행하고 있다.

한편, 실외환경의 경우에 로봇 위치인식은 대부분 GPS 정보에 의존하고 있으나 로봇의 주행제어를 위한 정확도를 이용하기 위해서 고가의 DGPS 장비를 사용해야 하므로 국방로봇 등 별도 분야를 제외하면 민수 분야 적용에 어려움이 존재한다. 특수한 사례로, 미국 JohnDeer사의 경우 자체 위성네트워크를 구축하여 StarFire GPS라는 제품을 자사의 농업용 무인 트랙터에 탑재하고 있으며 별도 지상보정국 없이 약 15cm 이내의 오차를 보이는 수준까지 도달하였다.

GPS 정보를 제외하면 현재 대부분의 위치인식기술은 비전 혹은 레이저 센서를 이용하여 구현되고 있다. 건물 외곽 등 GPS 음영지역이나 농축산 환경과



(그림 6) PRT 시스템의 예

같이 GSP 신호를 수신하기 어려운 경우에 visual odometry나 레이저 기반의 odometry 기술이 개발되고 있다. 최근 미국 카네기 멜론 대학에서 스테레오 카메라를 이용한 경우에 이동거리의 1% 이내의 오차 성능을 가지는 기술을 발표한 바 있다[5]. 단일 카메라를 이용한 visual odometry 기술은 스테레오 시스템에 비하여 가격 및 캘리브레이션 등 연관된 복잡도를 줄이는 긍정적인 효과가 있으나 스테레오에 비해 거리오차가 비교적 크게 발생하고 카메라 위치에 따라 이른바 scale ambiguity 문제를 해결하여야 한다. <표 1>은 visual odometry를 이용한 로봇 위치인식 기술의 최신동향을 나타낸다.

한편, 영상자체를 인식하는 scene understanding 기반의 절대위치 인식기술은 GPS 수신환경과 무관하게 적용 가능한 장점이 있으나 환경 특징점 추출, 매칭 등의 과정에서 연산부하가 클 뿐만 아니라 약 5m 내외의 위치오차성능을 가지므로 로봇의 주행 제어에는 미흡한 실정이다. 최근에 프랑스 INRIA에서는 레이저 스캐너를 장착한 로봇차량을 이용하여 주변환경 정보를 획득한 후 구글의 GIS 정보와 매칭하여 로봇의 절대위치를 정확히 보정하는 방식을 시연한 바 있다.

<표 1> 최근 Visual Odometry 기술의 성능 예시

	ETRI	ETH	Karlsruhe Univ.	CMU
이미징 방법	싱글	360°	스테레오	스테레오
데이터셋	Karlsruhe Dataset	자체	Karlsruhe Dataset	자체
이동거리	93.65m	3km	2km	2.5km, 5.6km, 20km
에러율(%)	3.5 %	3.3 %	1.6 ~ 5%	3.24 %, 0.67%, 5.9%

3. 로봇 맵핑

맵핑은 로봇이 센싱한 환경 정보로부터 기하학적 정보나 특징점(feature)을 추출하여 로봇이 이해가능

한 형태의 데이터로 변환하는 과정이다. 일반적으로 로봇주행 기술에 있어서 맵핑(혹은 공간표현(spatial representation))과정은 크게 세 가지 다른 방법으로 공간을 표현한다. 즉, 공간분할(spatial decomposition), 기하(geometric map), 혹은 위상지도(topological map)로 구분 가능하다[6]. 최근에는 공간의미 정보(spatial semantic information)를 고려한 지도 구축기술이 관심을 받고 있으나 연구개발 초기단계이다.

점유격자지도(occupancy grid map)는 공간을 일정한 크기의 격자로 나누고 로봇이 주행 가능한 free space와 장애물 혹은 구조물로 점유되어 있는 occupied space로 구분하여 표현한다. 이 방법은 매우 직관적이고 임의의 공간구조를 표현 가능하므로 80년대부터 현재까지 폭넓게 활용되고 있다. 하지만, 공간의 크기가 커지게 되면 저장용량 문제가 발생하고 격자의 크기에 따른 지도품질의 변화가 발생할 가능성이 존재한다.

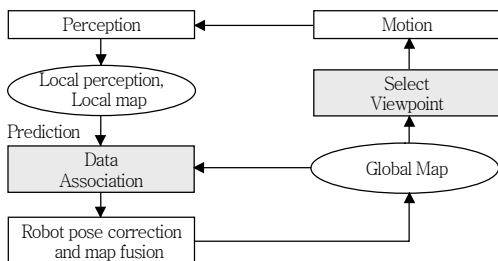
한편, 기하지도는 공간 내 구조물을 구성하는 점, 선, 다각형 등 로봇 탑재 센서로 인식이 가능한 특징점으로 구성된다. 점유격자지도에 비해 지도데이터의 용량을 줄일 수 있고 표현이 간단해 지는 장점이 있으나 로봇센서의 특성에 의존하고 시점(viewpoint)에 따라 안정적인 활용에 어려움이 존재한다.

점유격자지도와 기하지도는 통틀어서 metric 지도로 불리며 이와 다르게 위상지도는 영역 혹은 물체 간의 관계성을 바탕으로 생성된 지도이다. 로봇주행 관점에서 위상지도는 point-to-point 모션 기반의 주행제어에 적합하다. 주로 복수개의 별개 공간/영역으로 구성된 대규모 환경에 적합하며 개별 공간은 점유격자지도로 표현하되, 공간 사이의 관계는 위상지도로 표현하는 하이브리드 지도 또한 로봇주행에 많이 활용되고 있다[7].

로봇주행을 위한 환경지도는 미리 제작되어 로봇에 입력하는 방법을 통해 우수한 품질의 지도를 활용하고 위치인식, 나아가 주행성능의 품질을 보장한다. 하지만, 개인용 서비스 로봇의 경우 공간지도를 미리 제작하여 공급하는 것은 서비스 인력 관리, 개인 정보 등의 문제로 적용에 어려움이 존재한다. SLAM 기술은 이러한 용도에 적합한 최신 기술로서 앞에서 언급한 바와 같이 일부 상용 제품에 기술이 구현되어 사용이 되고 있다. (그림 7)은 SLAM과정을 나타낸다.

(그림 7)에 나타낸 바와 같이 로봇이 자동으로 환경지도를 구축하기 위해서 환경 특징점에 대한 안정적인 추적(그림 7)에서 Data Association)이 보장되어야 하며, 임의의 환경에서 로봇(즉, 센서)의 시점(viewpoint)을 능동적으로 결정해야 하는 어려움이 존재한다. 특히, 공공장소, 움직임이 많은 공장 등 동적 객체가 다수 존재하는 환경에서 정적 특징점을 안정적으로 추출하는 것은 매우 어려운 일이다[8].

맵핑 기술의 특징을 요약해 나타내고 있다. (그림 8)에서 알 수 있듯이 공간의 규모가 커질수록 사람을 포함한 동적 객체의 수가 증가하고 3차원 구조물(예를 들어, 계단, 경사 등)이 존재할 확률이 높아지게 되어 자동 맵핑의 적용은 어려워진다. 따라서, (그림 8)을 따르면, 공간이 커질수록 공간의 표현은 metric 지도와 위성지도를 혼합하는 것이 유리하고 CAD 데이터 등 사전 제작된 지도를 활용한 로봇주행기능을 구현하는 것이 편리하다. 실제로 (그림 5)에 나타낸 인

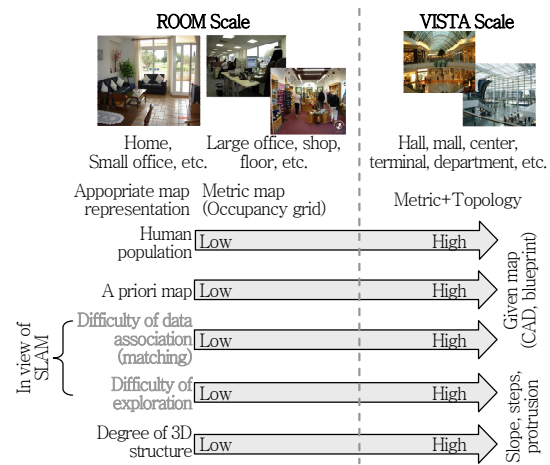


(그림 7) SLAM 알고리즘의 구조

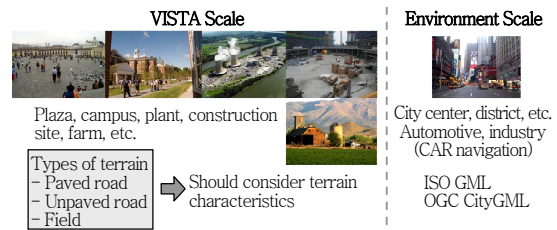
천도시축전에 투입된 서비스 로봇의 경우 31,760m²의 규모의 공간 크기에서 주행을 하였고 건물의 CAD 데이터를 기반으로 랜드마크 지도를 추가로 제작하는 방식을 사용하였다.

한편, (그림 9)는 실외공간의 경우를 나타낸 것으로 2D 공간에 적합한 SLAM 기술은 현재의 수준으로 적용하기 어렵다. 특히, 3차원 구조가 혼하게 존재하므로 기존의 점유격자지도 형태는 적용하기 어렵게 된다. Elevation 지도, 3차원 격자, 매시 등의 방법이 적용되기 시작하였으며 점차적으로 GIS 분야의 기술의 채택이 예상된다.

실제로 OGC에서는 CityGML을 표준화 완료하였고 현재 실내공간에 대한 공간표현규격까지 표준화(일명 IndoorGML)를 진행하고 있는 실정이다. 로봇주행 관점에서 고려해야 할 것은 기존의 OGC 표준규격의 로봇주행적용을 위한 분석을 통해 타 기술분



(그림 8) 실내공간의 규모에 따른 로봇 맵핑 기술의 특징



(그림 9) 실외공간의 규모에 따른 로봇 맵핑 기술의 특징

야의 축적된 노하우와 체계를 손쉽게 이용 가능할 것이다. 실제로 실외환경 로봇주행의 경우에 농업, 물류, 감시정찰 등 다양한 분야에서 GIS 지도를 이용하고 있다.

4. 로봇주행 제어

로봇주행 제어는 주어진 환경지도를 기반으로 현재의 위치로부터 목적지까지 주행경로를 생성하고 경로를 추종하여 제어하는 기능을 의미한다. 또한, 경로를 따라 이동 중 장애물이 발견되면 스스로 지역경로를 생성하여 회피하거나 상황에 맞도록 적절한 행동을 취하는 모션제어기능을 포함한다.

공간을 표현하는 방법에 따라 다양한 경로생성기법이 개발되었고 위에서 설명한 바와 같이 격자형태의 분할(decomposition), 위상지도형태의 road map

지도, potential field 형태로 표현하는 방법이 사용된다. 실외환경의 경우 3차원 요소와 로봇 플랫폼의 기구학적 제한 요소를 고려하여야 한다. 따라서, 2차원 공간에서의 경로생성보다 고차원 공간에서의 경로탐색 알고리즘이 실행되어야 하므로 계산부하에 대한 고려가 필요하다. 이와 관련하여, 샘플링 기반의 RRT 나 PRM에 대한 실용화 연구가 진행 중이다.

주행제어를 위해 앞에서 설명한 로봇 위치인식 및 로봇 지도(혹은 맵핑) 기술이 필요하게 되며 현재 상용화 제품은 대부분 2D 공간에 대한 주행제어기능을 중심으로 로봇주행 SW를 판매하고 있다. <표 2>은 최근에 상용화되었거나 오픈소스로 제공되고 있는 주행 SW를 나타내고 있다. 이 외에도 미국 Evolution Robotics사의 ERSP 주행 SW가 있으며 최근 Willow Garage사의 ROS가 오픈 소스 기반으로 학계와 산업계의 폭넓은 사용자층을 형성해 가고 있다.

<표 2> 로봇주행 SW의 기능비교 예시

Short Name	uRON	CARMEN	Karto SDK	MRPT
Full Name	Universal Robot Navigation	Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit	Karto SDK	Mobile Robot Programming Toolkit
Homepage	http://robotask.etri.re.kr/wiki/uRON	http://carmen.sourceforge.net/	http://www.kartorobotics.com/	http://www.mrpt.org/
Developer	ETRI, Republic of Korea	Open Source (CMU, USA)	Karto Robotics (SRI International, USA)	Open Source (Univ. of Malaga, Spain)
Licence	-	GPL	LGPL/Commercial	GPL
First Version	1.0(2009. 12. 18.)	0.1(2004. 10. 15.)	1.0.0(2008. 12. 10.)	0.5.3(2008. 1. 31.)
Recent Version	1.5(2010. 8. 26.)	0.7.4-beta(2008. 10. 23)	2.0.1(2010. 7. 22.)	0.9.2(2010. 10. 28.)
Language	C++	C	C++	C++
Supported Languages	-	C++, Java, Python	C#	
Operating Systems	Windows/Linux	Linux	Windows/Linux/Mac	Windows/Linux/Mac
Features	Grid and Topology Maps Localization Path Planning Path Following Obstacle Avoidance Navigation Framework Kinematics/Mathematics Simulator Grid Map Editor	Localization(localize) Mapping(vasco) Path Planning(navigator) Obstacle Avoidance (navigator) People Tracking Parameter Server (param_daemon) Logger(logger, logtools) Simulator(simulator) Map Editor(mapeditor, maptools)	Localization (karto::Localizer) Mapping (karto::mapper::Mapper) Exploration (karto::explorer::Explorer) Path Planning with Obstacle Avoidance (karto::pathplanner::PathPlanner) Core Support Library	Localization, Mapping, and SLAM Path Planning Obstacle Avoidance Geometry Random Variable Bayesian Inference Image Processing Visualization

(계속)

(계속) <표 2> 로봇주행 SW의 기능비교 예시

Short Name	uRON	CARMEN	Karto SDK	MRPT
Map	<Grid Map> Binary Grid Map Occupancy Grid Map <Topology Map> Road Map	Occupancy Grid Map (maptools) Hierarchical Map(hmap)	Occupancy Grid Map (karto::OccupancyGrid) Incremental Occupancy Grid Map (karto::IncrementalOccupancyGrid)	<Metric Map> (mrpt::slam::CMetricMap) Occupancy Grid Map Multiple Metric Map Hierarchical Metric Map (HMT-SLAM Map) Graph-SLAM Map
Localization	EKF Localization	MCL	MCL (karto::localizer::Localizer)	MCL
Path Planning	<Grid Map> A* Extended A* Theta* Extended Theta* CFA* <Topology Map> Dijkstra's Algorithm A*	Gradient Method (navigator)	Global/Local Path Planning Frontier-based Exploration	Value Iteration Algorithm
Path Following Obstacle Avoidance	<Path Following> Pure Pursuit Extended Pure Pursuit Smooth Path Tracker using Landing Concept <Obstacle Avoidance> Pause and Resume VFH+	PD Controller(robot) Replanning(navigator)		<Obstacle Avoidance> PTG-based Reactive Navigation Nearness Diagram VFF (mrpt::reactivenav::CHolonomicVFF)

III. 로봇주행 산업 동향

로봇주행 기술의 연구동향은 II절에서 간략하게 살펴보았고 본 절에서는 로봇주행 기술의 산업제품 응용동향을 살펴본다. 이를 통해 II절에서 소개한 로봇주행 기술이 어떤 형태로, 혹은 어떤 수준으로 적용되고 있는 지 동향을 파악하고자 한다. 산업제품의 분류는 IFR에서 발간하는 World Robotics 통계 보고서의 분류 체계를 따른다.

우선, 개인용 서비스 로봇의 경우에 로봇주행 기술이 적용된 제품군은 청소로봇, 제초로봇, 탑승로봇, 가정용 보안로봇으로 구별된다.

청소로봇은 미국의 iROBOT사에서 개발한 룸바 시리즈가 유명하다. II절에서 언급한 바와 같이 국내에서 개발한 청소로봇의 경우 천장 영상 특징점을 이용한 SLAM 기술이 적용되어 실내 2차원 공간에서

수행하는 고난이도 주행 기술이 구현되어 있다. Neato Robotics사에서 저가형 LIDAR를 탑재하여 SLAM 기술을 구현하여 매우 효과적인 청소 경로를 생성한다.

제초로봇의 경우 주로 개인 정원, 골프장 등의 잔디를 자동으로 깎는 로봇으로 이스라엘의 Friendly Robotics, 스웨덴의 Husqvarna, 미국의 Precise Path에서 상용화하였다. 대부분 잔디장 주변에 전선을 설치하여 작업영역을 인식하도록 하며(위치인식 및 맵핑), 임의의 주행경로를 생성하여 잔디를 깎는다. Precise Path사의 RG3는 이와는 다르게 잔디장에 4개의 비컨을 설치하고 초음파와 적외선센서로 이를 감지하여 위치를 인식하여 정밀한 주행동작을 제어한다.

탑승형 로봇은 프랑스의 RoboSoft, 네덜란드의 2getthere에서 상용 제품을 개발하였다. RoboSoft

의 경우 전자유도 혹은 GPS 기반의 위치인식, 레이저 혹은 초음파 기반의 주행제어가 가능한 플랫폼이다. 2getthere사는 주행공간의 바닥에 마그네틱 모듈을 설치하여 일종의 추측항법으로 주행한다.

가정용 보안로봇은 일명 텔레프레즌스 로봇으로 스웨덴의 Giraff Technologies, 홍콩소재 WowWee 등에서 개발하였다. 전자의 경우 원격제어를 통한 수동방식이 사용되고 있으나 WowWee의 Rovio의 경우 미국 Evolution Robotics사의 NorthStart 센서를 이용하여 정밀한 위치인식이 가능하다.

한편, 전문서비스 로봇의 경우에 로봇주행 기술이 적용된 제품군은 보다 다양하며 시장의 규모도 상대적으로 크다. 로봇주행이 적용된 제품군은 농업, 물류, 재난/방재, 국방로봇이 대표적이다.

농업용 로봇의 경우에 주로 비정형환경에서 동작해야 하므로 자율주행의 기술적 난이도가 높은 반면, 센서류 및 시스템이 고가이다. 예를 들어, 로봇 트랙터의 경우 미국의 John Deer, 카네기 멜론대, 일리노이대, 일본의 홋카이도대, 동경대, 국립농업연구센터, 국내에서도 농업기계화연구소 등에서 자율주행 기술을 구현한 바 있다. 하지만, 고가의 GPS 장비, 레이저 스캐너 등이 소요되어 본격적인 시장형성이 되지 않고 있다. 고령화 대비, 노동비용 절감, 생산성 제고 등의 뚜렷한 목적과 시장이 있음에도 불구하고 현재의 기술을 보다 경제적으로 구현하기 위한 연구개발이 필요하다.

물류로봇의 경우에는 사무실, 병원, 공장 등에서 재료나 자재를 운반하는 것으로 미국 Aethon사의 The Tug, 스위스 Swisslog사의 TransCar 등이 대표적이다. 두 경우 모두 건물 내부의 전자지도를 내장하고 있으며 로봇에 장착된 레이저 센서를 이용하여 장애물 감지 및 회피기능을 한다. 또한 천장에 별도의 위치인식용 비콘을 설치하여 로봇의 위치를 인식하

는 방식을 채택하고 있다. 물류로봇의 경우에는 II절에서 설명한 위치인식, 지도 기반 로봇주행의 전형적인 구현모습을 보인다.

재난/방재로봇의 경우 화재진압, 감시정찰로봇이 포함되며 일본 Komatsu, 국내의 경우 호야로봇, 동일파텍에서 화재진압로봇을 개발한 바 있다. 하지만, 자율주행기능은 매우 제한적이며 주로 원격조작으로 주행을 한다. 감시정찰로봇의 경우 일본의 Tmsuk, 세콤, 스웨덴의 Rotundus 등 비교적 많은 업체에서 제품을 개발하였다. 대부분의 경우, 감시정찰 구역에 대한 지도를 미리 내장하고 있으며 실외의 경우에 GPS 정보와 미리 알고 있는 구조물의 레이저 센서 데이터 매칭 등을 통해 위치인식을 수행한다. 실내의 경우에는 벽면을 레이저 센서로 인식하는 방식을 이용하는 경우가 많다.

이 외에도 국방로봇, 건설로봇 등 다양한 적용제품이 있으나 앞에서 언급한 로봇제품군의 주행 기술 구현방식과 유사하다. 즉, 전문서비스 로봇의 경우에는 SLAM과 같은 자동지도작성 기능을 이용하는 경우는 거의 없으며 별도의 위치인식 비콘이나 알려진 지도상의 지형지물을 인식하는 방식을 사용하고 있다. 이것은 전문서비스 로봇의 경우 주행을 위한 인프라 구축 비용, 지도제작 비용 등이 이를 통해 얻게 되는 작업 생산성 증가, 비용절감 효과에 의해 상쇄되고 작업결과의 신뢰성이 중요하기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 로봇주행 표준화 동향

본 절에서는 II절에서 소개한 로봇주행 기술의 표준화 동향에 대해 살펴본다.

현재 로봇주행 기술의 표준화는 II절에 소개한 하위 기술별로 진행이 되고 있다. 실제로 주행 기술의

특성상 II절의 기술들이 하위요소로 취급되었으나 각 하위 요소기술 자체가 비중이 큰 연구주제이다.

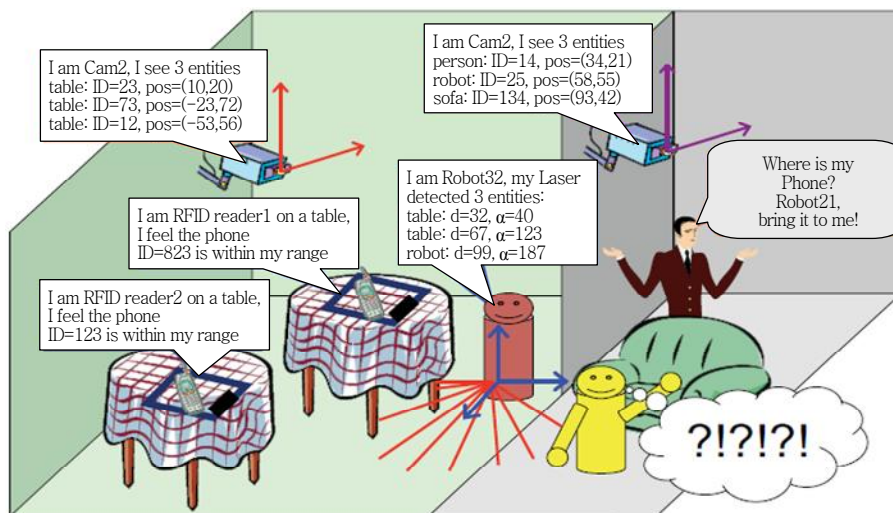
우선, 로봇 위치인식기술은 민간표준단체인 OMG 을 통해 2010년에 최종 표준안으로 등록이 되었다. 로봇 위치인식기술의 OMG 공식명칭은 ‘Robotic Localization Service(이하, RLS)’ 규격으로 ETRI, 삼성전자, 일본의 JARA가 공동으로 제안을 하였다.

이미 알려진 바와 같이, ISO에서는 GPS positioning에 대한 국제표준이 확립되어 있고 GIS 분야에서 위치 관련 표준안이 제정되었거나 진행 중이다. II절의 도입부에 소개한 바와 같이 로봇주행에 이를 적용하기 위해서는 정밀도(level of detail) 이슈가 발생하게 되고 실질적으로 로봇 응용에 적합한 규격이 존재하지 않는다. OMG RLS는 이러한 배경으로 2006년도부터 표준화 활동이 시작되었고, 직접적인 목표인 로봇 위치인식뿐만 아니라 센서 네트워크, 네트워크로봇, 로봇을 포함한 일반적인 위치인식 응용 서비스의 적용을 염두에 두고 개발이 되었다(그림 10) 참조). 따라서 OMG RLS를 이용하여 기존의 ISO, GIS규격의 positioning 및 응용서비스 개발도 가능하다.

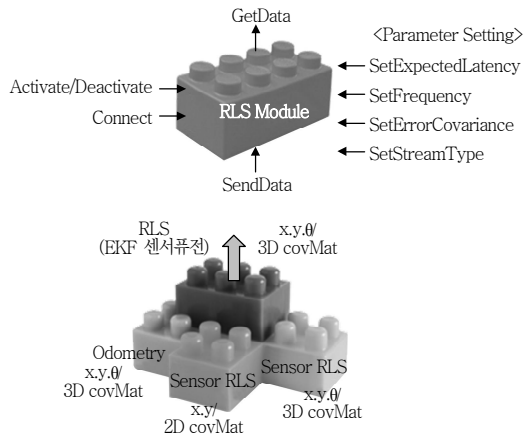
RLS의 특징은 로봇주행과 관련된 고유의 데이터 처리방식을 반영한 것이다. 즉, 전역 좌표계를 포함하여 이동 좌표계 설정, 좌표계 간의 변환, 위치 정보에 대한 여러 확률표현, 이종 센서 간의 융합구조를 기술하고 있다.

RLS 표준규격을 통해 개별 로봇센서는 RLS 단위 모듈로 표현이 된다. 특히, 로봇주행의 경우에 인코더와 같은 odometry 정보, 절대위치인식센서 정보(예를 들어, StarGazer), 레이저 매칭 기반의 로봇 위치 인식 정보가 RLS 단위 모듈이 되고, 센서융합을 위한 별도의 RLS 모듈과 연결시킴으로써 로봇 응용에서 필요한 최종적인 위치 정보를 획득하는 데이터 구조를 구현하게 된다. 사용자 혹은 개발자 입장에서는 각 RLS 모듈에 대한 인터페이스 규격만을 준수하면 손쉽게 위치인식 정보를 획득하게 되며, 각 RLS 모듈에 고유한 알고리즘에 대해서는 고려하지 않아도 된다. (그림 11)는 RLS 규격에 기반하여 실제의 로봇주행 시스템에 구현한 사례를 개념적으로 나타내고 있다.

한편, 2010년부터 IEEE를 통해 로봇지도에 대한 표준화 활동이 전개되고 있다. 현재 IEEE RAS가 기술후원 역할을 하고 있으며 ‘Robot Map Data Rep-



(그림 10) 위치 정보를 이용한 로봇 응용 서비스 예시[9]



(그림 11) RLS 규격의 구현 사례

resentation for Navigation(이하 MDR)’이라는 명칭으로 표준화를 위한 워킹그룹이 구축되고 있다. 이것은 2011년 하반기에는 완료가 되어 2012년부터 본격적인 표준안작업을 위한 워킹그룹 활동이 시작될 것으로 예상된다.

MDR 워킹그룹의 작업범위는 현재 아래와 같이 정의되어 있다.

- 로봇지도 관련 용어정의
- 관련 업계의 로봇주행용 지도활용 사례 및 타 표준화 단체의 선행규격 분석
- 2D 공간에 대한 격자지도, 위상지도에 대한 표준안 작성
- 로봇을 포함한 컴퓨터, 디바이스 간 지도 정보 교환을 위한 인터페이스 규격 수립

특히, 3차원 지도에 대한 업계, 학계의 관심이 높은 상태이나 우선적으로 비교적 규격안 수립이 수월한 2차원 공간에 대해 작업을 진행하고 있다. 로봇지도 표준화에는 국내에서 ETRI와 한국로봇산업협회가 참여하고 있으며 미국 NIST, PARC, 일본 AIST 등이 큰 관심을 가지고 활동을 하고 있다.

한편, 기존의 공간지도 표준안과 관련하여 OGC에서 CityGML, IndoorGML 등을 표준 제정하였거나

진행 중인 상태로 로봇용 지도의 경우, 특히 실외환경에 대해서는 기존 안의 도입 타당성에 대한 검토가 필요한 상태이다.

로봇용 지도에 대한 표준안이 확립되면 로봇주행 기술에 대한 핵심요소는 표준화 작업이 완료되는 셈이다. III절에서 살펴보았듯이 현재 서비스 로봇 제품의 경우에 로봇주행 기술은 대부분 2차원 공간 혹은 2차원 공간으로 근사가 가능한 단순한 3차원 공간(예를 들어, 일반 포장도로)을 대상으로 하고 있다. 본격적인 3차원 응용 기술의 대상인 농업로봇, 국방로봇은 시장이 형성되지 않았거나 민간표준안을 채택하기에 어려운 시장의 특수성이 존재한다. 따라서, 로봇용 지도의 경우에 현재 추진되고 있는 작업의 범위가 2차원 공간만을 대상으로 하고 있으나 이것은 향후 개정을 통해 반영이 가능한 부분이고 시장의 상황을 고려하는 것이 좋을 것이다.

V. 로봇주행 기술 향후 전망

본 고에서는 로봇주행 기술의 개요와 주행 시스템을 구성하는 하위 핵심요소 기술의 동향에 대해 살펴보았다. 이와 함께, 로봇주행기능을 탑재한 산업 응용 제품 동향과 표준화 동향에 대해 소개하였다.

이미 언급한 바와 같이 고령화, 인건비 상승, 생산성 증대 요구 등의 이유로 기존 산업 및 서비스구조의 변화가 일어나고 있다. 로봇주행기능은 로봇의 대표적인 특성으로 이동성(mobility)을 기반으로 기존 제품의 개량 혹은 신제품의 등장을 기대하게 만든다.

로봇주행은 최근의 무인주행차량 기술, 군사로봇, 물류/교통로봇, 그리고 향후 농업로봇에 이르기까지 기술 성숙도에 따라 광범위한 적용시장을 창출하는 기술로 연구개발을 통한 산업원천기술을 확보하는 것이 중요하다. 향후 관련 시장의 확대를 위해 대형

실내공간 내 자율주행 및 정형/비정형 실외공간에서의 자율주행 기술의 확보가 필요하다. 아울러, 로봇주행에 사용되는 비전, 3D 레이저 스캐너 등 핵심센서 및 부품에 대한 기술확보를 병행하는 것이 중요하므로 중장기 기술개발 로드맵 및 확보전략이 필요하다.

● 용어해설 ●

Odometry: 이동로봇의 바퀴에 설치된 인코더 정보로부터 출발 지점으로부터 로봇의 상대위치와 방향각을 추정하는 것을 의미함(인코더 대신 카메라를 사용하는 경우 visual odometry로 지칭).

SLAM: 미지의 환경에서 로봇이 스스로 환경지도를 작성해 나가면서 로봇의 위치를 동시에 파악하는 기술을 의미함.

약어 정리

DGPS	Differential Global Positioning System
EKF	Extended Kalman Filter
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
IFR	International Federation of Robotics
LIDAR	Light Detection And Ranging
MCL	Monte Carlo Localization
MDR	Robot Map Data Representation for Navigation
OGC	Open Geospatial Consortium
OMG	Object Management Group
PRM	Probabilistic Roadmap Method
PRT	Personal Rapid Transit
RAS	Robotics & Automation Society
RLS	Robotic Localization Service
RRT	Rapidly-exploring Random Tree

RTLS	Real-Time Locating System
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping

참고 문헌

- [1] Rodney Brooks, "Adaptive, Intelligent Robotics Systems: Societal and Commercial Implications," *Proc. Emerging Robot. Technol. Appl.*, 2004.
- [2] 현대경제연구원, "로봇시장 창출을 위한 산업융합 방안연구," 2009. 12.
- [3] Wonpil Yu et al., "Design and implementation of a ubiquitous robotic space," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 633-640, 2009.
- [4] Guiherme N. DeSouza and Avinash C. Kak, "Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 24, no. 2, 2002.
- [5] Andrew D. Chambers et al., "Perception for a River Mapping Robot," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst. (IROS)*, Sept. 2011.
- [6] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*, Cambridge University Press, 2000, pp. 121-130.
- [7] M. Bosse et al., "An Atlas Framework for Scalable Mapping," *IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA)*, Sept. 2003.
- [8] Margaret E. Jefferies and Wai-Kiang Yeap (Eds.), *Robotics and Cognitive Approaches to Spatial Mapping*, Springer, 2008.
- [9] Shuichi Nishio et al., "Robotic Localization Service Standard for Ubiquitous Network Robots," *Rob. 2010 Curr. Future Challenges*, Housseem Abdellatif (Ed.), INTECH, 2010.