

Navigation

이 글에서는 자율이동에 대한 기본적인 개념 및 기술의 정의와 범위에 대하여 설명하며, 각 기술에 대한 최근의 연구 동향에 대하여 최근 발표된 논문을 중심으로 설명한다. 특히 각 기술에 대한 로드맵을 논문, 특허, 발표자료 등을 참조하여 작성하였다.

글 · 노경식 / 삼성종합기술원, 전문연구원
e-mail · kyung.roh@samsung.

Navigation 개요

Navigation이라고 하는 용어는 매우 다양한 분야에서 여러 가지 의미로 사용되고 있다.

예를 들어, 차량에 장착되어 운전자에게 지리 및 교통정보를 알려 주는 car navigation system, 미사일 등의 비행체가 원하는 곳으로 이동하기 위한 navigation system, PDA나 휴대폰 등 portable 전자 기기의 입력을 위한 Pen입력장치에 사용되는 Pen궤적 추적 장치, 개인의 운동량을 측정하거나, 해저탐사, 등산 시 사용되는 personal navigation system, 가상현실게임 등 매우 다양한 분야에서 navigation 기술이 사용되고 있다.

최근 지능 로봇에 대한 관심이 높아지면서, 다양한 형태와 다양한 기능의 지능 로봇이 개발되고 소개되고 있다. 이러한 지능 로봇이 기본적으로 갖추어야 할 기능 중의 하나도 navigation 기능이다.

이 글에서는 지능 로봇의 navigation을 위한 핵심기술 및 선진 연구기관들의 연구 결과를 살펴보고자 한다.

Navigation의 정의 및 주요 기능

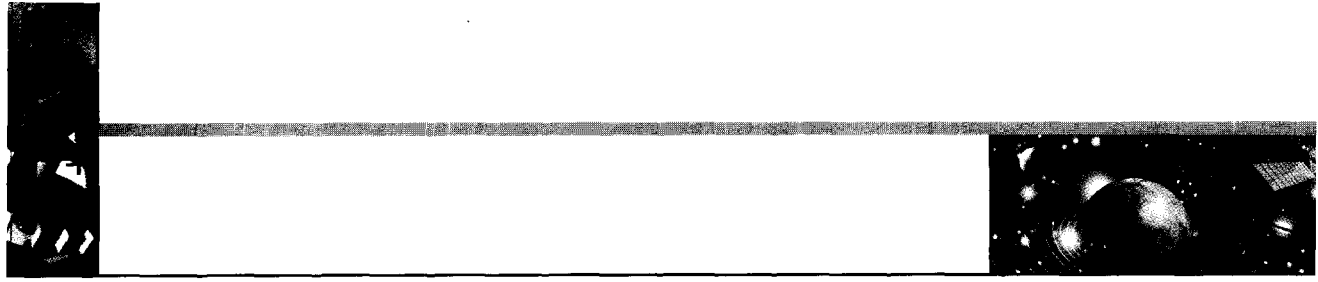
Navigation은 아주 오래 전부터 시작되

었는데, 지도를 보다 효율적이며, 정확하게 만들고, 만들어진 지도를 이용하여 현재의 위치를 정확하게 찾아내고, 원하는 목적지까지 최적의 경로를 계획하고, 최적의 경로를 따라 이동하며, 발생하는 장애 요인들을 극복하는 일련의 작업들이 navigation 연구에서 취급되는 모든 것이라 할 수 있다.

Navigation에 대한 정의를 여러 대가들에 의해 다양하게 정의되었으나, 가장 공통적인 의견을 반영하여 정의된 것 중의 하나는 다음과 같다.

“The Robot is placed in an environment that is unknown, large, complex and dynamic. After a time needed by the robot to explore the environment, the robot must be able to go to any selected place, trying to minimize a cost function (e.g. time, energy, etc).”⁽¹⁾

이 navigation에 대한 정의를 핵심기능으로 분류하면, unknown환경에 대한 정의를 하는 map building, 현재 위치를 파악하는 localization(또는 positioning), 장애물을 검지하고 회피하는 obstacle avoidance, 경로 계획을 세우는 path planning으로 분류할 수 있다.



환경을 표현하기 위한 기능인 map의 형태는 수행하는 작업의 상황에 따라 다양한 표현방법이 존재하는데, cell decomposition models, geometric models, topological models로 크게 분류할 수 있다⁽¹⁾.

cell decomposition model은 환경을 cell에 의해 표현하는 것으로서 물체에 대한 정보를 정확하게 표현할 수 없으나, 복잡한 물체를 매우 간단하게 표현할 수 있다는 장점을 갖는다.

대표적으로 occupancy probability map⁽²⁾, accumulation map⁽³⁾, elevation map^(4,5) 등의 연구 결과가 발표되었다.

Geometric model은 환경을 기하학적으로 표현하는 방법으로서 일반적으로 함수로 표현하기 보다는 요소들의 배열로 간단히 표현하는 Image model이 많이 사용된다⁽⁶⁻⁸⁾.

Topological model은 상관관계로 표현하는 것으로서 환경을 metric하게 표현하기보다는 정성적으로 표현하는 방식이다.^(9,10)

로봇의 현재 위치를 인식하기 위한 localization기능은 환경과 사용하는 sensor의 종류에 따라 다양한 방법들의 존재한다. J.Borenstein⁽¹¹⁾은 로봇에 적용 가능한 sensor 및 그 sensor를 이용한 localization방법에 대한 분류 및 분석을 자세하고 폭 넓게 정리하였다.

이 논문을 참조로 하여 localization방법을 sensor의 종류에 따라 분류하면 상대적인 localization과 절대적인 localization으로 분류할 수 있으며, 환경과의

interaction이 있는 경우와 로봇 자체에 장착하여 사용되는 sensor로 분류할 수 있다. 표 1은 이러한 sensor와 자기인식 방법간의 관계를 보여 주고 있다.

이와는 별도로 자율이동의 난이도에 따라 자기위치인식 방법을 분류하면 다음과 같다.

로봇 자체에 부착된 주행거리계(odometry)나 관성센서를 이용한 추측항법(dead reckoning)방법, 미리 정해진 경로를 지정하여 이 지정된 경로를 따라 이동하는 안내길(guided lane)방법, 이동 경로의 주변 환경에 이동 로봇과 정보를 주고 받으며, 자기 위치에 대한 정보를 얻어 이동하는 능동비콘(active beacon)방법, 환경에 미리 정의된 표식을 부착한 후, 로봇이 이동하며, 이 표식을 인식하고, 인식된 표식으로부터 로봇의 위치를 파악함으로써 이동하는 수동인공표식(passive artificial landmark)방법, 환경에 아무런 표식을 부착하지 않고, 환경 자체를 인식하여 자기 위치를 파악하는 수동자연표식(passive natural landmark)방법이 있다.

인공표식 방법에 대한 여러가지 연구 결과가 발표되었으며, 환경에 따라 다양한 효율적인 표식들이 제안되었다.

경로계획 문제는 최기의 위치로부터 최종 목적지까지 도달하기 위하여 충돌회피 계획을 세우는 것으로서 크게 로드맵(roadmap),

	Self-Contained Sensor	Interaction Sensor
Relative Localization	Accelerometer, Gyro	SONAR, IR, Laser, Doppler
Absolute Localization	Magnetic Compass Accelerometer(Tilt)	Camera

셀분리(cell decomposition), 반응시험 (reaction simulation) 방법으로 분류할 수 있다.⁽¹⁾

로드맵 방법의 기본 개념은 빈 공간들의 연결들을 로드맵이라고 하는 단방향 곡선 (unidirectional curve)의 네트워크로 구성하는 것으로서 구체적인 방법으로는 시계그래프(visibility graph)⁽¹⁶⁾, 보로노이 다이어그램(voronoi diagram)⁽¹⁷⁾이 있다.

셀 분리(cell decomposition) 방법은 빈 공간들이 셀이라는 겹치지 않은 영역들로 나누어지는 것으로서 트레페조이달분리 (trapezoidal decomposition), 델리널리 삼각망(generalized delaunay triangulation) 등의 방법들이 있다.

반응시험 방법은 자율이동을 하는 두 방법과는 달리, 국소적인 경로계획을 하는 것이며 대표적인 연구로서 잠재영역(potential field) 방법⁽¹⁸⁾이 있다. 이 방법은 로봇을 잠재력의 영향 하에 있는 하나의 입자로 모델화

하는 것으로서 로봇을 최종 목적지로 끄는 attractive potential과 장애물로부터 멀어지려는 repulsive potential의 영향을 받는다.

그림 1은 위에서 언급한 기술들에 대한 기술 로드맵(technology roadmap)을 보여 주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 최근 및 향후에는 자연표식에 대한 연구가 활발히 진행될 것으로 전망되며, 그 목적은 비교적 저가격, 빠른 시간처리, 고 신뢰성을 갖음으로써 상용화 수준에 도달할 수 있는 자율이동시스템을 개발하는 것이다.

최근 이러한 목적을 위하여 SLAM (Simultaneous Localization and Map Building) 방법에 대한 연구가 진행 중이다. 이 방법은 로봇을 미지의 환경에서 미지의 위치에 놓고 단지 환경에 대한 상대적 관찰을 통해 지도를 구축한 후, 이 지도를 연속적으로 자율이동을 위하여 사용하는 방식이다.⁽¹⁹⁾

이러한 방법은 인위적인 표식이 없고 사전 정보를 이용할 수 없는 경우에도 사용할 수 있다는 장점을 갖는다.

SLAM에 대한 다양한 연구가 진행되었으나, 이 방법을 일반적으로 크게 분류하면, 칼만필터 기반 접근로 방법

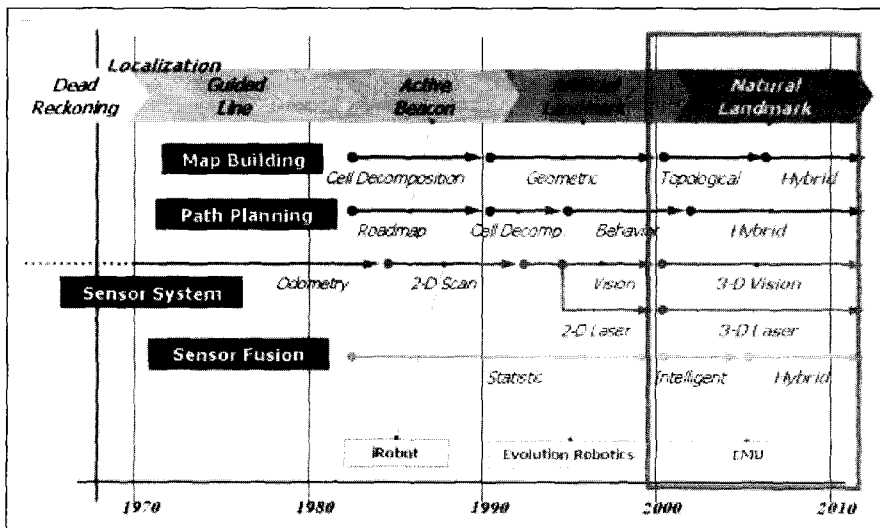


그림 1 Navigation에 대한 Technology Roadmap

(Kalman-filter based approach), 정성적 지식기반접근방법(qualitative knowledge-based approach), 확률기반 접근방법(probabilistic (static)-based approach)로 분류할 수 있다. (19)

칼만 필터기반접근방법은 로봇의 운동과 상대적인 표식관찰에 대한 통계학적 모델을 기반으로 로봇과 마크위치에서의 불확실성에 대한 일관된 추정 수단을 제공한다.

정성적 지식기반접근방법은 불확실성에 대한 정밀한 추정 및 절대 위치에 대한 요구대신 지도를 구축하고 운동을 안내하기 위하여 로봇과 마크의 상대적인 위치에 대한 정성적인 지식을 이용한다. (20,21)

확률기반접근방법은 칼만필터에서 요구되는 Gaussian 확률분포를 가정하지 않고 맵 구축을 위하여 베이시안 접근방법을 이용한다. (22)

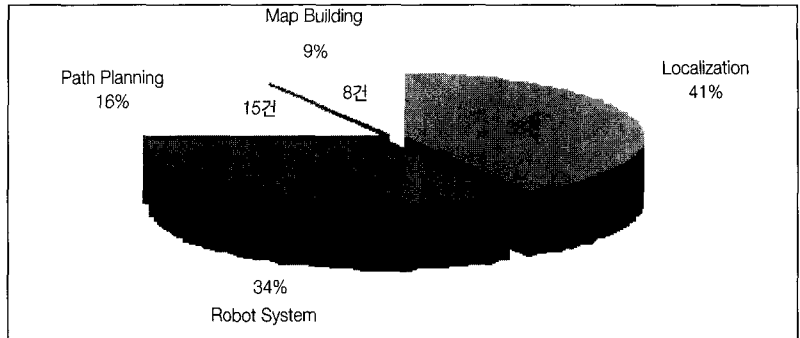


그림 2 각 기술별 특허 정량분석

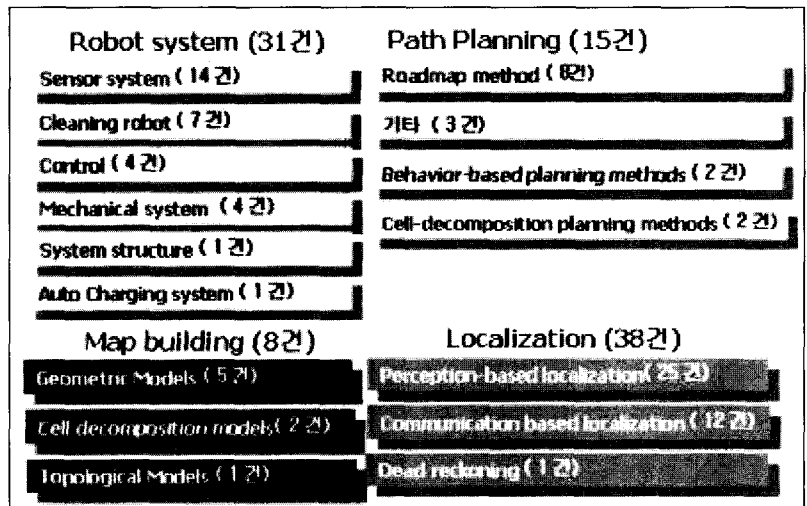


그림 3 상세기술별 특허 건수

- ◇ 검색 Tool
 - Delphion DB (<http://www.delphion.com>)
- ◇ 검색 방법
 - Key Word 및 IPC문류 혼합검색
 - 검색 국가: US
 - 기 간: 1975~현재 (등록 및 출원공개)
- ◇ Key Words
 - robot and (map building or navigation or obstacle avoidance or path planning or positioning or self-localization) <In> (abstract,claims,title) : 결과 657건 검색
- ◇ 모집단 선정과정
 - 657건 키워드 검색 → 156건 1차 filtering (infocue) → 43건 filtering (SAIT) → 60건 추가건 조사(앞, 뒤 reference 조사)? → 51건 추출 (SAIT) → 최종 건 89건

<p>Localization</p> <ul style="list-style-type: none"> • Honda Giken Kogyo (4건) • Texas Instruments (3건) • Carnegie Mellon University (2건) • Caterpillar Inc. (2건) • Transitions Research Corporation (2건) 	<p>Path Planning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Shinkai Electric Co., Ltd. (4건) • Amada Company (2건) • North American Philips Corporation (2건)
<p>Map building</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caterpillar Inc. (1건) • NEC (1건) • Transitions Research Corporation (1건) 	<p>Robot system</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heath Company (2건) • Remotec, Inc (2건) • Samsung Electronics (2건) • Texas Instruments (2건)

그림 4 각 기술별 주요 출원인

술별로 고르게 출원 되었으며, 출원인 또한 다양한 회사 및 기관에서 출원 하였다.

참 고 문 헌

Navigation에 대한 특허 분석

표 2는 자율이동 관련 특허 분석의 개요를 보여 주고 있다. 본 특허 분석은 삼성종합기술원과 인포쿨루(주)가 공동으로 진행하였으며, 1975년 이후 특허와 미국특허를 중심으로 진행 하였다.

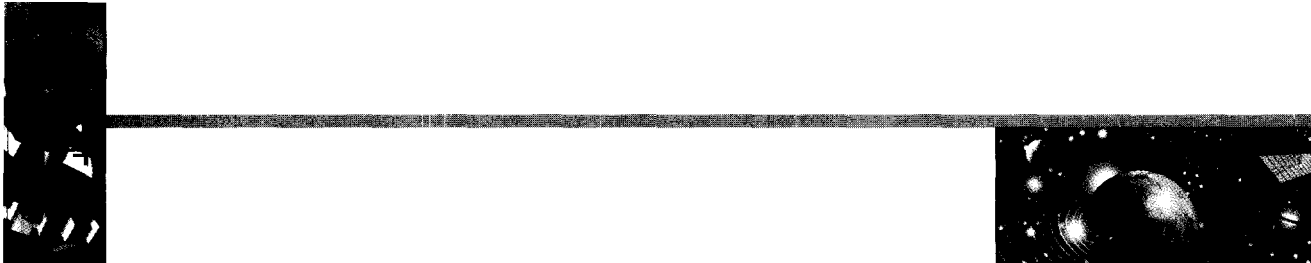
사용한 핵심어는 자율이동 및 자율이동의 주요기술을 이용하였다. 1차적으로 찾아낸 특허는 총 657건이며, 이를 전문연구원들이 요약문 중심으로 관련성 여부를 판단하여, 2차 3차를 거쳐 최종 89건의 관련 특허를 찾아 내어 정밀 분석을 실시하였다.

그림 2는 최종 선정된 특허를 기술별로 분류한 결과를 보여 주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 자기위치인식에 대한 특허가 전체의 41%로 가장 많았고, 주로 인공표식의 설계 및 이를 이용한 자기위치인식에 관한 특허가 많이 출원되었다.

각 기술별 상세 기술에 대한 특허 내용은 그림 3과 같다.

각 기술별 주요 출원인은 그림 4와 같다. 위에서의 정량적인 특허 분석 결과 각 기

- (1) Salichs, M. A., et.al, " Navigation of Mobile Robots: Open Questions", Robotica, Vol. 18, pp. 227~234.
- (2) Moravec, H. P. and Elfes, A., 1985, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, St Louis, USA, pp. 116~121.
- (3) Borenstein, J. and Koren, Y., "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Transactions on Robotics and Automation 7, No.4, pp. 535~539.
- (4) Hebert, M., Caillas, C., Krotkov, E., Kweon, I. S. and Kanade, T., 1989, "Terrain Mapping for a Roving Planetary Explorer", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Scottsdale, USA, pp. 997~1002.
- (5) Kweon, I. S. and Kanade, T., "High Resolution Terrain Map from Multiple Sensor Data", IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence 14, No.2, pp. 278~292.

- 
- (6) Leonard, J. J., Durrant-Whyte H. F. and Cox, I. J., 1990, "Dynamic Map Building for an Autonomous Mobile Robot", IEEE Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems (IROS' 90) Tsuchiura, Japan, pp. 89~96.
- (7) Durrant-Whyte, H. F., "Sensor Models and Multisensor Integration", Int. J. Robotics Research 7, No. 6, pp. 97~113.
- (8) Crowley, J. L., "World Modelling and Position Estimation for a Mobile Robot Using Ultrasonic Ranging", IEEE Integration", Int. J. Robotics and Automation, Scottsdale, pp. 674~681.
- (9) Byun, Y. T. and Kuipers, B., "A Qualitative Approach to Robot Exploration and Map-learning", Proc. of the Workshop on Spatial Reasoning and Multi-sensor Fusion, Morgan Kaufman, Los Altos, CA, pp. 390~404.
- (10) Kuipers, B. and Byun, Y. T., "A Robot, Exploration and Mapping Strategy based on Semantic Hierarchy of Spatial Representation", J. Robotics and Autonomous Systems 8, Nos.1-2, pp. 47~63.
- (11) Borenstein, J., Everett, H. R. and Feng, L., 1996, "Where am I ? : Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning."
- (12) Nilsson, N. J., 1969, "A Mobile Automation: An Application of Artificial Intelligence Techniques", Proc. of the 1st Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Washington D.C., pp. 509~520.
- (13) Choset, H., 1998, "Toward Exact Localization without Explicit Localization with the Generalized Voronoi Graph", IEEE Robotics and Automation, Leuven, Belgium, pp. 342~348.
- (14) Latombe, J. C., 1991, Robot Motion Planning, Kluwer Academic Publisher.
- (15) Gamini Diassanayaki, M. W. M., "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM Problem)", IEEE Tran. on Robotics and Automation, Vol. 17, No. 3.
- (16) Kuipers, B. J., et. al., "A Robot Exploration and Mapping a Strategy Based on Semantic Hierachy of Special Representation", J. Robot. Automom. Syst., Vol. 8, pp. 47~63.
- (17) Levitt, T. S. and Lawton, D. T., 1990, "Qualitative navigation for Bobile Robot", Artif. Intell. J., Vol.44, No. 3, pp. 305~360.
- (18) Thrun, S., Fox, D. and Burgard, W., 1998, "A Probabilistic Approach to Concurrent Mapping and Localization for Mobile Robot", Marc. Learning Autonom. Robot, Vol. 31, pp.29~53.