

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2009.33.5.455

가변구조형 주행로봇 개발 및 확장형 칼만필터를 이용한 추측 항법에 대한 연구

강 봉 수[†] · 여 기 환^{*}

(2008년 6월 13일 접수, 2009년 3월 23일 수정, 2009년 3월 24일 심사완료)

A Study on Development of a Reconfigurable Mobile Robot and Dead-Reckoning Using Extended Kalman Filter

Bong Soo Kang and Gee Hwan Yeo

Key Words: Reconfigurable(가변구조형), Mobile Robot(주행 로봇), Adaptability(적응성), Extended Kalman Filter(확장형 칼만 필터), Dead Reckoning(추측항법)

Abstract

This paper presents design concepts of a reconfigurable mobile robot for both of indoor and outdoor applications. A linkage mechanism and wheel-in-motors give the proposed mobile robot various driving modes in maneuver and good adaptability to irregular surface. Since the mobile robot receives multiple sensor signals from odometers and an orientation sensor, states related to the position and the orientation of the mobile robot are optimally estimated by an extended Kalman filter. Simulations and experimental results show that the performance of dead reckoning on estimating the pose of a mobile robot can be improved remarkably by the optimal state observer.

기호설명

- B : 양 측면바퀴사이의 거리
- k : 샘플링 정수
- R_r : 오른쪽 바퀴의 반경
- R_l : 왼쪽 바퀴의 반경
- T : 샘플링 주기
- x : 기준좌표계에 대한 주행로봇의 X축 좌표
- y : 기준좌표계에 대한 주행로봇의 Y축 좌표
- v : 주행로봇의 선속도
- ω : 주행로봇의 회전속도
- θ : 주행로봇의 전진 회전각
- $\dot{\theta}_r$: 오른쪽 바퀴의 회전속도
- $\dot{\theta}_l$: 왼쪽 바퀴의 회전속도

1. 서론

근래 로봇기술은 고정된 환경에서 반복적으로 정해진 작업을 수행하던 산업용로봇에서 벗어나 가정 및 사무실에서 인간과 공존하며 다양한 정보를 제공하는 지능형 서비스로봇으로 발전하고 있다. 고정형 로봇을 이동시키는 주행기술로는 2족 혹은 4족의 다리를 이용하는 보행방법,⁽¹⁾ 바퀴를 이용하는 방법,⁽²⁾ 탱크와 같이 트랙을 이용하는 방법⁽³⁾으로 크게 나눌 수 있다. 다리관절을 이용한 보행방법은 이동능력면에서 가장 우수하나 기구부가 복잡하고 에너지를 많이 소모하는 단점을 가지고 있다. 현재 인간과 유사한 보행능력을 보여주는 휴머노이드 로봇이 첨단로봇기술의 데모용으로 많이 개발되고 있다. 극한환경에서의 탐사, 정찰을 수행하는 지능형 주행로봇의 경우 마찰로 인한 회전효율은 떨어지나 안정된 험로주행

[†] 책임저자, 회원, 한남대학교 기계공학과
 E-mail : bskang@hnu.kr
 TEL : (042)629-7983 FAX : (042)629-8295
^{*} 삼성전자

을 가능하게 하는 트랙형태가 사용되며 청소로봇과 같이 실내에서 사용되는 서비스로봇의 경우 이동 속도나 에너지 효율면에서 우수한 바퀴형태가 많이 사용되고 있다.

실내용으로 가장 많이 사용되는 4바퀴형 주행로봇은 양쪽 바퀴의 속도차로 회전하는 차동방식(differential type), 바퀴의 중심축을 직접 회전하는 스티어링 방식(steering type) 등으로 주행로봇의 회전방향을 조절할 수 있다. 또한 orthogonal wheel과 같이 특수한 형상으로 제작된 바퀴를 사용하거나⁽⁴⁾ 바퀴의 중심축에 오프셋(offset)을 가짐으로써⁽⁵⁾ 전방향(omni-directional)이 가능하도록 설계하기도 한다. 4바퀴 주행로봇의 경우 기본적으로 바퀴사이의 상대적 위치가 고정되었기 때문에 바닥에 굴곡이 있거나 계단과 같은 장애물을 만나게 되면 이를 승월하기가 힘들게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 4바퀴 각각에 2자유도 이상의 다리구조를 부착한 하이브리드형 보행기구가 제안되었다.⁽⁶⁾ 또한 6바퀴 이상의 바퀴를 사용하고 보기(bogie)와 같은 링크기구를 추가하여 노면과의 접지 안정성을 높인 주행로봇도 개발되어 극한환경에서의 탐사로봇이나 정찰로봇으로 응용되기도 한다.⁽⁷⁾

본 논문에서는 4바퀴형 로봇에 회전조인트를 이용한 링크구조를 첨가하여 바퀴사이의 상대적 위치를 가변할 수 있는 가변구조형 주행로봇을 제안한다. 6바퀴와 같이 굴곡있는 노면에 대해 안정된 자세를 취할 수 있으며 바퀴를 구동하는 모터를 일체형 바퀴-모터 모듈(module)로 설계하여 기구간의 간섭이나 노면돌출부와의 충돌가능성을 줄일 수 있다.

주행로봇이 주어진 목표를 찾아가기 위해서는 공간상에서 자신의 위치를 파악해야 한다. 이동체의 위치추정방법은 GPS 시스템을 이용한 차량위치추정방법과 같이 외부관측기를 이용하는 전역적 방법과 주행로봇 자체에 부착된 센서정보를 이용한 지역적 방법으로 크게 나눌 수 있다. 추측항법(dead-reckoning)은 보편적으로 사용되는 지역적 위치추정방법으로 주행로봇의 바퀴에 부착한 엔코더와 같은 거리계(odometer)를 이용하여 회전변위를 측정하고 이를 로봇기구학을 통해서 주행로봇의 위치변위를 계산한다.⁽⁸⁾ 이동거리가 증가하면 오차가 누적되어 증가하기 때문에 외부 기기의 도움을 받아 주기적으로 오차를 보정해 주어야 한다. 또한 바퀴의 미끄러짐

이 발생하면 위치예측에 오차가 생기므로 이를 보상하기 위해 자이로스코프(gyroscope) 등의 센서정보를 추가하고 칼만필터와 같은 최적관측기를 이용하여 위치추정을 수행하는 연구가 많이 수행되고 있다.^(9,10) 자이로스코프의 경우 전자기기의 발열 등으로 인한 온도변화에 대해 출력의 오프셋변동(offset drift)이 발생하는 문제점이 있으므로 본 연구에서는 가속도계와 자력계(magnetometer)를 기반으로 회전각을 측정하는 방향센서를 사용하여 주행로봇의 전진회전각을 측정하며, 로봇의 회전각과 주행로봇 양바퀴의 거리정보를 입력으로 하는 확장형 칼만필터를 제안한다. 그리고 개발된 가변형 주행로봇을 이용한 실제 주행실험과 전산모의실험을 통해서 제시한 확장형 칼만필터를 이용한 위치추정방법의 성능을 검증한다.

2. 가변구조형 주행로봇

2.1 기구부

비교적 바닥면이 균일한 실내환경에서는 주행로봇 플랫폼(platform)은 지면에 가깝게 낮고 단순하게 설계할 수 있으며 구동모터도 플랫폼에 위치하여 기어열이나 벨트를 통해서 바퀴에 동력을 전달할 수 있다. 반면에 지면이 불규칙하고 돌출장애물이 산재한 실외환경에서는 돌출부에 의한 물리적 간섭을 줄이기 위해 플랫폼은 높게 그리고 다양한 환경을 포용할 수 있는 가변형 기구형태로 설계된다.

본 연구에서 개발된 실내외 겸용 주행로봇은 Fig. 1과 같이 기본적으로 4개의 바퀴로 구성되며, 바퀴의 위치를 바닥면으로 투영하면 일반 4바퀴 이동로봇(좌우 측면에 바퀴가 2개씩 대칭으로 배열)과는 달리 정사변형 구조로 각 꼭지점에 4바퀴가 위치한다. Fig. 1 왼쪽 전면의 바퀴와 제어부가 위치하는 상측지지대가 하나의 프레임(frame)으로, Fig. 1 오른쪽 후면의 3바퀴가 하나의 프레임으로 구성되며, 두 프레임사이에는 힌지(hinge)로 연결되어 상대적 회전이 가능하다. 후면의 3바퀴 프레임을 힌지를 기준으로 반시계방향으로 회전하면 Fig. 2와 같이 3바퀴 구동방식으로 전환이 가능하다. 또한 전면의 바퀴프레임은 후면의 3바퀴 프레임과 상대적 회전이 가능하므로 Fig. 3과 같이 불룩한 지형에서는 앞 뒤 간의 바퀴간격이 줄어들고 오목한 지형에서는 바퀴간격

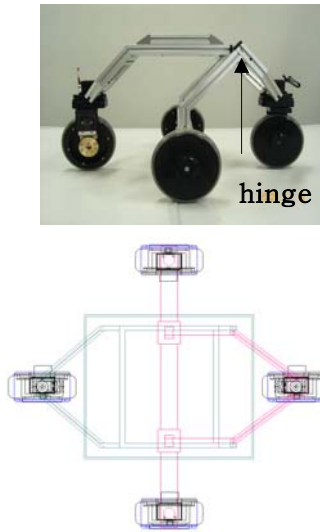


Fig. 1 Principal frame of the mobile robot



(a) 4-wheel driving (b) 3-wheel driving

Fig. 2 Driving modes of the mobile robot



Fig. 3 Surface adaptability

이 늘어나서 자연스럽게 바닥면과의 안정된 자세를 취할 수 있으므로 네 바퀴의 위치가 고정된 일반적인 이동로봇에 비하여 실외에서의 활동성

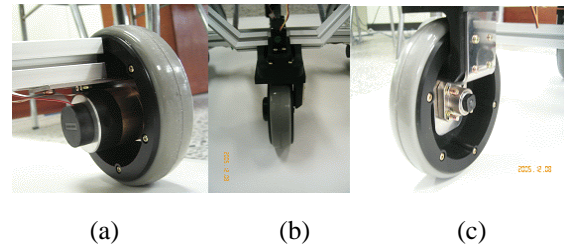


Fig. 4 (a)wheel module with a motor equipped (b)wheel module with a steering motor (c)wheel without a motor

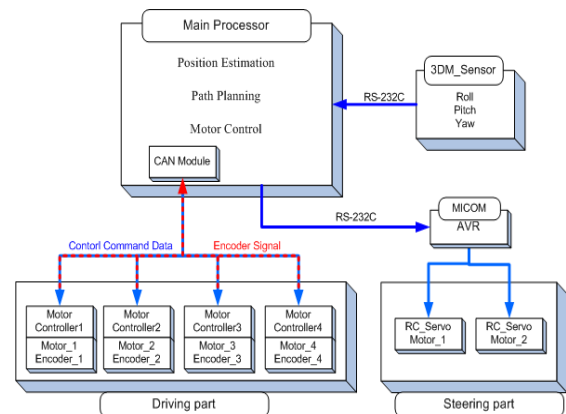


Fig. 5 Control architecture of the mobile robot

을 높일 수 있다.

개발된 이동로봇의 네바퀴 각각은 Fig. 4와 같이 독립적인 구동모터를 가지고 있으므로 미끄러운 지면이나 돌출부가 있는 지면도 주행이 가능하다. 앞쪽과 뒤쪽의 바퀴는 조향모터를 통해서 회전을 가능하게 하여 회전 시 발생하는 마찰손실을 줄일 수 있다. 개발된 주행로봇의 바퀴구조를 살펴보면 Fig. 4과 같이 바퀴의 안쪽 부분을 제거하고 시판되는 엔코더 일체형 브러시리스(Brushless) DC 모터 중 축방향 길이가 작은 평판모터(Flat motor)를 브래킷(bracket)을 통해서 장착하여 바퀴-모터 일체형이 되도록 설계하였다. 브래킷 상부에 조향모터를 체결하면 Fig. 4(b)와 같이 구동과 조향을 기구적 간섭없이 동시에 수행할 수 있으며 브래킷에 모터를 제거하면 Fig. 4(c)과 같이 수동바퀴(passive wheel)로도 사용이 가능하다. 지면과 접촉하는 바퀴의 외주면은 우레탄을 부착하여 바닥면과의 미끄러짐을 최소화하였다.

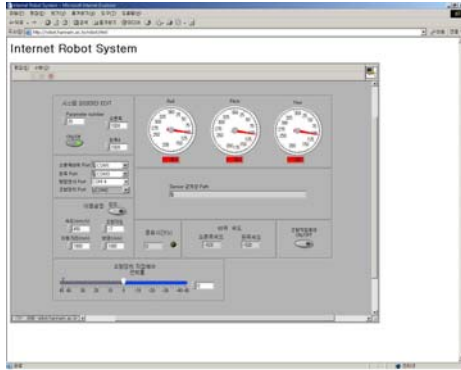


Fig. 6 Graphic User Interface for Internet based tele-operation

개발된 이동로봇은 가변형 구조와 바퀴의 능동/수동 전환을 통해서 다양한 구동방식을 구현할 수 있다. 예를 들어 Fig. 2(b)와 같이 3바퀴 구조에서 앞바퀴의 조향모터와 구동모터를 능동으로 사용하고 좌·우 두 바퀴들은 수동으로 사용하면 로봇은 steered driving 방식으로 구동된다. Fig. 3(a)와 같이 4바퀴 구조로 전환하고 앞바퀴와 뒷바퀴는 조향만 능동으로 하고 좌·우 바퀴를 능동으로 구동하면 차동 방식을 구현할 수 있으며 모든 바퀴들을 능동으로 사용하면 힘로주행에 유리한 all-wheel driving 방식으로 사용할 수 있다.

2.2 제어부

주행로봇 플랫폼의 상부는 주제어기, 전원, 전기.전자부품을 내장한 제어박스 - Fig. 2의 검은박스 - 가 위치하고 있다. 주행로봇의 제어시스템은 Fig. 5와 같이 주제어기, 센서시스템, 구동시스템, 통신시스템으로 구성된다. One-board 컴퓨터 (Pentium III)로 주제어기를 구현하였으며 센서시스템은 각 바퀴의 회전축에 연결된 엔코더, 로봇의 전진각(heading angle)을 측정하는 3축 회전각 측정센서, 외부물체의 감지를 위한 초음파센서모듈로 구성된다. 바퀴는 엔코더 일체형 Maxon EC 모터(30W)로 구동되며 모터 드라이버도 동일사의 제품(4-Q-EC)을 이용하였다. 주행로봇에 사용되는 전원은 14.5V의 전압을 내는 리튬-이온(lithium-ion) 배터리에 의해서 공급된다.

주제어기에서 각 모터의 속도를 제어하기 위한 속도지령은 CAN(Controller Area Network) 통신을 통해서 이루어진다. 제어박스의 공간활용을 위해

Table 1 Specification of the mobile robot

Dimension	height: 0.5 m
	length: 0.45 m
	wide: 0.45 m
	wheel radius: 0.065 m
Main Controller	Intel PentiumIII
Operating System	Windows 2000
Communication	CAN, RS-232C
Server	Apache
Actuator	Maxon EC motor (driving)
	RC motor (steering)
Sensor	Encoder (1024 pulse/rev)
	Orientation Sensor (3 axis)
	Ultrasonic Sensor
Total Weight	11.1 kg

적층형 PC/104 CAN 인터페이스보드를 사용하였으며 주제어기는 각 모터드라이버를 고유ID로 호출하여 필요한 엔코더값을 수집하고 속도지령을 전달한다. 조향을 담당하는 서버모터를 구동하는 마이크로프로세서와 주제어기 사이는 RS-232C 시리얼통신을 이용하였다.

주행로봇의 주제어기로 고성능 PC를 사용하였기 때문에 Apache와 같은 서버프로그램을 적용하면 주행로봇의 주제어기는 인터넷통신상에서 하나의 서버(server)의 역할을 수행한다. 따라서 로봇시스템의 원격제어를 위해서 특별한 통신시스템이 필요없이 일반인도 PC와 웹브라우저(web browser)만을 이용하여 개발된 주행로봇의 서버로 접속하여 로봇시스템을 조정할 수 있다. Fig. 6은 National Instruments사의 LABVIEW™ 소프트웨어를 이용하여 제작한 원격제어용 GUI(Graphic User Interface)화면이다. 화면상단은 로봇의 현재 방향과 위치를 표시하는 계기판이 위치하고 좌측 열에 주행로봇의 속도와 주행거리를 미리 설정할 수 있는 입력칸이 위치한다. 화면의 하단은 인터넷 사용자가 로봇을 실시간으로 조정할 경우 방향을 조절하는 있는 제어레버가 위치하게 된다. GUI화면에 웹카메라를 이용한 주행로봇의 화상 정보를 실시간으로 제공하면 인터넷을 통해 접속한 사용자는 용이하게 원격조정을 수행할 수 있다. Table 1은 개발된 주행로봇의 기본사양을 나타낸다.

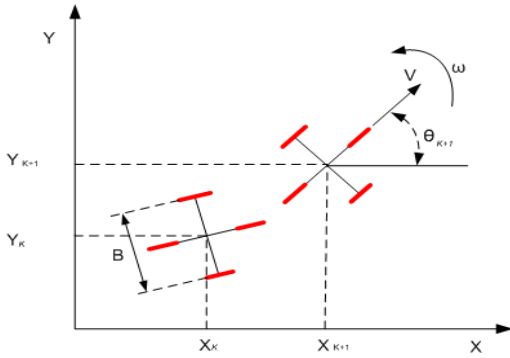


Fig. 7 Coordinates of the mobile robot

3. 최적관측기 설계

Fig. 7 에 두 개의 좌·우 구동바퀴와 두 개의 조향이 가능한 수동바퀴(passive wheel)를 가진 주행로봇을 표시하였다. 주행로봇의 움직임이 샘플링주기, T ,에 비해서 충분히 천천히 변한다고 가정하면 주행로봇의 이산 상태공간 운동방정식은 다음과 같이 근사할 수 있다.⁽¹¹⁾

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \\ v \\ \omega \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} x + Tv \cos(\theta + T\omega/2) \\ y + Tv \sin(\theta + T\omega/2) \\ \theta + T\omega \\ v \\ \omega \end{bmatrix}_k$$

; $\mathbf{X}_{k+1} = f(\mathbf{X}_k)$ (1)

x, y 는 각각 기준좌표계(X-Y)에 대한 주행로봇 중심에서의 좌표, θ 는 X축에 대한 주행로봇의 회전각, v, ω 는 각각 주행로봇의 직선속도, 회전속도를 나타낸다. k 는 샘플링 정수이다. 센서들로부터 측정되는 측정값은 좌·우 바퀴의 회전속도와 주행로봇 중심에서의 회전속도이며 상태변수와의 출력방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{\theta}_l \\ \theta \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1/R_r & B/2R_r \\ 0 & 0 & 0 & 1/R_l & B/2R_l \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \\ v \\ \omega \end{bmatrix}_k$$

; $\mathbf{Y}_k = \mathbf{C}\mathbf{X}_k$ (2)

R_r, R_l 는 각각 왼쪽, 오른쪽 바퀴의 반경이며 B 는 좌우바퀴 사이의 거리이다. $\dot{\theta}_r, \dot{\theta}_l$ 는 각각 왼쪽바퀴속도, 오른쪽 바퀴속도이며 엔코더 신호를 통해서 계산된다. 엔코더의 회전속도를 측정하면 바퀴와 바닥면과의 구름접촉 가정하에서 로봇 기구학식으로부터 주행로봇 중심에서의 위치와 속도를 알 수 있다. 그러나 급격한 방향전환이나 미끄러운 바닥주행 시 바퀴의 미끄러짐이 발생하면 실제 주행거리와 엔코더의 회전량과는 오차가 발생하게 된다.

개발된 주행로봇은 거리계를 이용한 추측항법의 단점을 보완하기 위해 로봇의 전진회전각을 측정하는 방향센서를 부착하였다. 그리고 각 센서로부터 들어오는 신호를 융합하기 위해 외란에 강인한 칼만필터를 이용하여 상태변수 최적 관측기(optimal observer)를 구현하였다. 주행로봇의 운동방정식, 식 (1), 은 비선형이므로 직접적인 칼만 필터 설계가 불가능하다. 따라서 시스템의 운동식 -식 (1)- 을 주행경로에 대해서 선형화를 수행한 후 적용하는 확장형 칼만 필터를⁽¹²⁾ 이용하여 최적 관측기를 설계하였다. 칼만 이득의 계산과정은 부록에 수록하였다.

4. 전산모의실험

엔코더 신호만을 이용한 기존의 추측항법과 방향센서와 엔코더의 센서신호 융합을 이용한 확장형 칼만 필터의 성능을 비교하기 위하여 로봇의 실제 설계 치수와 동일한 조건으로 전산모의실험을 수행하였다. 확장형 칼만 필터 설계 시 연산 외란 공분산(processing noise covariance)은 0.001 $I_{5 \times 5}$ 로 측정외란(measurement noise) 공분산과 오차의 공분산은 $I_{5 \times 5}$ 로 설정하였다. 회전각센서는 실제센서의 정밀도를 고려하여 인위적으로 $\pm 1^\circ$ 내에서 랜덤(random) 오차를 가지도록 하였다. 주행로봇은 초기에 (0,0)에 0° 의 각도로 정렬된 후 좌·우바퀴는 일정한 속도로 회전하여 Fig. 8과 같이 반원을 그리며 5초 동안 로봇중심에서 0.8m/s의 선속도와 $0.2 \pi \text{ rad/s}$ 의 회전속도로 주행한다.

첫 번째 실험은 인위적으로 1초 후에 5 ms동안 좌측바퀴에 미끄러짐이 이루어지도록 하여 Fig. 8과 같이 로봇은 반원을 벗어나는 궤적(O, 'Real')을 가지게 되나 엔코더만을 이용한 추측항법(Δ , 'Encoder')은 미끄러짐을 전혀 측정할 수 없기 때

Table 2 Positional error at destination

	Encoder only	EKF
Simulation (slip condition)	85cm	11cm
Simulation (Parameter uncertainty)	43cm	13cm
Experiment	35cm	20cm

문에 반원을 그리며 주행한 것으로 추정하고 있다. 반면에 회전각센서신호를 융합한 칼만필터는 (*, 'EKF') 회전각센서의 오차가 있음에도 비교적 정확하게 주행로봇의 위치를 예측하고 있다. 5초가 경과한 후 위치와 각도오차를 살펴보면 엔코더만을 이용한 추측방법은 각각 85cm, 33°이며 칼만 필터의 경우 11cm, 0.3°로 추정오차를 크게 줄일 수 있었다.

두 번째 모의실험은 주행로봇의 기구 모델식에 사용되는 치수를 인위적으로 실제치수와 5% 오차를 가지도록 하였다. 즉 식 (1),(2)에 사용되는 기구학식에서 바퀴의 반경, R ,은 실제보다 5% 크게, 바퀴간 거리, B ,는 실제보다 5% 작게 설정하여 계산하도록 하였다. 이러한 계산식의 계통적 불확실성(systematic uncertainty)에 대한 위치추정 성능을 살펴보면 Fig. 9과 같다. 엔코더를 이용한 추측방법은 계산식의 매개변수 오차로 인하여 - 실제보다 큰 바퀴반경으로 계산- 반원을 지나 더 진행한 궤적으로 예측하고 있으나 칼만필터를 이용한 방법은 계산식의 모델링 오차가 있어도 실제 궤적과 가까운 위치로 추정하고 있다. 엔코더만을 이용할 경우 최종위치에서 43cm, 19°의 거리 및 각도오차를 각각 보이고 있으나 칼만필터는 13cm, 0.1°의 오차만을 보여주고 있다.

제안된 확장형 칼만 필터에 대한 해(solution)의 수렴성을 분석하기 위해서, 오차 공분산의 초기값을 $0.1I_{5 \times 5}$, $1I_{5 \times 5}$, $3I_{5 \times 5}$, $10I_{5 \times 5}$ 로 바꾸어 가면서 주행로봇 회전각의 오차공분산 값을 매 샘플링마다 계산하고 -부록 (A.2),(A.3),(A.3)에서 수식을 기술- 그 결과를 Fig. 10에 표시하였다. Fig. 10(a)는 첫 번째 모의실험인 미끄러짐이 발생한 경우 해의 수렴성을 나타내는 그림으로서 오차 공분산이 계산회수에 따라 빠른 속도로 감소하여 안정된 영역으로 수렴하여 0.03의 최종값을 가진다.

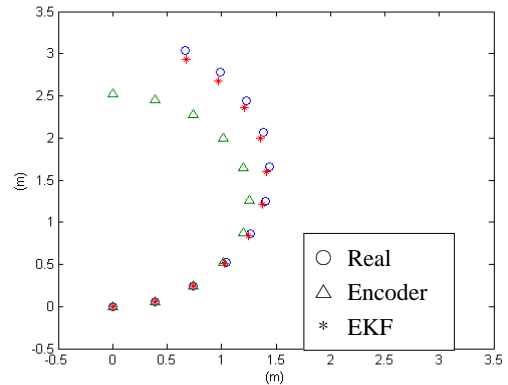


Fig. 8 Simulation Result (Slip condition)

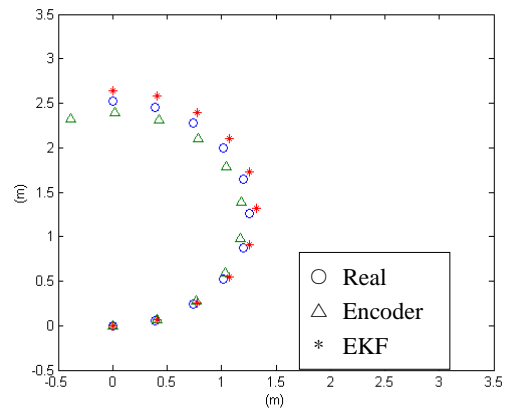


Fig. 9 Simulation Result (5% Parameter uncertainty)

또한 오차 공분산의 초기값을 10 (점선)으로 설정하여도 10회 이상 계산이 되면 0.1이하로 오차공분산이 줄어드는 감소특성을 보였다. Fig. 10(b)는 두 번째 모의실험인 5% 모델링 불확실성을 갖는 시스템에 확장형 칼만필터를 적용한 경우 해의 수렴성능이다. 오차공분산의 값은 유사한 형태로 계산회수가 증가함에 따라 균일하게 감소하여 약 10번 이상부터 0.1 이하의 값을 가지며 최종값으로 0.03의 동일한 값을 가지게 된다. 따라서 전산 모의실험을 통해서 제안된 확장형 칼만 필터 시스템의 해의 수렴성을 확인하였다.

5. 주행실험

2장에서 서술한 가변형 주행로봇에 제안된 확장형 칼만 필터를 적용하기 위한 실제실험은 Fig. 11과 같이 1m의 직선구간 주행과 반경 1m인 원주곡선 주행으로 이루어졌다. 출발점- 좌표(0,0)-

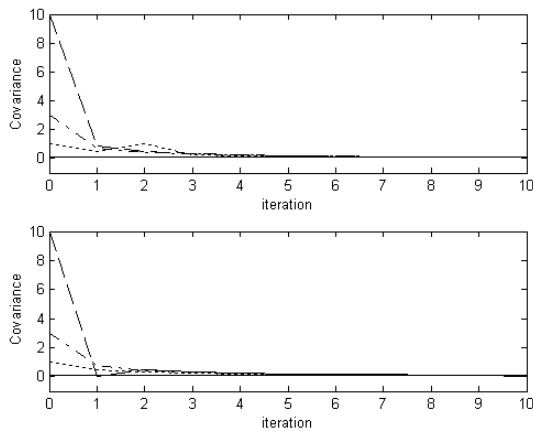


Fig. 10 Solutions of the Extended Kalman Filter (a) Slip condition, (b) 5% Parameter uncertainty(solid : 0.1, dotted: 1, dashdot: 3, dashed :10)

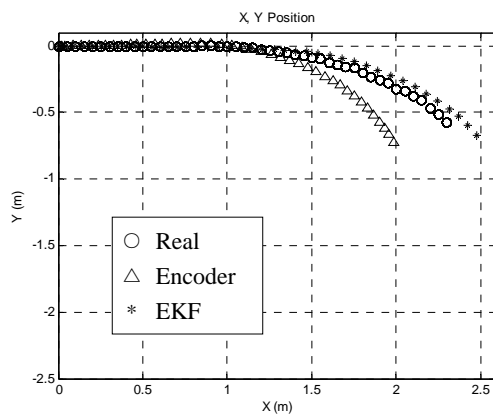


Fig. 11 Experimental Results

에서 모든 상태변수의 초기오차는 0 이며 출발 후 로봇중심에서 0.2m/s 의 선속도로 주행한다. 직선에서 곡선으로 바뀌는 구간의 지면위에 오일(oil)을 살포하여 주행로봇의 한쪽바퀴가 인위적으로 미끄러지도록 하였다. 따라서 주행로봇의 실제 궤적(○, 'Real')은 Fig. 11과 같이 반원의 곡선구간에서 벗어난다. 엔코더신호(△, 'Encoder')만을 이용한 위치추정방법은 직선구간에서는 비교적 정확한 위치추정을 하고 있으나 미끄러짐이 발생하면 이를 예측하지 못하고 실제 궤적과 벗어나는 위치를 추정하고 있다. 확장형 칼만필터를 이용한 방법(*, 'EKF')은 곡선진입구간에서 미끄러짐이 발생하여도 비교적 유사하게 주행로봇의 위치를 추정하고 있다. Table 2와 같이 최종위치에서 엔코더만을 이용했을 시의 위치추정오차는 34.7cm 이고 칼만필터를 이용했을 시 20.0cm

로서 미끄러짐에 의한 주행 거리계의 추정오차를 센서융합을 통해서 줄일 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 실내의 겸용으로 사용이 가능한 가변형 주행로봇에 대한 설계개념과 확장형 칼만필터를 이용한 추측항법을 제시하였다. 개발된 주행로봇은 경량의 링구조와 일체화된 바퀴-모터를 통해서 굴곡이 있는 바닥환경에서 안정된 주행이 가능하고 저가의 다양한 센서정보들을 이용하여 주행로봇의 위치를 추정할 수 있다. 주행로봇에 부착된 바퀴의 회전량만을 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 추측항법의 정밀도를 향상시키기 위해서 바퀴의 회전량과 로봇중심에서의 회전각 정보를 융합한 최적관측기를 확장형 칼만필터를 통해서 구현하였다. 전산모의 실험을 통해서 바퀴의 미끄러짐 그리고 기구학 모델변수의 오차가 존재하는 환경에서도 확장형 칼만필터를 이용한 위치추정이 거리계만을 이용한 추측항법에 비하여 우수한 성능을 보였다. 또한 개발된 가변형 주행로봇을 가지고 미끄러운 바닥면을 주행하도록 하는 실제 위치추정실험에서도 확장형 칼만필터를 통해서 기존 추측항법의 위치추정오차를 크게 줄일 수 있었다.

후 기

본 연구는 2006년 한남대학교 교비학술연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 대한 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Park, In-Gyu and Kim, Jin-Geol, 2000, "Dynamic Walking Planning and Inverse Dynamic Analysis Of Biped Robot," *J. of KSPE*, Vol. 17, No. 9, pp. 133~144.
- (2) Siegwart, R. and Nourbakhsh, I. R., 2004, *Autonomous Mobile Robot*, chapter 2, MIT Press.
- (3) Lim, Sung-Kyun, Park, Dong-Il, Kwak, Yoon-Keun, Kim, Byung-Soo and Jeon, Sang-Won, 2005, "Variable Geometry Single-Track Mechanism for a Rescue Robot," *Proc. IEEE Int. Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, Kobe, Japan,

- pp. 111~115.
- (4) Mouriaux, G., Novales, C., Poisson, G. and Vieyres, P., 2006, "Omni-Directional Robot with Spherical Orthogonal Wheels: Concepts and Analyses," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Orlando, USA, pp. 3374~3379.
- (5) Wada, M. and Mori, S., 1996, "Holonomic and Omnidirectional Vehicle with Conventional Tires," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Minneapolis, USA, pp. 3671~3676.
- (6) Grand, Ch., BenAmar, F., Plumet, F. and Bidaud, Ph., 2004, "Decoupled Control of Posture and Trajectory of the Hybrid Wheel-Legged Robot Hylos," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Albuquerque, USA, pp. 5111~5116.
- (7) Maurette, M., 2003, "Mars Rover Autonomous Navigation," *Autonomous Robots*, Vol. 14, No. 2., pp. 199~208.
- (8) Watanabe, Y. and Yuta, S., 1990, "Estimation of Position and Its Uncertainty in Dead Reckoning System of the Wheeled Mobile Robot," *Proc. of 20th ISIR*, Tokyo, Japan, pp. 205~212.
- (9) Park, Kyu-Cheol, Chung, Hak-young, Choi, Jong-bin and Lee, Jang-Gyu, 1997, "Dead Reckoning Navigation for an Autonomous Mobile Robot Using a Differential Encoder and a Gyroscope," *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Monterey, USA, pp. 441~446.
- (10) Komoriya, K. and Oyama, E., 1994, "Position Estimation of a Mobile Robot Using Optical Fiber Gyroscope," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Munich, German, pp. 143~149.

- (11) Wang, C. M., 1988 "Location Estimation and Uncertainty Analysis for Mobile Robots," *Proc. Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, St. Louis, USA, pp. 1230~1235.
- (12) Grewal, M. S. and Andrews, A. P., 2001, *Kalman Filtering -Theory and Practice using MATLAB-*, John Wisley & Sons.

부 록

식 (1)의 선형화를 위한 Jacobian 근사식은 다음과 같다.

$$\Phi_{k-1} \cong \left. \frac{\partial f_k}{\partial x} \right|_{x=\hat{x}_{k-1}(-)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -Tvs & Tc & -T^2vs/2 \\ 0 & 1 & Tvc & Ts & T^2vc/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{k-1} \quad (\text{A.1})$$

여기서 $s := \sin(\theta + T\omega/2)$, $c := \cos(\theta + T\omega/2)$

선행 오차공분산행렬, 칼만 이득, 후행 오차공분산 행렬은 다음과 같이 계산된다.

$$\mathbf{P}_k(-) = \Phi_{k-1} \mathbf{P}_{k-1}(+) \Phi_{k-1}^T + \mathbf{Q}_{k-1} \quad (\text{A.2})$$

$$\bar{\mathbf{K}}_k = \mathbf{P}_k(-) \mathbf{C}^T [\mathbf{C} \mathbf{P}_k(-) \mathbf{C}^T + \mathbf{R}_k]^{-1} \quad (\text{A.3})$$

$$\mathbf{P}_k(+) = [\mathbf{I} - \bar{\mathbf{K}}_k \mathbf{C}_k] \mathbf{P}_k(-) \quad (\text{A.4})$$

여기서 \mathbf{Q}_{k-1} 는 연산외란 공분산, \mathbf{R}_k 는 측정외란 공분산이다.