

DGPS 와 연석추출을 이용한 순찰용 로봇의 개발

Development of Patrol Robot using DGPS and Curb Detection

노치원*, 김승훈, 김문준, 강성철, 홍석교
(Chi-Won Roh, Seung-Hun Kim, Moon-June Kim, Sung-Chul Kang, and Suk-Kyo Hong)

Abstract : This paper demonstrates the development of a mobile robot for patrol. We fuse differential GPS, angle sensor and odometry data using the framework of extended Kalman filter to localize a mobile robot in outdoor environments. An important feature of road environment is the existence of curbs. So, we also propose an algorithm to find out the position of curbs from laser range finder data using Hough transform. The mobile robot builds the map of the curbs of roads and the map is used for tracking and localization. The patrol robot system consists of a mobile robot and a control station. The mobile robot sends the image data from a camera to the control station. The remote control station receives and displays the image data. Also, the patrol robot system can be used in two modes, teleoperated or autonomous. In teleoperated mode, the teleoperator commands the mobile robot based on the image data. On the other hand, in autonomous mode, the mobile robot has to autonomously track the predefined waypoints. So, we have designed a path tracking controller to track the path. We have been able to confirm that the proposed algorithms show proper performances in outdoor environment through experiments in the road.

Keywords : patrol robot, EKF algorithm, curb detection, Hough transform, path tracking controller

I. 서론

지난 수십년 동안 마이크로프로세서의 처리능력 향상과 다양한 센서의 개발로 인해 이동로봇의 활용분야가 점차 증가하고 있다. 실내용 이동로봇의 경우 박물관이나 전시장의 안내로봇, 청소로봇, 노약자를 위한 간호로봇등의 목적으로 개발되고 있으며 실외용의 경우 순찰이나 정찰, 행성탐사등의 목적으로 개발이 되고 있다. 이동로봇이 자율적으로 임무를 수행하기 위해서는 센서를 통해 주변 환경을 인식하는 기능과 자기위치추정 기능, 충돌회피나 경로계획등의 기능이 요구된다[1]. 최근 들어서는 각종 테러사건 및 재난사고가 빈번하게 발생하고 있으며 안전 확인이 되지 않은 재난 현장은 매우 위험하기 때문에 구조 요원이 조기에 투입되지 못하여 더 큰 피해를 보는 경우가 많이 발생한다. 이러한 이유 때문에 사람을 대신하여 조기에 투입하기 위한 구조용 로봇의 필요성이 대두되었고, 이동로봇 기술의 발전에 따라 구조용 로봇기술 역시 급속히 발전하고 있다[2]. 또한 이러한 상황을 초기에 발견하고 대처한다면 더 큰 피해를 방지할 수 있을 것이다.

일반적으로 실내환경에서는 복도 등의 벽이나 문 혹은 가구 등을 특징점으로 추출하여 이동로봇의 지도작성이나 주행에 이용하지만 실외환경에서는 인공표식을 사용하지 않는 경우에는 특징점을 찾기가 어렵다. 실외용 로봇은 원격관리자에게 실외환경을 전송하기 위한 영상장치와 거리 측정을 위한 초음파(ultrasonic) 센서, 적외선(IR: infra-red)센서, 레이저 거리 측정계(LRF: Laser Range Finder) 등 다양한 센서들을 장착하고 있다. 이러한 센서를 이용하여 특별한 자연표식이 없

는 실외환경에서 도로의 차도와 인도를 구분하는 연석(curb)을 특징점으로 추출하여 연석의 위치를 알아내고 지도작성 및 주행에 이용하여 주행시에 위치추정이나 충돌방지 및 경로추종제어에 이용할 수 있다.

본 논문은 산업단지나 연구소 등을 순찰하면서 재난상황을 조기에 감지하고 알림으로써 재난사고로부터 피해를 최소화할 수 있는 순찰용 로봇시스템을 개발하는 것이 목적이다. 이동로봇이 원격조종에 의해 실외에서 주행하는데 필요한 환경지도작성 방법과 충돌회피에 관한 연구는 기존에 발표한 바 있으며[3] 본 논문에서는 DGPS 정보와 자세센서 정보를 혼합하여 EKF(Extended Kalman Filter) 알고리즘에 의한 로봇의 위치추정 알고리즘개발과 레이저 거리측정 장치로 도로의 연석위치를 추출하여 연석지도작성을 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 순찰용 로봇시스템을 설명하고 위치추정에 관한 알고리즘은 III장에서 다루었다. IV장에서는 연석추출 알고리즘을 제안하였으며 V장에서는 경로추종제어를 설명하고 VI장에서는 실험결과를 제시하였으며 VII장에서는 결론을 언급하였다.

II. 순찰용 로봇시스템

1. 시스템 구성

순찰용 로봇의 구성은 그림 1과 같다. 이동로봇 플랫폼으로 4륜 차동 skid 조향방식으로 주행을 하고 내부에 거리주행계가 장착되어 있는 RWI사의 ATRV-mini를 사용하였다. 실외 주행을 위하여 이동로봇 플랫폼에 장애물을 감지하고 연석을 추출하기 위한 레이저 거리 측정장치(LRF: Laser Range Finder)를 틸트장치에 장착하였으며 전역 위치추정을 위하여 DGPS수신기 및 3축 자세센서를 장착하였다. 또한 순찰 주행 중 실외환경정보를 원격조종기에 전송하기 위하여 팬/틸트기능이 있는 카메라를 장착하였다. 원격조종기는 무선랜 통신에 의해 로봇을 자동/수동모드로 제어할 수 있으며 로봇으로

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 1., 채택확정 : 2006. 12. 22.

노치원, 홍석교 : 아주대학교 전자공학과

(ctrl88@naver.com/skhong@ajou.ac.kr)

김문준 : 위아주식회사(mjkim@wia.co.kr)

김승훈, 강성철 : 한국과학기술연구원

(ksh1018@kist.re.kr/kasch@kist.re.kr)

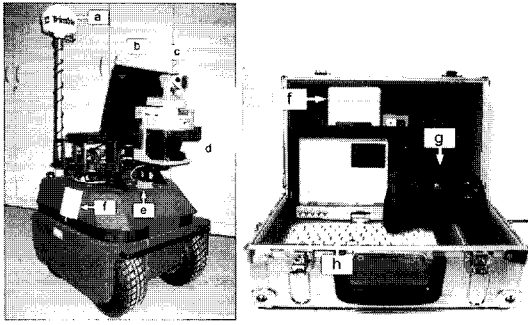


그림 1. 순찰용 로봇시스템 구성.
 Fig. 1. Patrol robot system configuration: (a) DGPS antenna (b) PC (c) Pan-tilt camera (d) LRF (Laser Range Finder) (e) MTI 3-axis attitude/heading sensor (f) Wireless LAN bridges (g) Joypad (h) Control station.

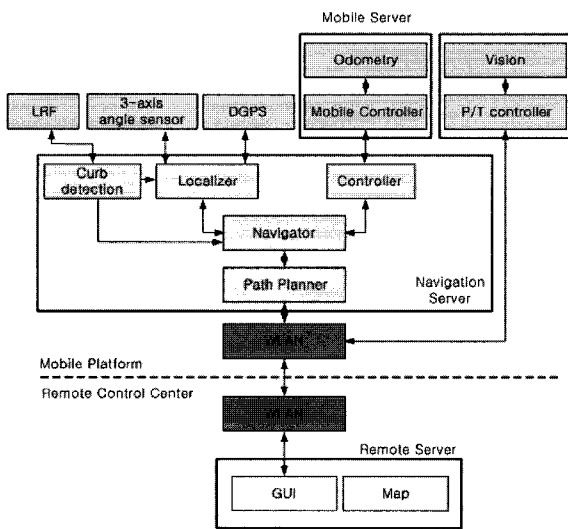


그림 2. 순찰용 로봇 소프트웨어 구조도.
 Fig. 2. Patrol robot software diagram.

부터 전송된 영상정보 및 LRF 정보를 표시한다.
 그림 2는 순찰용 로봇시스템의 소프트웨어 구조를 나타낸다. 전체 시스템은 이동부서버, 주행서버, 원격조종서버 세 부분으로 나눌 수 있으며 이동부서버는 ATRV 이동부의 주행을 담당하며 주행서버로부터 속도 및 각속도 명령에 따라 모터를 제어하며 거리주행계 정보를 주행서버로 전송한다.

주행서버는 LRF 정보, 자세센서정보, DGPS 데이터를 이용하여 위치추정 및 연석추출 알고리즘을 수행하며 경로계획 및 경로추종제어 알고리즘을 수행하여 이동부를 제어하는 기능과 원격조종서버와 무선랜으로 연결되어 영상정보, 주행정보 및 LRF 데이터를 전송하는 기능을 수행한다.
 원격조종서버는 로봇을 자동/수동 두 가지 모드로 동작시킬 수 있으며 영상정보 및 로봇의 주행정보를 표시한다.

2. 센서장치

2.1 거리주행계

거리주행계(odometry)는 로봇 휠에 장착되어 모터의 회전속도를 측정하여 로봇의 위치 및 각도를 계산하는데 사용된다. 로봇의 위치를 구하기 위해서는 좌우 휠의 회전속도로부

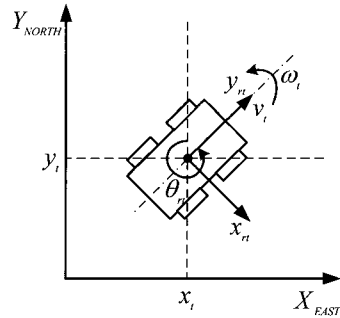


그림 3. 거리주행계의 기구학 모델.
 Fig. 3. Kinematic model for odometry.

터 선속도 $v(t)$ 와 각속도 $\omega(t)$ 를 구하여 수치적분을 해야 한다. 이러한 수치적분을 통한 로봇의 위치계산은 로봇 모델의 오차와 엔코더 정밀도의 제한 및 휠의 미끄러짐과 같은 여러 요인들로 인하여 오차가 누적되게 된다. 그러므로 거리주행계의 오차를 극복하기 위하여 DGPS 수신기나 자세센서 같은 외부센서 정보를 혼합하여 위치를 추정하는 것이 요구된다. 그림 3은 로봇의 기구학 모델을 나타낸다.

이동로봇의 기구학 모델은 다음과 같다.

$$\dot{x}_t = f(x_t, u_t, t) + w_t$$

$$f(x_t, u_t, t) = \begin{pmatrix} -v_t \sin \theta_t \\ v_t \cos \theta_t \\ \omega_t \end{pmatrix} \quad (1)$$

로봇의 상태벡터 $x_t = [x_{rt}, y_{rt}, \theta_{rt}]^T$ (T 는 전이행렬)는 로봇의 위치와 각도, $u_t = [v_t, \omega_t]^T$ 는 거리측정계에 의한 로봇의 이동속도를 나타내며 여기서 v_t 는 선속도와 ω_t 는 각속도를 나타낸다. 또한 이 기구학 모델의 잡음을 가우시안이라고 가정하면 오차모델은 $w_t \sim N(0, Q_t)$ 와 같다. 여기서 Q_t 는 상태들의 공분산행렬을 나타내며 다음과 같다.

$$Q_t = \begin{pmatrix} \sigma^2_{x_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2_{y_{rt}} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2_{\theta_{rt}} \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 레이저 거리 측정장치(LRF: Laser Range Finder)

레이저 거리 측정장치는 레이저를 투사하여 반사되어 오는 시간을 측정하여 물체까지의 거리를 측정하는 장치이며 SICK사의 LMS200을 사용하였다. LRF는 180° 범위를 0.25도, 0.5도 또는 1도 간격으로 측정할 수 있으며 최대측정거리는 8m나 80m로 사용할 수 있다. 연석추출을 위하여 LRF를 틸팅장치에 장착하였으며 로봇의 주행서버와는 RS422 통신방식으로 연결하여 데이터의 갱신율을 높였으며 측정거리 8m, 0.5도 간격으로 스캔하였다.

2.3 자세센서와 DGPS 수신기

로봇의 거리측정계만으로는 로봇의 자세를 추정하는데 오차가 발생하게 된다. 로봇의 방향각 보정을 위하여 XSSENS사

의 MTI 3축 자세센서를 사용하였다. MTI는 저전력 소형 센서로 3축 가속도센서, 3축 자이로 및 3축 자기센서로 구성되어 있으며 3축 각도와 방향각이 출력된다. 각도 분해능은 0.05도이고 정적 정확도는 1도 이하이며 동적 정확도는 2도 내의 성능을 갖는다. 주행서버 PC와는 USB로 연결되며 100msec의 주기로 데이터를 전송한다. 자세센서의 방향각은 로봇 몸체의 자기장이나 모터 등의 자기장 변화에 민감하므로 자기장 보정 과정을 수행한 후 사용하였다.

전역위치추정 목적으로 Trimble사의 DSM132 DGPS수신기를 사용하였다. DSM132수신기는 NMEA(National Marine Electronic Association) 메시지를 출력하며 위도, 경도 및 가시위성의 개수 등의 정보를 1초에 한 번씩 출력한다. 수신기의 위치오차는 1m 이내이다. 자세센서 및 DGPS 데이터를 이용한 위치추정 알고리즘을 위한 측정모델식은 다음과 같다.

$$z_t = h(x_t, t) + v_t$$

$$h(x_t, t) = \begin{pmatrix} x_{gt} \\ y_{gt} \\ \theta_{at} \end{pmatrix} \quad (3)$$

센서 측정값 $z_t = [x_t, y_t, \theta_t]^T$ 는 로봇의 위치 (x_{gt}, y_{gt}) 와 방향각 θ_{at} 로 구성되며 각각 DGPS와 자세센서로부터 구할 수 있다. 각 센서의 잡음 v_t 가 가우시안이라고 가정하면, 즉 $v_t \sim (0, R_t)$, 공분산 행렬 R_t 는 다음과 같다.

$$R_t = \begin{pmatrix} \sigma^2_{x_{gt}} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2_{y_{gt}} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2_{\theta_{at}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

III. EKF 기반의 위치추정 알고리즘

로봇의 휠에는 거리측정계가 장착이 되어 있어 로봇의 위치를 측정할 수 있지만 시간이 지남에 따라 수치적분 오차 및 휠의 미끄러짐에 의하여 오차가 누적되게 된다. 외부센서로 DGPS데이터와 자세센서 정보를 혼합하여 위치추정을 하기 위한 알고리즘으로 확장칼만필터(EKF: Extended Kalman Filter)를 사용하였다. EKF 알고리즘은 비선형식을 선형화하여 칼만필터를 적용한 것으로 이동로봇을 비롯한 많은 분야에 적용되고 있다[4,5]. 로봇의 위치와 방향각 (x_r, y_r, θ_r) 을 상태변수로 하여 (1)의 로봇기구학식과 (3)의 측정식에 대하여 선형화 작업을 수행한 후 칼만필터를 적용하였다. 거리측정계의 입력이 유효하면 예측단계가 실행되고 DGPS데이터가 유효하면 갱신단계가 실행된다. 만약, 건물에 가려 가시위성의 수가 적거나 Beacon신호가 약하여 DGPS 정보가 입력이 안되는 경우에는 예측단계만 수행된다.

IV. 연석추출 알고리즘

실내이동로봇과 달리 실외에서는 환경지도 작성이나 위치추정 및 주행제어를 위한 특징점들이 제한되어 있다. 그러나 도로 환경에서 인도와 차도를 구분하는 역할을 하는 연석은

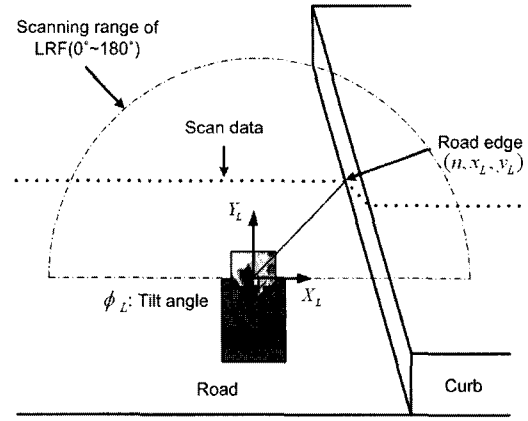


그림 4. LRF를 틸팅하여 도로의 연석 검출.
Fig. 4. Curb detection on the road using a laser range finder with tilt angle.

중요한 특징점으로 사용될 수 있다. Wijesoma등 [6]은 LRF 거리데이터를 EKF 알고리즘을 이용하여 직선을 추출하고 분할하여 연석의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하기도 하였는데 본 논문에서는 호프변환(Hough transform)을 이용하여 실시간으로 연석의 위치를 추출하는 알고리즘을 제안한다. 그림 4와 같이 LRF를 위/아래로 회전시킬수 있는 틸팅장치를 제작하였고 LRF를 아래쪽으로 향하도록 하여 거리를 측정하면 연석의 높이차에 의하여 연석의 위치를 추출할 수 있다. LRF는 0.5도씩 오른쪽에서 왼쪽으로 180도 스캔한 거리 정보 (n, x_L, y_L) 를 로봇의 주행서버 PC로 전송한다. 여기서 n 은 데이터의 스캔번호를 나타내며 x_L, y_L 는 각각 LRF의 중심으로부터의 거리정보를 나타낸다. 이러한 거리정보로부터 연석을 추출하는 알고리즘은 다음과 같다.

1. 호프변환(Hough transform)에 의한 직선 검출

LRF를 틸팅장치에 장착하여 아래로 기울여 거리를 측정하면 도로의 표면은 가장 긴 직선으로 나타나며 연석은 차도와 인도의 경계선에 나타나게 된다. 연석의 위치를 구하기 위하여 먼저 호프변환 [7,8]을 이용하여 LRF 거리데이터로부터 가장 긴 직선을 추출한다. 호프변환에서 각 직선은 (5)에서와 같이 ρ 와 θ 두 개의 파라미터로 표시할 수 있으며 각각 원점에서부터 직선까지의 거리와 각도를 나타낸다.

$$\rho = x_n \cos \theta + y_n \sin \theta \quad (5)$$

여기서 (x_n, y_n) 은 n번째 거리측정데이터를 나타내며 1부터 361의 값을 갖고 각도는 $\theta \in [0, 2\pi)$ 의 범위를 갖는다. 361개의 거리측정데이터를 (5)의 θ 를 0도에서부터 1도씩 360도까지 변화하면서 대입하여 ρ 를 구하고 발생한 횟수를 계수하는 보팅(voting)과정을 거치면 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있다. 보팅과정을 거친 후 가장 많은 횟수가 발생한 ρ_d 와 θ_d 를 구할 수 있으며 이 보팅과정에 참여한 거리데이터가 도로의 표면을 나타나게 되어 그림 6과 같이 최장 직선을 구할 수 있다.

2. 직선의 경계점들의 추출

연석은 차도와 인도의 경계에 있어 LRF 데이터 중에서 최

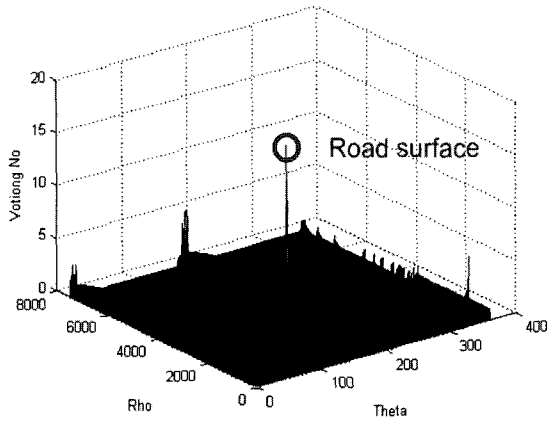


그림 5. 호프변환으로 구한 ρ_d 와 θ_d .

Fig. 5. ρ_d and θ_d found by Hough transform.

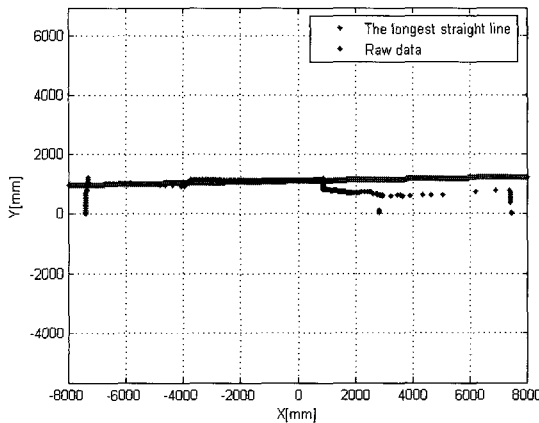


그림 6. LRF 데이터와 호프변환에 의한 최장 직선.

Fig. 6. LRF data and the longest line from Hough transform.

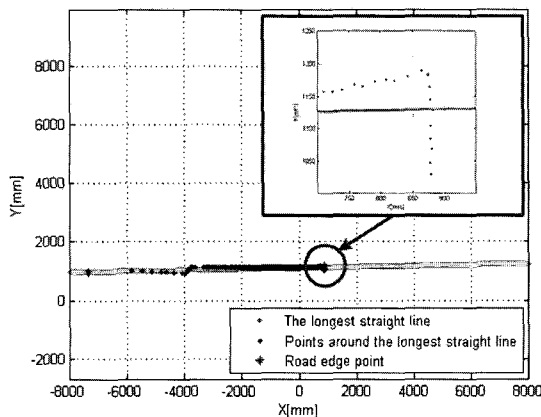


그림 7. 추출된 연석의 위치.

Fig. 7. The extracted curb point.

장 직선의 모서리에 위치하므로 최장 직선을 구성하는 점들을 추출하는 것이 필요하다. 최장 직선의 경계점들을 구하기 위하여 θ_d 에 대하여 ρ 를 구한 후 (6)을 만족하는 점들을 선택을 한다.

$$\rho_d - \Delta\rho \leq \rho \leq \rho_d + \Delta\rho \tag{6}$$

그림 7의 청색점들은 $\Delta\rho$ 가 50mm인 경우에 추출된 점들이다.

3. 연석의 위치 추출

도로 표면의 LRF 데이터는 두가지 특징을 갖고 있다. 첫 번째는 직선상 위에 존재하며 두 점의 간격이 좁다는 것이고 두 번째는 LRF의 x_L 방향에 수평이라는 것이다. (7)에서와 같이 연속하는 두 점사이의 거리가 d 보다 작고 기울기가 σ 보다 작으면 두 점은 직선상에 존재하게 된다.

$$\sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \leq d$$

$$\left| \tan^{-1} \left(\frac{y_i - y_{i+1}}{x_i - x_{i+1}} \right) \right| \leq \sigma \tag{7}$$

이 직선상의 오른쪽 점들이 도로의 모서리를 나타내며 또한 연석의 시작점을 나타내게 된다. 그러므로 연석의 위치는 최장 직선의 오른쪽 마지막 점의 위치가 된다.

V. 경로추종제어기

이동 플랫폼으로 사용한 ATRV로봇은 4휠 차동 skid 조향 방식으로 논홀로노믹(nonholonomic) 특성을 갖는다. 논홀로노믹 특성을 갖는 이동로봇의 경로 추종 제어기로 여러가지 비선형 제어가 제안되었으며 특히 Kanayama등 [9]은 직각좌표계에서 경로의 기준 선속도와 각속도가 0이 아닌 경우에 기구학적 비선형 제어를 제안하여 점근적 안정성(asymptotic stability)을 증명하였다. 본 논문에서는 경로추종에 적합한 Kanayama 제어를 사용하였다.

VI. 실험결과

1. EKF 알고리즘을 이용한 위치추정실험

로봇의 위치추정을 위한 EKF 알고리즘의 성능을 시험하기 위한 실험을 수행하였다. 로봇은 원격조종기로부터 수동모드, 최대속도 0.8m/s의 명령을 받아 KIST 원내 도로를 주행하였다. 그림 8은 로봇의 주행모습이며 그림 9는 로봇이 (0,0)에서 출발하여 그림 8의 도로를 회전하여 (-30m, 3m)까지 주행하였을 때 거리주행계, DGPS 그리고 EKF에 의해 계산된 위치를 나타낸다. 거리주행계에 의한 위치추정 데이터는 모델의 오차, 휠 축의 어긋남, 미끄러짐 등에 의해 위치오차가 누적되고 있음을 그림 9에서 알 수 있다. 거리주행계 정보는 5Hz, DGPS 데이터는 1Hz, 자세센서는 10Hz로 입력된다. 그림 9의 오른쪽은 도로의 회전점 부근을 확대한 것이며 각 센서의 입력주기가 다르므로 EKF 알고리즘의 예측단계는 200msec마다 수행되고 갱신단계는 새로운 DGPS 데이터가 입력되는 1초마다 수행됨을 알 수 있다. DGPS 데이터는 1m의 오차범위를 갖고 있었는데 EKF 알고리즘에 의한 위치추정에 의해 오차범위를 0.5m 내로 줄이는 결과를 얻을 수 있었다.

2. 연석추출 실험

제한한 연석추출 알고리즘의 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 그림 4에서와 같이 로봇의 LRF 틸팅각을 25도로 하였고 (7)의 연석추출을 위한 d 와 σ 는 각각 50mm



그림 8. 도로를 주행중인 로봇.
Fig. 8. The robot driving along a road.

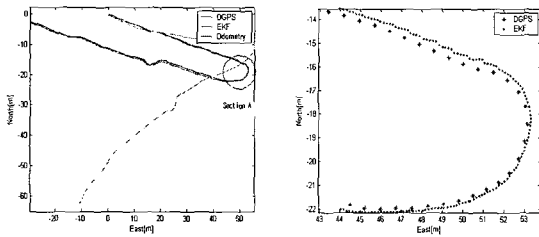


그림 9. EKF 알고리즘에 의한 로봇의 위치추정.
Fig. 9. The robot's localization experiment from the EKF algorithm.

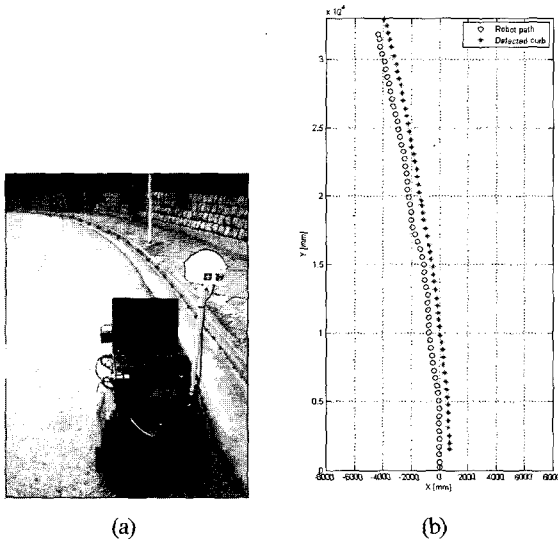


그림 10. 연석추출 실험.
Fig. 10. Curb detection experiment (a) The mobile robot tracking the curb (b) Robot path and detected curb.

와 $\pi/4$ 로 설정하였다. 그림 10의 청색원은 로봇의 경로를 표시하며 적색은 검출된 연석의 위치를 나타낸다. 로봇이 지그재그 주행을 하는 경우에도 검출된 연석의 경로는 평탄한 것을 알 수 있다. 검출된 연석의 평균 오차는 20mm로 성능이 우수함을 확인하였다.

3. 경로추종 실험

순찰용 로봇은 자동모드로 동작시 경로가 주어지면 경로 추종 제어기에 의해 자율주행을 수행하게 된다. 경로추종제

어의 성능을 시험하기 위하여 직선경로를 주행하는 경우와 곡선경로를 주행하는 경우에 대한 실험을 수행하였다.

3.1 직선경로 실험

목표지점이 (78m, -22m)이고 0.5m/sec의 속도로 직선경로를 설정하여 경로추종 실험을 수행하였다. Kanayama 제어기의 파라미터는 모의실험 및 실험을 통하여 구했으며 그림 11~13은 주행경로, 제어명령 그리고 위치오차를 나타낸다. 그림 11은 기준경로와 추종경로를 나타내며 주행 중 X축으로 12m 지점에서 DGPS 위치데이터가 1m정도의 오차가 발생하여 기준경로를 벗어났다가 다시 주어진 경로를 추종하였고 최종위치에서는 20cm의 오차를 보였다. 로봇이 도로를 주행 시 연석과 떨어진 거리에서 주행을 한다면 20cm의 오차는 주행에 위험요소가 안 될 수도 있지만 연석과 근접하여 주행하는 경우에는 위험할 수가 있다. 추후에 연석지도를 이용하여 로봇의 자세보정을 하는 알고리즘을 개발하여 적용하면 로봇은 안전한 주행을 수행할 수 있을 것이다.

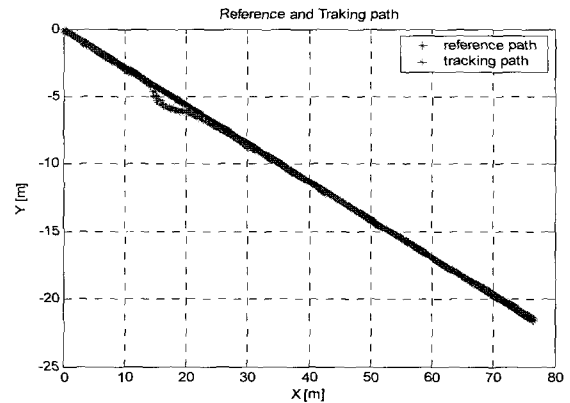


그림 11. 기준경로와 추종경로.
Fig. 11. Reference path and tracking path.

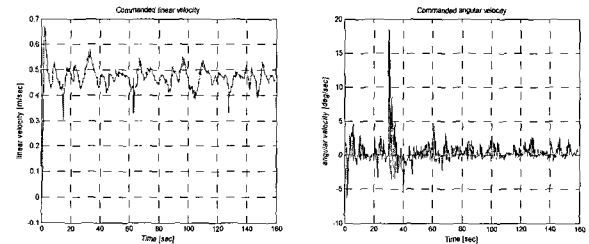


그림 12. 제어기의 선속도와 각속도.
Fig. 12. Controller linear velocity and angular velocity.

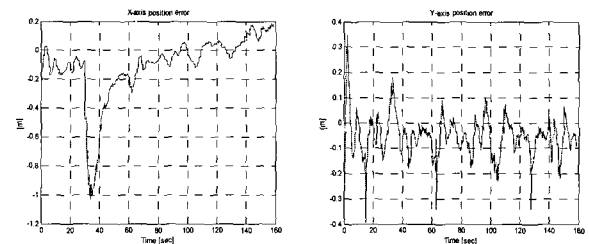


그림 13. 로봇 좌표계에 대한 x축과 y축 위치오차.
Fig. 13. x and y position error for robot coordinate.

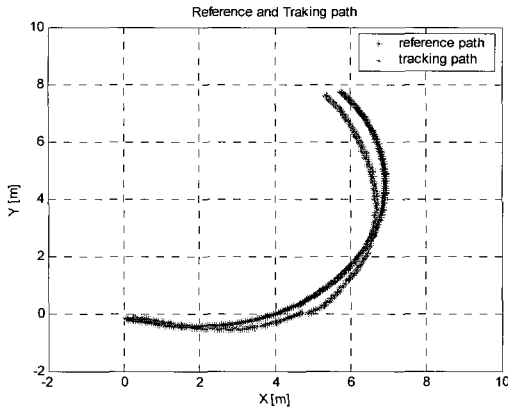


그림 14. 기준경로와 추종경로.

Fig. 14. Reference path and tracking path.

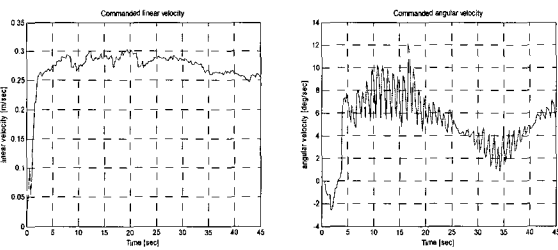


그림 15. 제어기의 선속도 및 각속도.

Fig. 15. Controller linear velocity and angular velocity.

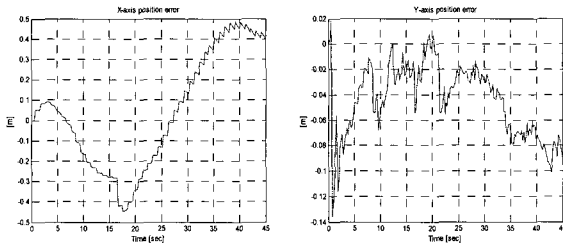


그림 16. 로봇 좌표계에 대한 x축과 y축 위치오차.

Fig. 16. x and y position error for robot coordinate.

3.2 곡선경로 실험

곡선경로에 대한 경로추종제어기의 성능을 시험하기 위한 실험을 수행하였다. 0.3m/s의 선속도와 0.06rad/s의 각속도로 경로를 생성하여 로봇이 추종하도록 하였다. 그림 14~16은 주행경로, 제어 명령 그리고 위치오차를 나타낸다. 그림 14는 기준경로와 추종경로를 나타내며 최종위치에서 X축으로 40cm의 위치오차와 7도의 각도오차를 나타내었다. 오차가 직선주행시 보다 커진 이유는 ATRV의 skid 조향방식에 의한 것이며 오차를 줄이기 위해서는 경로추종제어기의 이득을 최적화하는 것이 필요하다.

VII. 결론

본 논문은 산업단지나 연구소 등의 도로를 주행하면서 화재 및 재난을 감시하고 순찰하는 로봇의 개발을 목적으로 하였다. DGPS와 거리주행계 및 자세센서를 혼합하여 EKF 알고리즘에 기반한 위치추정을 수행하였으며 로봇이 주행 중에 충돌방지를 하거나 자세보정을 위하여 도로의 연석위치를 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 순찰용 로봇은 자동모드와 수동모드로 동작할 수 있으며 주행 중에 영상정보를 원격조종기에 전송한다. 수동모드에서는 원격조종에 의하여 주행하며 자동모드에서는 경로추종제어기에 의하여 주어진 경로를 자율주행하게 된다. 실험을 통하여 위치추정 알고리즘 및 연석추출 알고리즘의 성능을 확인하였으며 직선 및 곡선 경로에 대한 경로추종제어기의 성능을 확인하였다.

향후에는 연석지도를 바탕으로 로봇의 자세를 보정하는 알고리즘의 개발 및 실용적인 순찰용 로봇의 개발을 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robot*, MIT Press, Cambridge, 2004.
- [2] S. C. Kang, W. S. Lee, M. S. Kim, and K. C. Shin, "ROBHAZ-Rescue: Rough-terrain negotiable teleoperated mobile robot for rescue mission," *IEEE Int. Safety, Security and Rescue Robotics Workshop*, pp. 110-115, 2005.
- [3] S. H. Kim, C. W. Roh, S. C. Kang, and M. Y. Park, "A hybrid autonomous/teleoperated strategy for reliable mobile robot outdoor navigation," *SICE-ICASE Int. Joint Conf.*, Pusan, Korea, pp. 3120-3125, 2006.
- [4] K. Ohno, T. Tsubouchi, B. Shigematsu, S. Maseyama, and S. Yuta, "Outdoor navigation of a mobile robot between buildings based on DGPS and odometry data fusion," *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1978-1984, 2003.
- [5] R. Madhavan and H. F. Durrant-Whyte, "2D map-building and localization in outdoor environments," *Journal of Robotic Systems*, vol. 22, pp. 45-63, 2004.
- [6] W. S. Wijesoma, K. R. S. Kodagoda, and A. P. Balasuriya, "Road-boundary detection and tracking using lidar sensing," *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, vol. 20, no. 3, pp. 456-464, 2004.
- [7] J. Forsberg, U. Larsson and A. Wernersson, "Mobile robot navigation using the rangeweighted Hough transform", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 2, pp. 18-26, March 1995.
- [8] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures," *Communications of the ACM*, vol. 15, pp. 11-15, 1972.
- [9] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 384-389, 1990.



노치원

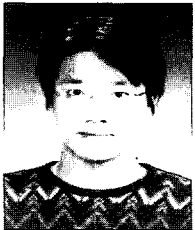
1995년 아주대학교 제어계측공학과 졸업. 1997년 동 대학원 제어공학과 졸업. 1997년~1999년 LG산전 플랜트 연구소 연구원. 2001년 아주대학교 대학원 전자공학과 박사과정수료. 2004년~2006년 KIST 지능로봇연구센터 위촉연구원. 관

심분야는 최적/강인제어이론, 비선형제어, 자율주행로봇.



김승훈

1979년 10월 18일생. 2002년 한양대학교 전자컴퓨터공학부(공학사). 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 학생연구원. 현재 연세대학교 전기전자공학과(공학석사) 재학. 관심분야는 지능제어, 모바일 로봇.



김문준

1977년 6월 7일생. 2001년 동아대학교 기계공학과(공학사), 2003년 부산대학교 지능기계공학과(공학석사). 현재 위아주식회사 선행연구개발부 재직. 관심분야는 원격제어, 임베디드 시스템, 비선형제어.



강성철

1989년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 1991년 서울대학교 석사 졸업. 1998년 서울대학교 기계설계학과 박사 졸업. 1991년~1999년 KIST 휴먼로봇연구센터 연구원. 1999년~2000년 일본 기계기술연구소(MEL) 로봇연구부 박사후 연구원.

1999년~2005년 KIST 지능로봇연구센터 선임연구원. 2005년~현재 KIST 지능로봇연구센터 책임연구원. 관심분야는 지능형 dependable 매니플레이션, 위험작업용 필드 서비스로봇, Haptic, Tactile Interface, 소형 비행선 설계, 제어 및 응용.

홍석교

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 11 권 제 10 호 참조.