

Multi-GPS/INS 를 이용한 이동로봇의 정밀 위치인식

유호윤¹, 이인욱¹, 김진호¹, 이장명²

¹ 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, ² 부산대학교 전자공학과

Precise Localization of mobile robot using Multi-GPS/INS

Yu Ho-Yun¹, Lee In-Uk, Kim Jin-Ho, Lee Jang-Myung²

¹Department of Electrical and computer Engineering, Pusan National University,

²Department of Electronic Engineering Pusan National University

e-mail: hoyun7379@pusan.ac.kr, inuk1696@pusan.ac.kr

jinho7379@puan.ac.kr, jmlee@pusan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다중 GPS 수신기를 이용한 실외 정밀 위치인식 시스템을 제안한다. 일반적으로 GPS 신호는 구조적, 기하학적 오차가 발생한다. DGPS, RTK-GPS와 같은 고가 GPS 수신기를 사용하지 않고 대신에 다중의 GPS 수신기를 이용함으로써 저가 GPS의 정확성을 개선할 수 있다. 또한, GPS의 오차를 확장 칼만 필터(EKF)를 이용하여 보상하게 된다. 실외에서 이동 로봇을 이용한 실제 실험을 통해 제안한 시스템의 성능을 확인한다.

1. 서론

이동 로봇의 경로 계획이나 주행 제어를 위해서는 로봇의 위치를 추정하는 것이 필요하다. 위치 추정을 위해 다양한 방법이 연구되고 있는데, 칼만 필터나 파티클 필터를 이용한 상태 추정 기법은 이동 로봇의 위치 추정 문제 해결방법으로 자주 이용되고 있다.[1,2] 이동 로봇 중에서도 무인 지상로봇(AGV)은 물자 수송 및 장거리 이동 등을 수행하는데 적합하여 지속적인 관심을 받고 있는데, 제작 비용이 적으면서 운용이 쉬운 이동 로봇(Mobile Robot)의 위치 추정 및 제어에 관련된 연구가 다양하게 진행되고 있다.

기존의 실외 위치 인식 방법으로 가장 넓게 쓰이고 있는 것은 GPS(Global Positioning System)로 절대 위치를 측정할 수 있지만 큰 오차가 존재한다. GPS의 오차를 보정하기 위한 방법으로 DGPS(Differential GPS)와 RTK-GPS(Real-Time Kinematic GPS)가 주로 사용되고 있다. 하지만 DGPS는 위성의 정보 전송 장애에 강인하지만 기준점이 고정되어야 하는 단점이 있고, RTK-GPS는 기준국을 이동시키면서 측정이 가능하다는 장점이 있는 반면 반송파 측정이 가능한 수신기가 존재해야 하며 전송 장애로 인한 오차가 크다는 단점이 존재하여 각각 한계가 있다.

본 논문에서는 DGPS와 RTK-GPS의 한계를 극복함과 동시에 각각의 장점을 융합하기 위한 방법으로 저가 GPS를 3개를 이용하는 것을 제안한다. GPS 3개를 사용하여 획득한 세 개의 데이터를 삼각 중심 법으로 보정하여 정밀한 GPS 데이터를 얻고, 또한 IMU도 같이 부착한다. 그리고 EKF를 이용하여 위치인식 시스템을 구현하게 된다.

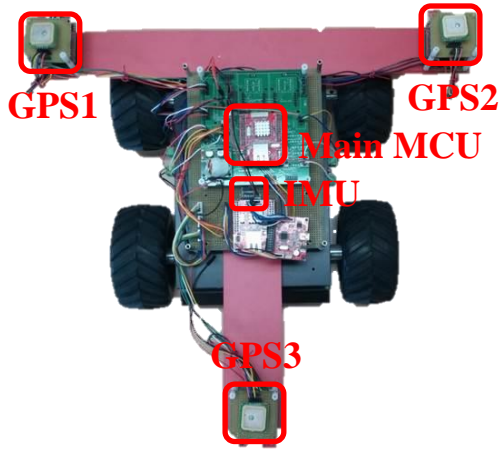
논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 제안하는 시스템의 구성에 대해 설명하고, III 장에서는 이동 로봇의 위치 상태 추정 방법을 서술한다. IV 장에서는 시스템의 알고리즘에 대해 서술하고, V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 시스템 구성

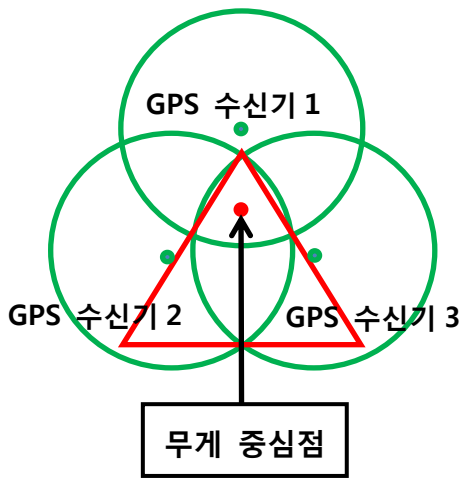
2.1 하드웨어 시스템 구성

이동 로봇의 시스템 구성이 그림 1에 나타나있다. 이동 로봇에는 4개의 DC 모터와 2개의 QEI가 마이크로프로세서(ARM Cortex-M3 LM3S8962)와 연결되어 제어부를 형성한다. 그리고 3개의 GPS 정보를 GPS 수신기(LS20031)를 통해 획득하고, IMU 센서(EBIMU-9DOF)를 통해 가속도, 각속도, 지자기 정보를 획득한다. 이 GPS 수신기와 IMU 센서가 마이크로프로세서와 연결되어 센서부를 형성하게 된다. 제어부에서는 이동 명령을 받아서 모터 제어 명령을 생성시키면, 모터를 회전시킴으로써 이동 로봇의 이동이 제어된다.

이동 로봇에 부착된 GPS 수신기 3개를 이용하여 정확한 위치를 측정하게 되는데 건물의 밀집과 같은 환경적인 요인에 따라 안정적으로 GPS 정보를 획득하기 어려울 때 수신기 3개를 이용하여 각각의 위치 값을 획득하고 삼각 중심법을 이용하여 위치를 계산함으로써 더 정확한 위치 값을 획득할 수 있다. 그림 2는 GPS 수신기 3개를 이용하여 위치를 획득하는 것을 나타낸 것이다.



[그림 1] 이동로봇의 시스템 구성



[그림 2] GPS 수신기 3개를 이용한 위치 획득 방법

GPS 수신기 3 개를 삼각 중심 법을 이용하여 위치추정을 하는 것으로 GPS 수신기의 무게중심이 중앙에 가장 근사하게 위치하여 오차 범위를 가장 최소화시킬 수 있다. 또한 순간 회전 시에도 보다 유연하게 위치를 추정할 수 있다.

$$P(G_i) = (x_i, y_i) \quad (1)$$

$$P(G) = \frac{G_1 \times n_1 + G_2 \times n_2 + G_3 \times n_3}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2)$$

식 (1)은 각각의 GPS 수신 위치를 나타낸 것이고 식 (2)는 다중 GPS 수신기의 위치 계산식이다. 본 논문에서는 GPS 수신기에서 측정된 수신 위성의 수에 따라 가중치를 두어 정밀도를 높였다. G 는 GPS 수신기, n 은 수신기에 측정된 위성의 수를 뜻한다. 여기서 수신된 위성 수가 많은 수신기의 위치 값에 가중치를 둔다.

3. EKF 기반의 이동 로봇 위치 인식

INS 는 짧은 시간에 연속적으로 항법 정보를 제공하지만 가속도 성분의 적분을 통해 위치를 추정하기 때문에 시간이 지날수록 초기 오차 및 관성 센서 오차가 누적되는 특성이 있다. 반면에 GPS 는 절대 위치정보를 제공하지만 구조적·기하학적 오차로 인한 오차가 심하고 지형적 특징에 따라 충분한 개수의 위성으로부터 정보를 받지 못하게 된다. 따라서 GPS 정보를 이용하여 INS 의 오차를 추정함으로써 보정이 가능하다. 본 논문에서는 약결합 방식의 EKF 를 사용하여 INS 와 GPS 를 결합하기 위한 시스템 모델 및 측정 모델을 정의한다.

1. 시스템 모델

EKF 는 INS 의 오차 모델을 이용하여 INS 의 오차를 추정하기 때문에 정확한 오차 모델을 필요로 한다. INS 계산식의 섭동으로 오차식을 유도하여 모델을 구성한다.[4]

$$\frac{\partial R_L}{\partial L} = 0, \frac{\partial R_l}{\partial L} = 0, \delta \omega_{ie}^n = 0, \delta \omega_{en}^n = 0 \quad (3)$$

L 은 위도, R_L 과 R_l 는 각각 지구의 위, 경도 반지름이고 ω_{ie}^n 과 ω_{en}^n 은 각각 항법좌표계 상의 지구자전 각속도와 물체의 회전각속도이다. 따라서 오차 모델은 15 차 모델로 다음과 같이 설정할 수 있다.[5-6]

$$\dot{x}_{INS}(t) = F(t)x(t) + G(t)w(t), w \sim N(0, Q)$$

$$= \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & \Omega_N & f^n \times & C_b^n & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & \Omega_D & 0_{3 \times 3} & -C_b^n \\ & & 0_{6 \times 15} & & \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ C_b^n & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & C_b^n \\ 0_{6 \times 3} & 0_{6 \times 3} \end{bmatrix} w(t) \quad (4)$$

여기서 오차 상태변수는 식 (5)로 정의된다. [5]

$$x = [\delta V_N \ \delta V_E \ \delta V_D \ \phi_N \ \phi_E \ \phi_D \ \nabla_x \ \nabla_y \ \nabla_z \ \varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \delta L \ \delta l \ \delta h]^T \quad (5)$$

식 (5)에서 $\delta V, \phi$ 는 각각 속도오차 벡터와 자세오차 벡터이고, ∇ 와 ε 는 가속도계의 바이어스와 자이로 드리프트를 나타낸다. N, E, D 는 항법 좌표계에서 북쪽, 동쪽, 수직아래방향을 의미하고, x, y, z 는 동체 좌표계에서 Roll, Pitch, Yaw 축을 의미하며, L, l, h 는 각각 항체의 위도, 경도, 고도를 의미한다..

2. 측정 모델

INS/GPS 시스템에서 측정 모델은 이동 로봇의 운항 정보와 결합 방식에 따라 설계된다. 여기서는 약결합 방식을 사용하므로 이동 로봇이 정지상태, 운항 중에 따라 다음과 같이 측정 모델을 설계할 수 있다.

2.1 정지상태

이동 로봇이 정지한 상태에서 측정 가능한 정보는 속도 정보이고, 모든 방향의 속도가 0 이므로 다음과 같이 측정 모델을 설정할 수 있다.

$$z(t) = V_{INS} = Hx(t) + v(t) \quad (6)$$

$$H = [0_{3 \times 3} \quad I_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 9}]$$

2.2 운항 중

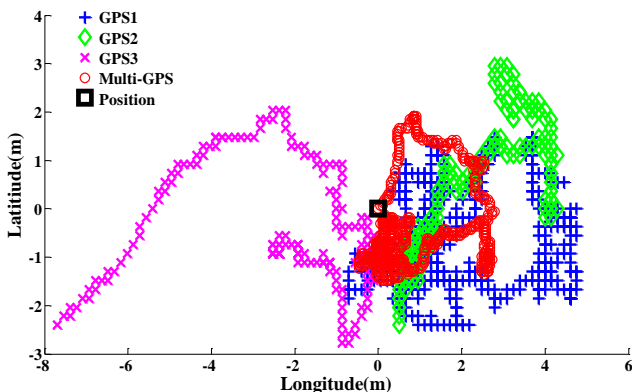
차량이 운항하는 중에는 GPS 수신기에서 계산된 위치와 속도 정보를 측정치로 사용할 수 있다. 측정 모델은 다음과 같다.

$$z(t) = \begin{bmatrix} P_{INS} - P_{GPS} \\ V_{INS} - V_{GPS} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$H = [I_{6 \times 6} \quad 0_{6 \times 9}]$$

4. 실험 및 결과

4.1 단일 GPS와 다중 GPS의 비교



[그림 3] 정지 상태에서의 단일 GPS와 다중 GPS

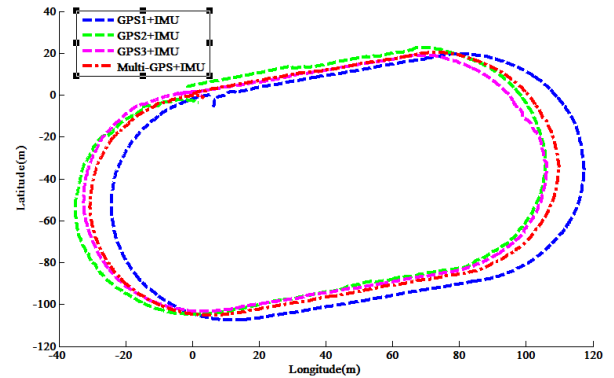
표 1. 정지 상태의 단일 GPS와 다중 GPS의 위치 오차

분류	최대 위치 오차(m)	평균 위치 오차(m)
GPS1	5.0394	2.3873
GPS2	4.5428	2.0356
GPS3	8.0585	2.2151
Multi-GPS	2.9325	1.3145

그림 3 는 단일 GPS 와 다중 GPS 의 성능을 비교하기 위하여 특정 Position(위도: 35.139347, 경도: 129.049213)에서 정지 상태로 30 분 동안 각각의 수신기에서 데이터를 획득한 것이다. 표 1 은 단일 GPS 3 개와 다중 GPS 의 최대 위치 오차와

평균 위치 오차를 계산한 결과이다. 위 실험을 통해 단일 GPS 를 이용한 것보다 다중 GPS 를 이용하는 것이 더 정밀한 위치 데이터를 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.

그리고 부산대학교 대운동장에서 이동 중인 이동로봇의 단일 GPS 와 다중 GPS 를 비교하기 위해 절대 위치정보를 획득한 뒤, 칼만 필터를 이용하여 GPS 의 순간 오차를 보정하였다. 일정 시간 동안 GPS 에서 획득한 위치를 통해 다음 위치를 계산하였다. 이를 통해 획득한 값을 칼만 필터의 측정치로 이용하였다[3-4].



[그림 4] 단일 GPS 와 다중 GPS 의 결과

표 2. 단일 GPS 와 다중 GPS 의 위치 오차

분류	평균 위치 오차(m)
GPS1	1.6315
GPS2	1.7292
GPS3	1.0218
Multi-GPS	0.7332

그림 4 는 실제 환경에서 이동 로봇의 이동을 통해 얻은 단일 GPS 의 값과 다중 GPS 시스템을 적용한 값의 결과이다. 또한, 표 2 는 그에 따른 평균 위치 오차를 나타낸 것이다. 단일 GPS 의 경우 외부 요인으로 인해 발생하는 오차를 그대로 받아들이기 때문에 위치 오차의 범위가 넓고 순간 오차는 크다. 하지만 다중 GPS 시스템은 삼각 중심법을 통해 이동로봇의 중심점을 잡아줌으로써 서로의 오차 요인을 상쇄시키고 오차 범위와 순간 오차가 감소하여 완만한 형태의 결과를 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 실외에서의 위치인식을 위해 다중 GPS 에서 획득한 정밀한 절대 위치 데이터를 이용하였다. GPS 수신기에서 수신된 위성 수에 따른 가중치를 두어 삼각 중심법을 적용하였다. 또한, 확장 칼만 필터를 이용하여 GPS 에서 발생하는 오차를 보정하였다. 그리고 단일 GPS 와 비교 실험을 통해 다중 GPS 의 정밀성을 검증하였다. 추후에는 무선 통신을 결합하여 무선 통신을 통해

획득한 다중 로봇 간의 거리 정보를 칼만 필터의 상태변수로 활용하여 위치 정보를 보정하는 다중 로봇의 상호위치인식 시스템을 구현할 예정이다.

후기

본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 산업융합·연계형 로봇창의인재양성사업의 연구결과로 수행되었음.(N0001126)

참고문헌

- [1] 노성우, 김태균, 고낙용, 배영철, “이동로봇의 GPS 위치 정보 보정을 위한 파티클 필터 방법”, 한국전자통신학회 논문지, 제 7 권, 제 2 호, pp. 381-389, 2012.
- [2] 문희창, 손영진, 김정하, “다중 GPS 를 이용한 무인자동차의 주행 알고리즘 개발”, 제어로봇시스템학회 논문지, 제 14 권, 제 1 호, pp. 27-35, 2008.
- [3] Kazunori Ohno, Takashi Tsubouchi, Bunji Shigematsu, Shoichi Maeyama and Shin'ichi Yuta, “Outdoor Navigation of a Mobile Robot between Buildings based on DGPS and Odometry Data Fusion”, IEEE International Conference on Robotics & Automation, vol. 2, pp. 1978-1984, September 2003.
- [4] J. A. Farrell and M. Barth, “The Global Positioning System & Inertial Navigation,” McGraw-Hill, 1999.
- [5] J. W. Seo, H. K. Lee, J. G. Lee, and C. G. Park, “Lever arm compensation for GPS/INS/Odometer integrated system”, IJCAS, vol.4, no.2, pp. 247-254, 2006.
- [6] 조성윤, “경사각을 갖는 관성항법시스템 초기 정밀정렬의 오차 분석”, 한국제어로봇시스템학회, vol. 14, no. 6, June, 2008.
- [7] 김성필, “칼만필터의 이해”, 아진 도서출판, 2010.
- [8] 최승환, 김윤기, 황요섭, 김현우, 이장명, “다중 GPS를 이용한 EKF 기반의 실외 위치 추정 시스템”, 한국로봇학회 논문지, 제8권 제2호, 129-135, June, 2013.