

다중 이동 로봇의 주행 계와 저가 GPS 데이터의 최적 융합을 통한 2차원 공간에서의 위치 추정

Cooperative Localization in 2D for Multiple Mobile Robots by Optimal Fusion of Odometer and Inexpensive GPS data

조 경 환¹, 이 지 홍[†], 장 철 수³

Jo Kyoungwan¹, Lee Jihong[†], Jang Choulsoo³

Abstract We propose a optimal fusion method for localization of multiple robots utilizing correlation between GPS on each robot in common workspace. Each mobile robot in group collects position data from each odometer and GPS receiver and shares the position data with other robots. Then each robot utilizes position data of other robot for obtaining more precise estimation of own position. Because GPS data errors in common workspace have a close correlation, they contribute to improve localization accuracy of all robots in group. In this paper, we simulate proposed optimal fusion method of odometer and GPS through virtual robots and position data.

Keywords : Cooperative Localization, Multiple Robots, Mobile Robot, Sensor Fusion, GPS

1. 서 론

정확한 위치 추정은 자율 주행하는 이동 로봇에게 요구되는 가장 기본적인 능력이다^[1]. 실내 혹은 실외를 불문하고, 이동 로봇은 주어진 작업을 수행하기 위해서 자신의 정확한 위치를 파악해야만 한다. 그에 따라 이동 로봇의 위치 추정에 관한 연구들은 다종의 센서를 활용하거나^[2,3], 혹은 다양한 기법 등을 이용하는 등^[4,5], 여러 방향으로 진행되어 왔다. 그러나 사실 현재의 위치 추정 방법들의 대부분은 이동 로봇 자체에서 자신의 움직임을 측정하는 데이터와 외부의 장치에 의해서 로봇의 움직임을 관측한 데이터를 어떻게 최적으로 결합시킬 것인가에 초점이 맞추어져 있다. 즉, 많은 연구들이 단일 로봇의 위치

추정을 중심으로 이루어지고 있으며, 다중 로봇 시스템의 위치를 추정할 경우에도 단일 로봇의 위치 추정과 동일하게 자신만의 센서를 활용하고 있다^[6,7].

최근 보다 효율적인 작업 수행을 위해서, 많은 로봇 어플리케이션들이 상호 협동 작업을 하는 경우가 증가하고 있다. 그러나 이러한 협동 작업을 위한 다중 이동 로봇의 위치 추정의 대부분은 단일 로봇의 경우와 동일하게 고려되고 있다. 즉, 여러 대의 이동 로봇이 자신이 수집할 수 있는 정보만을 이용하여 자신의 위치를 추정할 뿐, 다른 로봇의 정보를 활용하여 않는다는 것이다. 물론 이 방법은 많은 독립적인 혹은 상관관계를 갖는 센서들 간의 조합을 고려하지 않기 때문에 상대적으로 간단하다. 반면에 로봇 자신이 수집할 수 있는 센서 정보 외에 다른 로봇이 수집한 센서 정보를 활용할 경우, 추정 알고리즘이 복잡해지나, 보다 강인하고 정확한 위치 추정이 가능해진다^[8,9].

본 논문에서는 다중 로봇의 위치를 추정하기 위해서 자신이 지니고 있는 주행계와 저가 GPS뿐만 아니라 나머지 로봇의 주행계와 저가 GPS 데이터 역시 활용하는 다중 로봇의 상호 협동 위치 추정(Cooperative Localization)방법을 제안한다. 이 방법은 기본적으로 DGPS의 개념을 바탕으로

* 본 연구는 방위사업청/민군겸용기술센터와 정보통신부/정보통신 연구진흥원의 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행하였음
[06-DU-LC-01, 네트워크 기반 다목적 견마형 로봇 기술 개발]

[†] 교신저자: 충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단 교수
(E-mail : jihong@cnu.ac.kr)

¹ 충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단 석사 과정
(E-mail : neoview@cnu.ac.kr)

³ 한국전자통신연구원 지능형로봇연구단 선임연구원
(E-mail : jangcs@etri.re.kr)

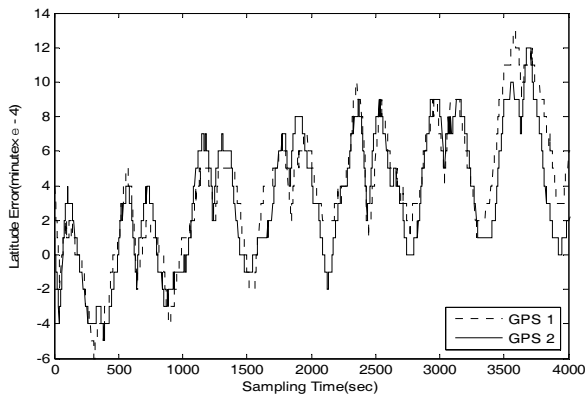


그림 1. 일정 공간 내에서 두 GPS 수신기의 위도 데이터

하고 있으며, 작업 공간 내에 있는 모든 이동 로봇의 GPS 수신기는 유사한 오차를 가지고 있는 위도 및 경도를 계산해낸다는 사실을 활용한다.

2장에서는 일정한 작업 공간 내에서 수신된 GPS들 간의 위치 오차 상관 관계를 설명하고, 3장에서는 상호 협동 위치 추정 방법을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 살펴 보고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 동일한 공간 내에 위치한 GPS 데이터들간의 상관 관계

본 논문에서 제안하고 있는 다중 이동 로봇의 상호 협동 위치 추정은 일정한 작업 공간 내에 위치한 저가 GPS 데이터 오차들간의 상관 관계의 가정하에 이루어진다.

GPS의 측위 오차는 크게 구조적 요인에 의한 오차와 위성의 배치 상태에 따른 오차로 나눌 수 있다. 특히, 구조적인 요인은 위성시계의 오차, 위성 궤도의 오차, 대기권 전파 지연 오차, 수신기 자체에서 발생하는 오차 등을 말하며, 이 오차들은 두 대 이상의 GPS 수신기를 이용하면 동일한 오차 성분을 어느 정도 소거하는 것이 가능하다. 이것이 DGPS의 원리이며, 다중 이동 로봇이 각각 저가의 GPS를 가지고 있다면, 이를 활용하여 위치 추정 성능을 향상시킬 수 있다.

실제로 두 대의 저가 GPS수신기를 일정 공간 내에서 위치시키고, 수신되는 위치 데이터를 비교해 보았다. 그 결과 그림 1과 같이 두 GPS에서 얻은 위치 데이터의 오차는 매우 유사한 경향을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

3. 다중 이동 로봇의 상호 협동 위치 추정

3.1 문제 설정

본 논문에서 다룰 다중 이동 로봇은 아래와 같은 가정을

비탕으로 하고 있다.

1. m 대의 다중 로봇은 2차원 평면을 움직이며, 그들의 움직임은 선형 혹은 비선형적인 방정식으로 표현될 수 있다.
2. 각 로봇은 그 자신의 위치를 추정하기 위해서 주행 계, GPS 수신기를 장착하고 있다.
3. 모든 로봇은 서로 간의 정보를 교환할 수 있는 통신 장치를 부착하고 있다.

3.2 상호 협동 위치 추정을 위한 최적 가중치

단일 로봇의 센서 데이터만을 활용하여 자신의 위치를 추정하는 것에 비해서 다중 이동 로봇이 가지고 있는 다중 센서 정보들을 통합할 경우 보다 정밀한 위치 추정뿐만 아니라 보다 강인한 위치 추정이 가능해진다. 우리는 다중 센서 정보를 활용하는 문제를 각 센서 데이터들의 선형적인 조합의 관점에서 접근하기로 한다.

만약 m 대의 이동 로봇이 일정한 작업 공간 내에 존재한다면, 본 논문에서 제안하는 다중 로봇의 상호 협동 위치 추정 방법에 의한 m 대 로봇들의 위치는 아래와 같이 표현된다.

$$\hat{P} = P_g - WP_g + WP_o \quad (1)$$

여기서, $P_g \in \mathbb{R}^{2m \times 1}$ 는 GPS 데이터에 의해서 추정된 m 대 로봇의 2차원 위치 좌표이며, $P_o \in \mathbb{R}^{2m \times 1}$ 는 주행계 데이터에 의해서 추정된 m 대 로봇의 2차원 위치 좌표이다. $W \in \mathbb{R}^{2m \times 2m}$ 는 가중치 행렬이며, 다음에서는 최적의 가중치 행렬을 유도할 것이다.

추정된 로봇들의 위치에 대한 공분산은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$V(\hat{P}) = E[(\hat{P} - \bar{\hat{P}})(\hat{P} - \bar{\hat{P}})^T] \quad (2)$$

여기서, $\bar{\hat{P}}$ 는 \hat{P} 의 기대 값이며, 식 (2)에 식 (1)을 대입하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$V[\hat{P}] = E[(\Delta P_g - W\Delta P_g + W\Delta P_o)(\Delta P_g^T - (W\Delta P_g)^T + (W\Delta P_o)^T)] \quad (3)$$

여기서,

$$\Delta P_g = P_g - \bar{P}_g, \Delta P_o = P_o - \bar{P}_o \quad (4)$$

즉, ΔP_g , ΔP_o 는 각각 GPS와 주행계 데이터의 오차를 의미한다. 이 때, 매 시간 GPS 데이터로부터 발생하는 오차와 주행 계로부터 발생하는 오차는 전혀 상관 관계를 갖지 않기 때문에 식 (3)은 아래와 같이 보다 간단히 정리할 수 있다.

$$V[\hat{P}] = Q_g + WQ_gW^T + WQ_oW^T - 2Q_gW^T \quad (5)$$

여기서,

$$Q_g = E[\Delta P_g \Delta P_g^T], Q_o = E[\Delta P_o \Delta P_o^T] \quad (6)$$

식 (5)와 같이 유도된 다중 로봇의 위치 공분산은 그 값이 작으면 작을수록 추정된 다중 로봇 위치에 대한 불확실성(Uncertainty)이 작아지는 것이므로, 보다 정밀한 위치 추정이 가능해진다. 따라서 다중 로봇의 위치 공분산을 최소로 하는 가중치 행렬은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial [\text{trace}\{V[\hat{P}]\}]}{\partial W} = 2WQ_g + 2WQ_o - 2Q_g = 0 \quad (7)$$

$$W = Q_g(Q_g + Q_o)^{-1} \quad (8)$$

결과적으로, 다중 로봇이 가지고 있는 GPS와 주행 계로부터 얻은 위치 데이터를 가장 합리적으로 합성하기 위한 최적 가중치는 식 (8)과 같다. 이를 다시 식 (5)에 대입하여 정리하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V(\hat{P}) = Q_g - Q_g(Q_g + Q_o)^{-1}Q_g^T \quad (9)$$

만약 주행 계로부터 얻은 위치 데이터 오차의 공분산 Q_o 가 0이 되어, 주행 계의 위치 데이터가 참값을 나타낸다면, 이를 이용하여 GPS로부터 얻은 위치 데이터를 보정하여 추정된 위치 데이터 \hat{P} 의 공분산 $V(\hat{P})$ 은 그 크기가 0이 됨을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 공분산 $V(\hat{P})$ 가 0이 된다는 것은 추정된 위치의 불확실성이 사라지고, 오차가 0이 됨을 의미한다.

4. 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 가상 센서 데이터를 활용하여 본 논문에서 제안한 다중 이동 로봇의 위치 추정 방법을 시뮬레이션 해봤다. 시뮬레이션 환경에서 3대의 로봇은 각각 자신의 GPS 위치 정보와 주행 계의 위치 정보를 활용하여 위치를 추정할 수 있으며, 또한 다른 로봇의 GPS 위치 정보와 주행

계의 위치 정보를 활용할 수 있다. 이때, 로봇은 단위 시간 당 최대 1m/s 의 속도로 움직이며, 주행 계에 의해서 측정되는 위치 데이터의 오차는 로봇이 1m 움직일 때, 0%~10%의 오차를 유발한다. 각 CASE 별 운용 파라미터 중에서 센서 정보 오차의 표준 편차(σ)는 각 센서 별 성능에 관련된 정보를 담고 있으며, 주행 계의 경우 로봇의 최대 속도를 1m/s로 제한할 경우 1초당 움직일 수 있는 거리는 1m이다. 이 때 주행 계의 오차는 최대 0.1m이고, 이에 해당되는 오차 표준 편차($\sigma_{Odometer}$)는 0.02887m이다. GPS는 로봇의 운동 상태와 무관하게 일정한 오차 표준 편차를 가진다(σ_{GPS}).

4.1 CASE 1: 세 대의 로봇이 원 궤도를 따라서 움직일 때

첫 번째 시뮬레이션에서 세 대의 로봇은 표 1과 같은 운용 파라미터 하에 동작했다. 그림 2는 세 대의 로봇이 100초 동안 움직인 실제 경로(Real)와 주행 계로부터 얻은 경로(Odometer), 제안된 방법으로부터 얻은 경로(CL: Cooperative Localization)를 나타내고 있다. 각 로봇이 원 궤도를 따라 움직일 경우 주행 계의 오차는 그림 2와 그림 3에서와 같이 증가했다가 다시 감소하는 경향을 갖는다. 그림 4는 100초 동안 주행 계와 GPS, 그리고 제안된 방법으로 추정된 위치의 오차를 누적하여 보여주고 있다.

표 1. 다중 이동 로봇의 운용 파라미터 1

Parameter	Value
$\sigma_{Odometer}$	Maximum 0.02887m/sec
σ_{GPS}	1m
Operating Time	100sec

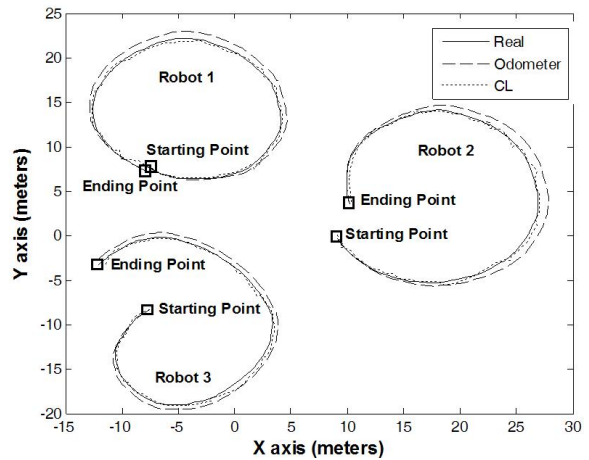


그림 2. 세 대 로봇의 이동 경로 (CASE 1)

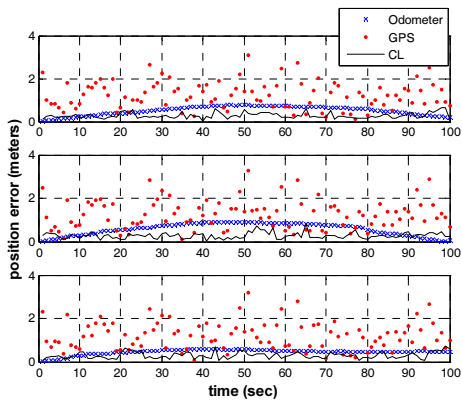


그림 3. 세 대 로봇의 시간에 따른 위치 오차 (CASE 1)

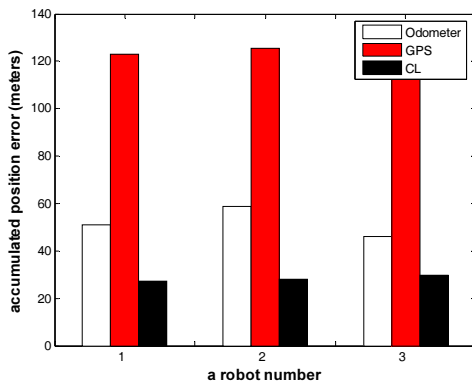


그림 4. 세 대 로봇의 운용 시간 동안 누적된 위치오차 (CASE 1)

결과적으로 제안된 방법은 대부분의 시간대에서 주행 계나 GPS에 의해서 추정된 위치에 비해 향상된 위치 추정 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다. 여기에서, 제안된 방법과 같이 자신의 위치를 추정하기 위해서 다른 로봇의 주행 계와 GPS 데이터를 활용하는 것이 자신의 주행 계와 GPS만을 사용하는 것보다 각 로봇의 위치 추정 성능을 높인다는 것은 대부분의 시간대에서 제안된 방법에 의한 위치 오차가 주행 계나 GPS에 의한 위치 오차보다 작음에서 확인할 수 있다.

4.2 CASE 2: 세 대의 로봇이 직선 궤도를 따라서 움직일 때

표 2. 다중 이동 로봇의 운용 파라미터 2

Parameter	Value
$\sigma_{Odometer}$	Maximum 0.02887m/sec
σ_{GPS}	1m
Operating Time	50sec

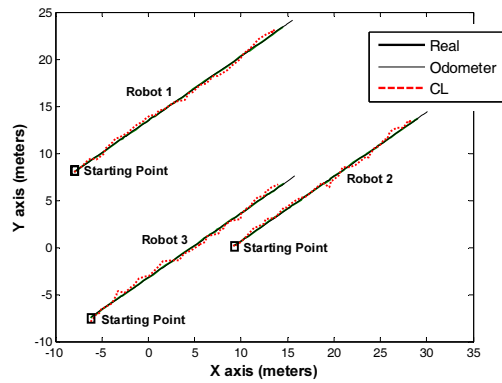


그림 5. 세 대 로봇의 이동 경로 (CASE 2)

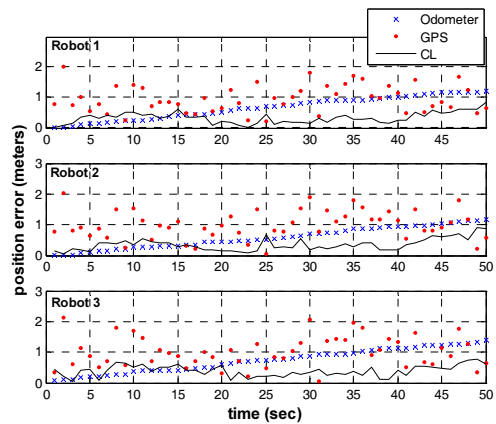


그림 6. 세 대 로봇의 시간에 따른 위치 오차 (CASE 2)

이번 시뮬레이션은 세 대의 로봇이 모두 같은 방향으로 이동할 경우 제안된 방법에 의한 위치 추정 성능의 평가를 목적으로 진행되었다. 세 대의 로봇은 그림 5에서 볼 수 있는 것과 같이 모두 동일한 방향으로 이동하며, 이 때 다중 이동 로봇의 운용 파라미터는 표 2와 같다.

본 시뮬레이션에서는 로봇의 방향에 대한 오차를 고려하지 않으며, 주행 계의 경우 로봇의 진행 방향으로의 발생하는 오차만을 고려하였다. 즉, 이는 로봇의 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴에서 발생하는 오차가 동일하다는 가정을 바탕으로 하고 있다. 그림 5와 같이 실제 이동 경로와 주행 계에 의해 추정된 이동 경로가 일치하는 것처럼 보인다. 그러나, 본 시뮬레이션에서는 로봇과 지면 사이의 미끄러짐이 이동 로봇의 양 바퀴에서 동일하게 발생하므로, 주행 계에 의해서 추정된 로봇의 위치는 동일한 시각에서 실제 위치와 상당한 차이를 보인다. 이는 로봇의 최종 위치를 살펴봄으로써 보다 명확하게 그 차이를 확인할 수 있다. 또한, 그림 6이나 그림 7에서 볼 수 있는 것과 같이 제안된 방법에 의해서 추정된 위치는 주행 계나 GPS만을 이용하여 추정된 위치에 비하여 작은 오차를 가짐을 확인할 수 있다.

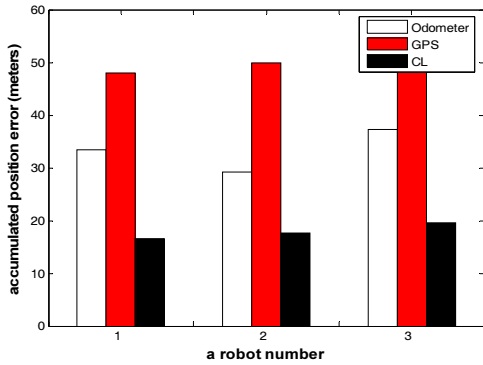


그림 7. 세 대 로봇의 운용 시간 동안 누적된 위치오차 (CASE 2)

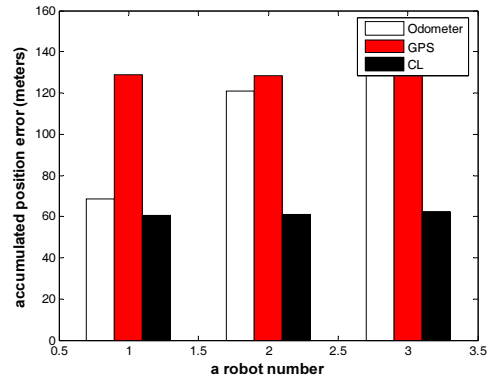


그림 10. 세 대 로봇의 운용 시간 동안 누적된 위치오차 (CASE 3)

표 3. 다중 이동 로봇의 운용 파라미터 3

Parameter	Value
$\sigma_{Odometer}$	Maximum 0.02887m/sec
σ_{GPS}	1m
Operating Time	100sec
Max V_1, V_2, V_3	1m/sec, 2m/sec, 3m/sec

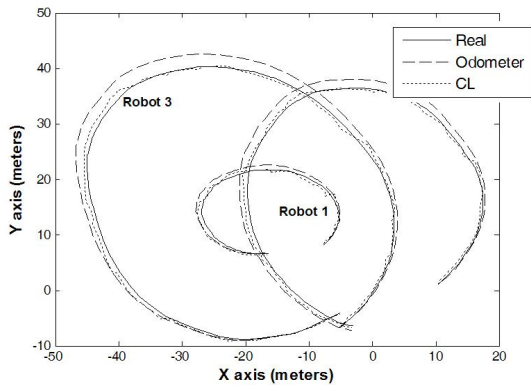


그림 8. 세 대 로봇의 이동 경로 (CASE 3)

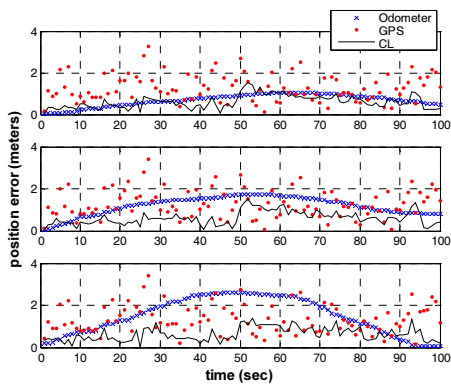


그림 9. 세 대 로봇의 시간에 따른 위치 오차 (CASE 3)

4.3 CASE 3: 세 대의 로봇의 원 궤도를 따라서 서로 다른 최대 속도로 움직일 때

이번 시뮬레이션은 세 대의 로봇이 CASE 1과 같이 원 궤도를 따라서 이동하지만, 각 로봇의 속도가 다른 경우이다. 세 대 로봇의 운용 파라미터는 표 3과 같다. 로봇의 속도는 1번 로봇이 가장 느리고, 3번 로봇이 가장 빠르다.

세 대 로봇의 이동 경로는 그림 8과 같이 모두 원과 유사한 모양을 그리지만, 속도가 다르므로 그리는 원의 크기가 달라지게 된다. 그림 9와 10에서 볼 수 있는 것과 같이 세 대 로봇의 주행 계에 의한 위치 오차는 속도에 비례하며, GPS에 의한 위치 오차는 로봇의 속도에 관계없이 일정하다. 제안된 알고리즘을 수행한 결과는 그림 10과 같이 세 대의 로봇에서 모두 거의 같은 위치 오차를 갖는다. 즉, 세 대의 로봇이 각자의 주행 계에 의한 오차는 속도에 비례하여 모두 다르지만, 서로의 위치 정보를 알고 있기 때문에 모두 같은 위치 오차를 가지게 된 것이다.

4.4 CASE 4: 한 대의 로봇은 정지하고, 나머지 두 대의 로봇이 원 궤도를 따라서 움직일 때

이번 시뮬레이션에서는 한 대의 로봇은 정지해 있고, 나머지 두 대의 로봇은 원 궤도를 따라서 움직일 경우, 제안된 방법에 의한 위치 추정 성능을 평가해 보았다. 로봇의 운용 파라미터는 표 4에서 확인할 수 있다.

표 4. 다중 이동 로봇의 운용 파라미터 4

Parameter	Value
$\sigma_{Odometer}$	Maximum 0.02887m/sec
σ_{GPS}	1m
Operating Time	100sec

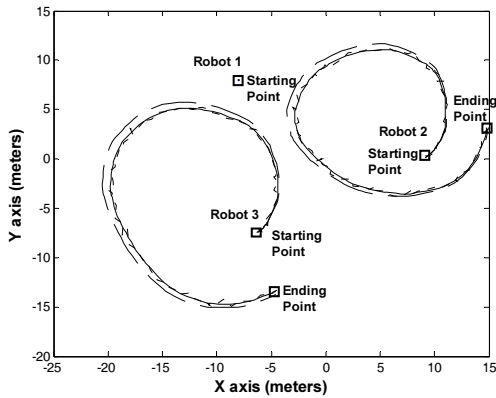


그림 11. 세 대 로봇의 이동 경로 (CASE 4)

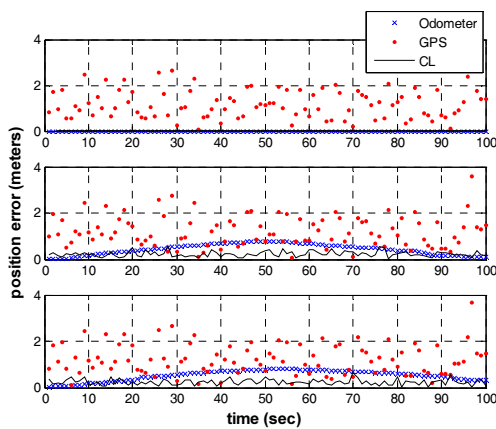


그림 12. 세 대 로봇의 시간에 따른 위치 오차 (CASE 4)

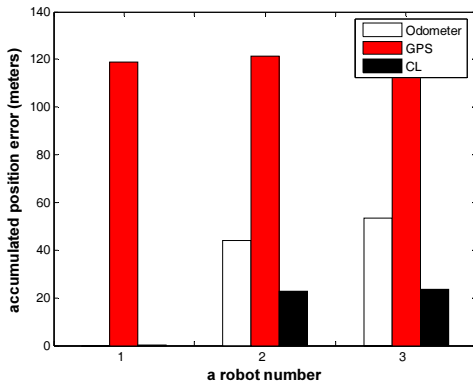


그림 13. 세 대 로봇의 운용 시간 동안 누적된 위치오차 (CASE 4)

그림 11에서 볼 수 있는 것과 같이 1번 로봇은 정지해 있고, 나머지 두 대의 로봇은 표 4과 같은 운용 파라미터 하에 원 궤도를 따라서 움직였다. 1번 로봇은 정지해 있었기 때문에, 주행 계에 의해서 추정된 로봇의 위치는 참값과 동일하다. 이는 그림 12와 그림 13의 1번 로봇에 관련된

정보로부터 확인할 수 있다.

앞서 진행된 결과들과 마찬가지로, 이 경우에도 제안된 방법에 의한 위치 추정은 주행 계나 GPS를 단독으로 사용한 경우보다 우수했다. 물론, 1번 로봇의 오차가 0이 되지 않았지만, 이는 1번 로봇의 위치를 추정하는데 있어서 다른 로봇의 주행 계 및 GPS 데이터를 참조했기 때문이다. 1번 로봇이 정지하여, 비교적 정확한 GPS 오차 추정이 가능해졌고, 이는 나머지 두 로봇의 위치 추정의 성능 향상에도 기여를 하고 있음을 그림 4와 그림 13의 비교를 통해서 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 일정한 공간 내에 있는 GPS 데이터는 매우 유사한 오차를 가진다는 DGPS의 개념을 바탕으로 하여 다중 이동 로봇을 위한 새로운 방법을 제안했다. 제안된 방법을 시뮬레이션 상에서 구현해 본 결과 실제 저가의 GPS와 주행 계라는 가장 기본적인 위치 추정 장치를 장착하고 있는 다중 로봇 시스템에 적용할 경우, 하나의 GPS와 주행 계를 사용하는 경우보다 위치 추정 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

특히, 다중 로봇 시스템 내에서 일부의 로봇이 정지해 있을 경우, 다른 로봇의 위치 추정 성능 역시 향상시키는 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다. 그 반대로 동일한 센서 시스템을 가진 동종 다중 로봇이 아닌 이종 다중 로봇의 경우, 로봇 시스템 전체의 위치 추정 성능을 향상시키는데 기여할 것이다.

추후 연구로는 제안된 방법을 실제 3 대의 다중 로봇에 적용한 위치 추정 실험이 될 수 있다. 이 실험에서 각 로봇은 저가의 차량용 GPS로부터 위성 데이터를 수신하고, 자신의 주행 계로부터 각 바퀴의 운동량을 계산할 것이다. 이 두 가지 위치 정보를 활용하여 제안된 위치 추정 방법을 사용할 경우 위치 추정 성능이 향상됨을 입증할 것이다. 또한 현재 방법에 고려되지 않은 로봇의 방향 정보와 고도 정보를 활용하여 보다 실상에 적용 가능한 방법에 관한 연구가 진행될 것이다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, "Blanche-an experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle," IEEE Trsns. Robot. Automat., vol. 7, pp. 193-204, Apr. 1991.
 [2] H. R. Everett, sensors for mobile robots, Natick, MA: A.K. Peters, 1995.

- [3] A. Howard, M. J. Mataric, and G. S. Sukhatme, "Putting the 'I' in 'team' : an ego-centric approach to cooperative localization", IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 868-874, Sep. 14-19, 2003.
- [4] J. R. Splezer and C. J. Taylor, "A bounded uncertainty approach to multi-robot localization", in Proc. 2003 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1258-1265, Oct. 2003.
- [5] T. Yoshida, A. Ohya, and S. Yuta, "Cooperative self-positioning system for multiple mobile robots", in Proc. 2003 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics, 223-227, 2003.
- [6] A. I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, "Performance analysis of multirobot cooperative localization", IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 22, pp. 666-681, Aug. 2006.
- [7] J. Borenstein and L. Feng, "Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots," IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 12, pp. 869-880, Dec. 1996.
- [8] S. I. Roumeliotis and G. A. Bekey, "Bayesian estimation and Kalman filtering: A unified framework for mobile robot localization," in Proc. 2000 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, San Francisco, CA, Apr. 24-28, 2000, pp. 2985-2992.
- [9] C. Ferrari, E. Pagello, J. Ota, and T. Arai, "Multirobot motion coordination in space and time", Robotics and Autonomous Systems, vol. 25, no. 3/4, pp. 219-229, Nov. 1998.
- [10] Y. Arai, T. Fujii, H. Asama, H. Kaetsu, and I. Endo, "Realization of autonomous navigation in multirobot environment", in Proc. 1998 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots Systems, pp. 1999-2004, Oct. 13-17, 1998.
- [11] S. I. Roumeliotis and G. A. Bekey, "Distributed Multirobot Localization", IEEE trans. Robot. Automat., vol. 18, pp. 781-795, Oct. 2002.
- [12] 조경환, 이지홍, "GPS 데이터 오차 간의 상관 관계를 활용한 군집 로봇의 위치 추정", 로봇 공학회 논문지, 제 2권, 제1호, 2007.
- [13] Jihong Lee, KyoungHwan Jo, "Cooperative Localization for Multi-Robot Incorporating Proprioceptive, Exteroceptive Position Sensors," in Proc. of the 6th International Conference on Field and Service Robotics, July 2007
- [14] KyoungHwan Jo, Jihong Lee, "Cooperative Multi-robot Localization using Differential Position Data," in Proc. 2007 IEEE/ASME International Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Sep. 2007.



조 경 환

2006 충남대학교 메카트로닉스공학과(공학사)
2006~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

관심분야: 지능 로봇 시스템의 설계 및 제어, 군집 로봇의 위치 추정, SLAM, HCI



이 지 홍

1983 서울대학교 전자공학과(공학사)
1985 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)
1991 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)

1983~1988 현대중공업 로봇 사업부 연구원
1991 한국과학기술원 연수연구원
1994~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수
관심분야: 로보틱스, 지능제어, 전자파 차폐, 컴퓨터 기반 신호처리 시스템



장 철 수

1995 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
1997 광주과학기술원 정보통신공학과(석사)

1997~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: 지능형 로봇, 분산 시스템, 실시간 시스템