

DGPS 형 정밀위치시스템을 이용한 이동 로봇 위치보정

The Position Compensation for a Mobile Robot Using DGPS-type Precise Position Service System

김 윤 구, 이 기 동*
(Yoon-Gu Kim and Ki-Dong Lee)

Abstract : Nowadays, GPS is used widely, especially in cases which need more precise position information, such as car navigation systems and even in the mobile robot for position measuring in the outdoor environment. RTK (Real-Time Kinematics) and DGPS (Differential Global Positioning System) have more precise accuracy than the general-purposed GPS. However can't easily use them because of high prices and large size of equipments. In order for the mobile robot to obtain precise position information, it is important that GPS receiver has portability and low price. In this study, we introduce a new GPS data acquisition system that offers the precise position data using the DGPS mechanism and satisfying low cost and portability. In addition to this, we propose an improved data compensation algorithm that offers more accurate position information to the outdoor mobile robot by compensating the error rate of GPS data measured from the three points with geometrical rotation and distance formula. Proposed method is verified by comparing with the precise real position data obtained by RTK. Proposed method has more than 70% performance enhancement.

Keywords : mobile robot, GPS, position compensation, DGPS, SLAM

I. 서론

최근의 이동로봇과 관련된 연구 분야는 여러 가지가 있겠지만, 그 중에서도 중요한 것 중의 하나가 로봇의 정확한 위치 인식 문제이다. 즉, 이동 로봇은 주행을 진행함에 따라 여러 가지 종류의 외란이 로봇에 영향을 끼친다. 이러한 외란들로 인하여 로봇의 위치가 변경되며 이를 정확히 인식하거나 추정하는 작업이 로봇의 성능에 영향을 미친다.

정확한 로봇위치를 파악하기 위한 지금까지의 연구는 상대적 위치인식(relative localization)과 절대적 위치인식(absolute localization)으로 구분할 수 있으며, 최근에는 동시 위치인식 및 지도형성(Simultaneous localization & Mapping: SLAM) 기술이 널리 연구 되고 있다. 그리고 이러한 기술들을 통합하여 총체적으로 위치 인식을 하는 통합적 위치인식(integrated exploration: SLAM + navigation) 기술이 있다.

상대적 위치인식에 대한 연구로써 가장 일반적인 방법은 엔코더(encoder)나 가속도센서, 자이로센서 등을 사용하고 거리센서나 간단한 비전센서를 이용하여 로봇의 현 위치를 추정하는 연구가 이루어져왔다. 절대적인 위치인식은 엔코더나 가속도센서, 자이로센서 등을 사용하여 초기위치에서 자신의 현 위치를 인식하는 방법이 많이 사용되었으나, 결정적으로 오차가 누적된다는 단점으로 인하여 정밀 위치 인식에는 사용하지 못한다. 이러한 누적 오차를 보정할 수 있는 방법으로 landmark를 사용하는데, 초음파센서, 비전센서 등을 사용하여 미리 정해진 특징점을 인식하여 현재의 위치를 추정하는 방식이나, 실시간적으로 사용하기에는 하드/소프트웨어적으로 부하가 많은 방법이다[1-3].

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 4. 30., 채택확정 : 2006. 6. 10.

김윤구, 이기동 : 영남대학교 컴퓨터공학과

(ryankim8@yumail.ac.kr/kdrhee@yu.ac.kr)

※ 본 연구는 2005학년도 영남대학교 학술진흥조성연구비에 의하여 연구되었음.

초창기 대부분의 경우 SLAM은 정적 환경에 집중되었으나 근래에는 동적 환경에 대한 SLAM 문제를 다루고 있다[4,5]. 최근에는 GPS(Global Positioning Systems)의 정밀도와 활용도가 높아져, 이동 로봇의 절대 위치 정보를 쉽게 받을 수 있다. 이러한 점을 활용하여 GPS를 이용한 이동로봇 위치 추정에 관한 연구가 많이 진행되고 있다[6-8]. 그러나 일반용 GPS는 약 $\pm 15m$ 의 오차를 가지며, 도심 또는 산악지역, 터널 등 지형지물에 의하여 신호가 차단되는 결점이 있다. 이를 보완하기 위하여 GPS와 다른 센서(전자 컴퍼스 또는 자이로스코프)와 혼용한 시스템에 대한 연구도 있다[9,10].

본 연구에서는 기본적으로 GPS를 활용하여 이동로봇의 절대 위치 정보를 인식하는 시스템을 제안한다. 일반 저가의 범용 GPS 수신기는 정밀도 수 십 미터에 달하여 정밀 위치 정보로서의 가치가 많이 떨어진다. 그렇지만 정밀도가 높은 DGPS장비나 RTK장비를 사용하기에는 너무 과다한 비용이 문제가 된다. 본 연구에서는 먼저 이러한 문제점을 DGPS개념을 이용한 저가형 이동식 정밀 위치시스템을 제안하여 GPS수신 데이터의 정밀도를 높이고, 그 다음 수신한 GPS데이터를 보정하는 제안 알고리즘으로 보정하여 전체적으로 이동로봇의 위치 인식 정밀도를 높이고자 한다.

II. GPS와 DGPS의 원리와 오차

1970년대 초, 미국 국방부가 지상에 있는 물체의 위치를 측정하여 효율적인 지상공격을 위해 만든 군용 목적의 GPS는 1990년대 초 일본의 도요타, 닛산 등에서 교통의 혼잡을 피해 최적화된 코스를 안내해주는 자동차 네비게이션이나, 해상의 선박, 비행기의 경로 안내 시스템 등 상용목적으로 확대되어 사용되고 있다. 상용 서비스가 시작된 초기에는 강제적인 오차(Selective Availability: SA)가 적용되었기 때문에 GPS 수신기는 최대 약 100m의 오차를 가지고 있어 위치정보서비스에 대한 신뢰성이 낮았다[11-13].

현재는 그 강제적 오차가 제거 되고 GPS 수신기 자체의 수신율 향상 등으로 인해 오차율은 크게 개선되었지만 여전히 단일 GPS는 15m이상의 오차를 가지고 있다. 현재 자동차 네비게이션에서는 이러한 오차를 개선하기 위해 맵매칭(map matching)이라 불리는 소프트웨어적 보정방식을 사용하고 있다. 이는 GPS 좌표가 정확히 도로에 일치하지 않더라도 좌표의 위치이동과 방향을 고려하여 지도의 데이터에 맞추어 특정도로를 주행 중인 것으로 인식하게 하는 방식이다. 또한 단일 GPS의 단점을 보완하기 위한 방안으로 DGPS, RTK를 사용하고 있다. 이 두 기법은 오차 보정을 위해 기준국에서 전송되는 데이터를 통해 사용자가 자신의 위치를 보정하는 방식이다. RTK 방식이 가장 정밀하나 비용이 문제가 된다. 본 연구에서는 보급형 일반 GPS 수신기를 사용하여 정밀 위치 정보를 얻을 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1. GPS의 원리

GPS수신기는 그림 1과 같이 3개 이상의 위성으로부터 시간과 거리를 측정하여 수신기와 위성간의 각기 다른 거리를 삼각측량법으로 계산하여 수신기의 위치를 계산한다. 그림 1(a)는 두 개의 GPS 위성이 통신하는 경우를 설명하는 그림으로 두 개의 GPS위성의 통신 반경이 교차하면 (a)와 같이 하나의 원이 발생한다. 여기에 그림 1(b)와 같이 또 다른 제 3의 위성을 참조하게 되면 두 개의 교차점, 그리고 마지막으로 여기에 하나의 위성이 더 추가되면 하나의 교차점이 발생하게 된다. 이 지점이 찾고자 하는 수신기의 위치가 된다. 위성과 수신기간 거리를 측정하기 위해서는 위성의 궤도력을 통해 위성의 위치를 파악해야 한다. 위성의 궤도력은 각

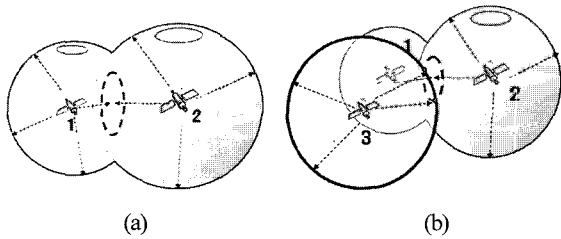


그림 1. GPS 원리 (a) 두 개의 GPS 위성과 통신하는 경우, (b) 세 개의 GPS 위성과 통신하는 경우.

Fig. 1. GPS principle.

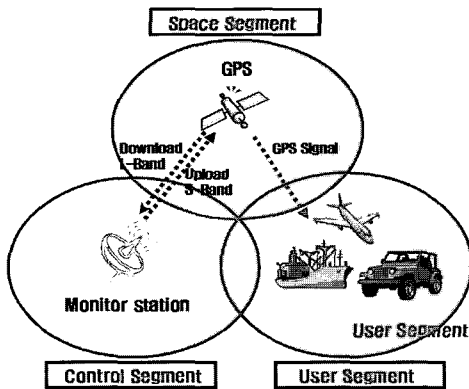


그림 2. GPS 세그먼트.

Fig. 2. GPS segments.

GPS 위성으로부터 수신되는 수신메시지에 포함되어 있는 궤도 예측치로써 국제 GPS 공동관측망인 IGS (International GPS Service for Geodynamics)에서 전체 GPS 데이터를 모아 처리한 데이터로써 5cm이내의 위치 정밀도를 가진다[1].

GPS는 그림 2에서 같이 우주 공간부(space segment), 사용자부(user segment), 관제부(control segment)로 구성되어 있다[2] 우주공간부는 6개의 원형 궤도면 위에 각각 4개씩 배치되어 있는 GPS 위성들로 구성되며 각 GPS 위성은 약 12시간의 주기를 가지면서 지구 주위를 돌고 있다. 지상에 위치하면서 고성능의 GPS 수신기를 장착하고 있는 관제부는 GPS 위성을 추적하여 위성간의 동기화를 맞추는 역할을 수행하며 좀더 정확한 서비스의 제공과 불의의 사태에 대한 대비를 하는 역할을 한다. 사용자부는 최소 4개 이상의 위성에서 보내온 신호로 X, Y, Z 좌표의 3차원 정보와 시간 정보를 수신하며 GPS 수신기의 위치와 속도를 계산한다. GPS 수신기는 수신한 고주파신호를 처리하기 쉽도록 저주파 신호로 변환하며 신호처리부에서 원래의 신호로 복원한다[12].

2. GPS의 오차

GPS를 이용한 위치 측정은 기상상태나 시간과 장소에 따라 오차가 크게 변한다. GPS위치 정보의 정확성을 떨어뜨리는 오차의 원인으로는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 인공위성의 시간 및 위치 오차, 대류층과 전리층에 의한 전파의 굴절, 각종 잡음과 같은 구조적 요인이며, 두 번째는 위성간의 배치 위치에 따른 기하학적 오차이다. 세 번째는 SA 문제로써 앞서 설명한 강제적으로 추가되는 오차요인으로 미국방성의 정책적 판단에 의해 항법 메시지의 궤도 데이터와 위성시계 (원자시계)의 주파수를 조작한 것이다. 위의 오차의 원인 중에서 세 번째는 이미 해결이 된 상태이고, 두 번째 원인은 관제부의 문제이므로 여기서의 범위를 벗어난다. 따라서 오차보정은 결국 첫 번째 원인에 대한 보정이 주가 된다.

3. DGPS

DGPS 기법은 단일 GPS의 정밀도를 더욱 개선하기 위해 고안된 기법이다. 이 기법은 두 개의 GPS 수신기를 필요로 하는데 하나의 수신기는 고정 위치에 있어야 하며 다른 수신기는 이동을 하면서 위치를 측정한다. 고정된 수신기는 이미 정밀하게 측정된 기준값과 위성으로부터 얻은 측정값 사이의 오차를 계산한다. 이렇게 계산된 보정값을 이동하고 있는 수신기로 전송하여 이동수신기가 더욱 정밀한 위치 정보를 얻을 수 있게 한다[13]. 이때 정지해 있는 수신기에서 이동수신기로 전송하는 신호의 표준 형식으로 RTCM SC-104 (Maritime Service Special Committee 104)를 가장 많이 사용하고 있다[15]. 오차를 보정하는 시점에 따라 후처리(post processing) DGPS와 실시간(real-time) DGPS로 분류되기도 한다[16].

일반적인 DGPS 시스템은 매우 높은 정밀도를 낼 수 있는 수신기를 구비한 기준국(station)과 이동하고 있는 수신측, 그리고 GPS 위성으로 구성되어 있다. 기준국에서는 보정된 데이터 값, 즉 RTCM 데이터를 라디오망이나 공중전화망으로 사용자에게 전송하는데 가격적인 측면에 있어 저렴한 라디오망을 가장 많이 사용하고 있다. 사용자 측은 수신한 RTCM 데이터와 GPS 위성으로부터 수신한 신호를 이용하여

향상된 정밀도를 가지는 위치 데이터를 계산하게 된다[17,18].

DGPS는 단일 GPS에 비해 향상된 정밀도를 제공하지만 DGPS 장비는 사용에 있어서 전문성을 요하며, 비교적 높은 가격의 장비이므로 일반인이 구입하기에 부담이 된다. 또한 실시간 측량을 위해서는 휴대성이 편리해야 하는데 DGPS 장비는 큰 부피로 인해 휴대하기가 불편하다.

III. 제안 보정 기법

본 논문에서는 두 단계의 보정 시스템을 제안한다. 먼저 보급형 GPS의 수신 데이터 정밀도를 높이기 위하여 DGPS 기법을 응용하여 새롭게 디자인한 시스템을 제안하고, 그 다음 단계로 수신 데이터를 이동로봇의 거리센서정보와 결합하여 절대 위치를 보정하는 방안을 제시한다.

1. DGPS개념을 고려한 네트워크 정밀위치획득시스템

(the Advanced GPS: A-GPS)

현재 우리나라에는 11개의 기준국이 해안가나 섬에 설치되어 있으며 실시간으로 RTCM 정보를 라디오 주파수를 통해 방송하고 있다. 따라서 비콘(beacon)수신기를 설치만 한다면 이 데이터를 누구나 사용할 수가 있다. 그러나 각 기준국에서 RTCM 데이터를 방송할 수 있는 거리는 한계를 가지고 있다. 또한 기준국과 수신기 사이에 산이 있을 경우, 혹은 기준국과 수신기사이의 거리가 멀 경우, RTCM 정보의 시간적 지연에 의한 오차가 발생할 수 있다. 이와 같은 시간적 지연에 의한 오차는 GPS 데이터의 정밀도에 영향을 미치게 되므로 최대한 기준국과 가까운 곳에 비콘 수신기를 설치하여야 한다.

제안하는 시스템은 정밀위치 정보획득을 위해 그림 3에서와 같이 서버, 클라이언트(PDA), RTCM 수신부로 구성된다. 먼저 서버는 여러 비콘 수신기로부터 RTCM 데이터를 수신하여 이를 기준국 별로 관리를 하며 이렇게 수집된 RTCM 데이터를 필요로 하는 클라이언트로 전송하는 역할을 한다. 기준국 별로 RTCM 데이터를 관리하는 이유는 클라이언트인 PDA로 자신의 위치를 측정하고자 하는 이용자가 자신의 위치정보를 CDMA 무선 네트워크를 통해 서버로 전송하게 되면 서버는 그 이용자와 가장 가까이 위치한 기준국을 선택하여 그 기준국으로부터 수신한 RTCM 데이터를 이용자에게 전송할 수 있기 때문이다. 클라이언트는 일반 GPS 수신기와

PDA로 구성되며 서버와는 CDMA망을 통하여 데이터를 송수신하게 된다. 비콘수신기와 서버는 블루투스 무선 네트워크를 사용하여 비콘수신기를 설치하는데 있어 제약사항들을 줄이고자 하였다. 클라이언트는 CDMA 통신이 가능한 PDA와 GPS 수신기로 구성되는데 부착된 단일 GPS 수신기만으로는 DGPS 정보를 생성할 수 없으므로 서버로부터의 RTCM 정보를 요청하여 수신하는 것이 필요하다. 따라서 클라이언트는 서버로 자신의 위치정보를 전송해주어 근접한 기준국의 RTCM 데이터를 수신하게 된다. 클라이언트의 PDA는 GPS 수신기로부터 얻은 NMEA (National Marine Equipment Association) 데이터를 수신하여, 위성의 정보, 수신기의 위치 정보 등을 얻어내기 위한 NMEA 데이터분석(parsing)하며, 획득한 위치 정보는 서버와 통신하여 클라이언트 자신의 현재 위치 정보를 제공하기 위해 사용되며 DGPS 정보 생성 시 향상된 정밀도의 위치 정보를 확인하는데 사용된다. 마지막으로 RTCM 수신부는 비콘수신기와 블루투스(bluetooth)로 구성된다. 비콘 수신기는 기준국으로부터 방송되는 라디오파의 RTCM 신호를 수신하며 블루투스 통신망을 통해 서버로 취합하게 된다.

따라서 모든 기준국에서 방송하는 RTCM 데이터를 서버가 대신하여 제공할 수 있기 때문에 일반 사용자는 RTCM 데이터 수신을 위한 DGPS장비나, 비콘 수신기를 가지고 있지 않아도 그 데이터를 획득할 수가 있다[18]. DGPS에 있어 기준국과 이동하는 수신기간의 거리가 짧을수록 오차를 줄일 수 있어 정밀도가 증가하기 때문에 클라이언트와 가장 근접한 곳의 RTCM 데이터를 제공해주는 것이 유리하다.

기존 시스템에서는 여러 개의 기준국으로부터 수신한 데이터를 취합하여 단순히 클라이언트에 RTCM 데이터를 제공하는 방식이지만 본 연구에서 제안하는 시스템에는 RTCM 데이터의 무결성을 실시간으로 검사하여 오차정보를 더욱 향상시킬 수 있다. 비콘수신기가 성공적으로 RTCM 데이터를 서버로 전송하였다 하더라도 RTCM 데이터의 신뢰성을 검사하는 것이 필요하다. RTCM 데이터의 무결성은 패리티 확인(parity check)을 통해 보장할 수 있다. 따라서 서버는 데이터의 무결성이 확인된 RTCM 데이터만을 취합함으로써 정밀도를 증가시킬 수 있다.

서버로 취합된 RTCM 데이터는 CDMA 무선망을 통해 데이터를 요청한 클라이언트 PDA로 전송되며 PDA의 COM 포트를 통해 GPS 수신기로 다시 재전송된다. GPS 수신기는 받은 RTCM 데이터와 수신기가 직접 위성으로부터 수신한 신호 데이터를 취합하여 향상된 정밀도의 NMEA 데이터를 출력하게 된다.

RTCM 데이터를 서버가 취합하여 클라이언트로 전송하는 소프트웨어는 그림 4과 같이 구성되어 있다. 먼저 서버 시스템은 RTCM 데이터를 수신하여 이를 관리하는 RTCM 데이터 관리부분과 서버에 RTCM 데이터를 요청하는 다수의 클라이언트를 관리하는 부분, 클라이언트가 어느 기준국과 가장 근접해있는지를 검사하는 최단거리기준국 분석부분, RTCM 데이터를 실시간으로 클라이언트에 전송하는 부분으로 구성되어 있다. 그리고 PDA 내에서 동작하는 클라이언트 시스템의 S/W는 CDMA 네트워크 처리부분, 위경도 좌표를

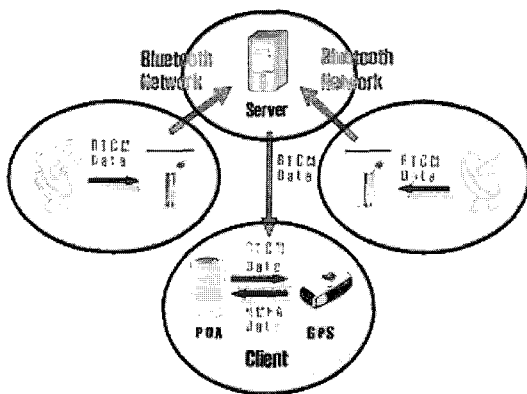


그림 3. DGPS 시스템 구성도.
Fig. 3. Block diagram of proposed system.

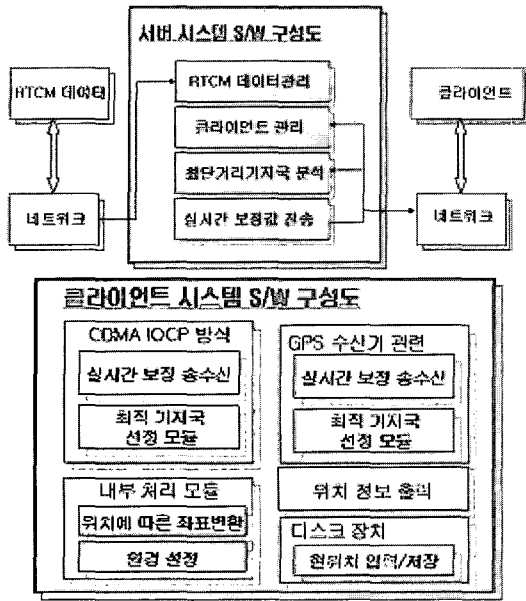


그림 4. 서버와 클라이언트의 S/W 구성도.
Fig. 4. S/W architecture of A-GPS server and client.

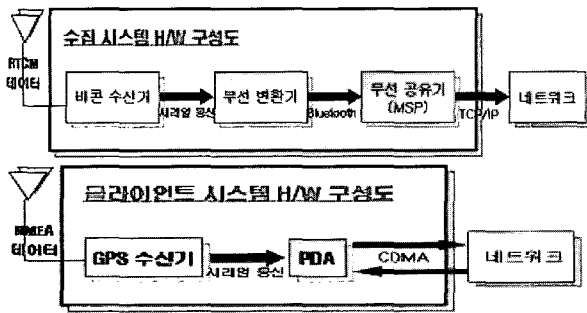


그림 5. 서버와 클라이언트의 H/W 시스템 구성도.
Fig. 5. H/W architecture of A-GPS server and client.

사용자가 쉽게 알 수 있도록 해주는 좌표계 변환부분, GPS 수신기와와의 시리얼통신을 처리하는 부분, 데이터를 저장하는 부분으로 구성된다.

하드웨어 부분은 그림 5에서 보듯이 크게 두 가지로 구성된다. 첫 번째는 RTCM 데이터를 수신하여 이를 서버에 전송하는 부분과 PDA와 일반 GPS로 구성되는 클라이언트 부분으로 구성된다. 비콘수신기는 기존 기준국으로부터 특정 주파수를 설정하고 라디오 비콘 신호를 해석하며 RTCM 데이터를 시리얼 통신 데이터로 변환하는 장치이다. 무선변환기는 비콘 수신기로부터 얻은 시리얼 데이터를 무선(블루투스) 환경으로 변환하여 무선공유기로 전송하는 역할을 한다. 무선공유기는 여러 대의 무선변환기로부터 수집된 정보를 TCP/IP 네트워크를 통해 서버로 전송하는 역할을 한다.

2. 거리센서정보를 이용한 GPS 보정 알고리즘

앞에서 언급한 시스템을 통하여 획득한 GPS데이터도 오차를 포함하고 있다. 따라서 이러한 오차를 보정하기 위해 본 연구에서는 일반적인 이동로봇에 장착되어 있는 거리센서 정보를 이용하고자 한다. 거리센서 정보는 RF와 ultrasonic 센서를 이용하여 두 개의 신호원으로부터 전파도달 시각의 상

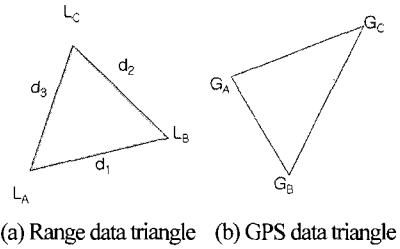


그림 6. Range data 삼각형과 GPS data 삼각형.
Fig. 6. Range data triangle and GPS data triangle.

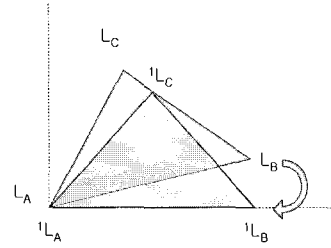


그림 7. Range data 삼각형의 좌표 변경.
Fig. 7. Alteration of RDT coordinates.

대적인 차를 측정하여 위치를 결정하는 TDOA(Time Difference of Arrival)방식의 거리측정방식을 사용하는 Crossbow사의 Cricket 모듈을 각 이동 로봇에 장착하였다[19]. 이동 로봇에 장착되어 있는 거리센서(정밀도 ±10cm내외)는 상대적인 거리 정보만 얻을 수 있지만 GPS 수신데이터(정밀도 ±1.5m 내외) 보다는 정밀도가 훨씬 높다. 기본 아이디어는 정밀도가 훨씬 높은 거리센서정보를 이용하여 구성한 기본형(본 연구에서는 삼각형)이 GPS데이터를 이용하여 구성한 기본형보다 더 실제와 가깝기 때문에 GPS로 구성한 기본형을 거리센서 정보로 구성한 기본형으로 보정하는 것이다.

먼저 그림 6와 같이 이동로봇 3대에서 각각 측정된 거리정보로 구성된 삼각형(Range Data Triangle: RDT)과 각각의 로봇에서 측정된 GPS 데이터 삼각형 (GPS Data Triangle: GDT)이 있다.

RDT의 LA를 원점으로 이동하고 그림 7과 같이 회전 이동하면 LA', LB', LC'의 좌표가 (1)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 {}^1L_A : ({}^1x_{LA}, {}^1y_{LA}) &= (0,0) \\
 {}^1L_B : ({}^1x_{LB}, {}^1y_{LB}) &= (d_1,0) \\
 {}^1L_C : ({}^1x_{LC}, {}^1y_{LC}) &= \left(\frac{d_3^2 + d_2^2 - d_1^2}{2d_1}, \sqrt{d_3^2 - \left(\frac{d_3^2 + d_2^2 - d_1^2}{2d_1} \right)^2} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

비교적 정확한 RDT에 대하여 GDT의 오차를 보정하기 위하여 각 삼각형의 무게중심을 일치시킨 후, 꼭지점 간의 거리 오차를 최소화하는 회전각을 구한다. 먼저 GDT의 무게중심좌표(GCOM)를 구한 후, 무게중심좌표를 원점으로 평행 이동하면 세 꼭지점의 좌표(GA, GB, GC)는 아래 (2)과 같이 나타난다.

$$G_A : (x_{GA}, y_{GA}) \quad G_B : (x_{GB}, y_{GB}) \quad G_C : (x_{GC}, y_{GC})$$

$$G_{com} : (x_{Gcom}, y_{Gcom}) = \left(\frac{x_{GA} + x_{GB} + x_{GC}}{3}, \frac{y_{GA} + y_{GB} + y_{GC}}{3} \right)$$

$${}^1G_A : ({}^1x_{GA}, {}^1y_{GA}) = (x_{GA} - x_{Gcom}, y_{GA} - y_{Gcom}) \quad (2)$$

$${}^1G_B : ({}^1x_{GB}, {}^1y_{GB}) = (x_{GB} - x_{Gcom}, y_{GB} - y_{Gcom})$$

$${}^1G_C : ({}^1x_{GC}, {}^1y_{GC}) = (x_{GC} - x_{Gcom}, y_{GC} - y_{Gcom})$$

그 다음 그림 8에 나타나 있듯이 RDT의 무게중심을 구하여, 그 무게중심을 원점으로 평행 이동 시킨 좌표는 (3)과 같다.

$$L_{com} : (x_{Lcom}, y_{Lcom}) = \left(\frac{{}^1x_{LA} + {}^1x_{LB} + {}^1x_{LC}}{3}, \frac{{}^1y_{LA} + {}^1y_{LB} + {}^1y_{LC}}{3} \right)$$

$${}^2L_A : ({}^2x_{LA}, {}^2y_{LA}) = ({}^1x_{LA} - x_{Lcom}, {}^1y_{LA} - y_{Lcom}) \quad (3)$$

$${}^2L_B : ({}^2x_{LB}, {}^2y_{LB}) = ({}^1x_{LB} - x_{Lcom}, {}^1y_{LB} - y_{Lcom})$$

$${}^2L_C : ({}^2x_{LC}, {}^2y_{LC}) = ({}^1x_{LC} - x_{Lcom}, {}^1y_{LC} - y_{Lcom})$$

그 다음 그림 9에 나타나 있듯이 무게중심을 원점으로 이동한 RDT와 GDT를 한 좌표계에 배치한 뒤, RDT를 회전 이동시키면서 두 삼각형의 각 꼭지점들의 거리의 RMS(Root Mean Square)가 최소가 되는 각도 α 를 구한다.

위에서 제시한 방법으로 최적의 각도 α 를 구하면 다음 (4)와 같다.

$$\alpha = \text{atan2} \left(\frac{B}{A} \right)$$

$$A = {}^1x_{GA}^2 x_{LA} + {}^1y_{GA}^2 y_{LA} + x_{GB}^2 x_{LB} + y_{GB}^2 y_{LB} + x_{GC}^2 x_{LC} + y_{GC}^2 y_{LC} \quad (4)$$

$$B = {}^1x_{GA}^2 y_{LA} - y_{GA}^2 x_{LA} + x_{GB}^2 y_{LB} - y_{GB}^2 x_{LB} + x_{GC}^2 y_{LC} - y_{GC}^2 x_{LC}$$

따라서 구한 각도 α 와 (5)를 이용하여 보정된 GDT의 꼭지점 위치 좌표(COMA, COMB, COMC)를 구한다.

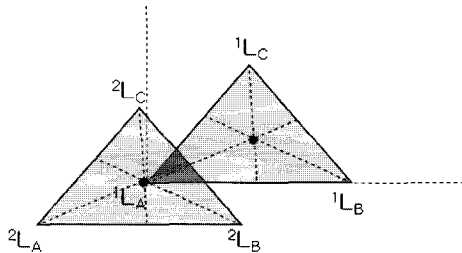


그림 8. RDT 무게중심의 원점으로 평행이동.
Fig. 8. Transformation of c.o.m. of RDT to the origin.

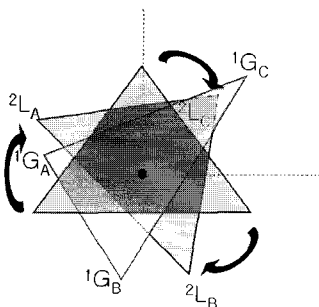


그림 9. Range data 삼각형의 회전이동.
Fig. 9. Rotation movement of RDT.

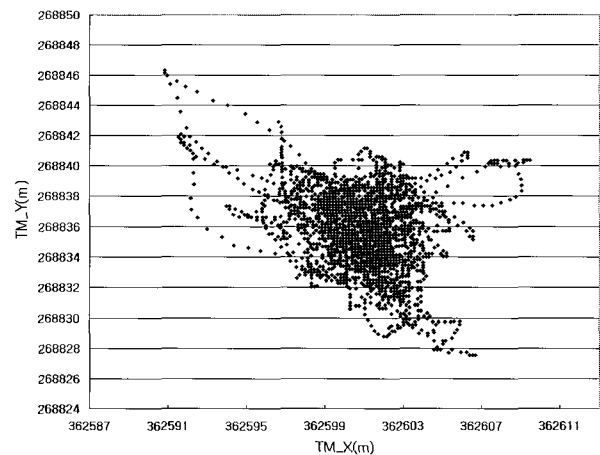
$$COM_A = \begin{pmatrix} {}^2x_{LA} \cos\alpha + {}^2y_{LA} \sin\alpha + x_{Gcom} - {}^2x_{LA} \sin\alpha + {}^2y_{LA} \cos\alpha + y_{Gcom} \\ {}^2x_{LA} \cos\alpha + {}^2y_{LA} \sin\alpha + \frac{x_{GA} + x_{GB} + x_{GC}}{3} \\ -{}^2x_{LA} \sin\alpha + {}^2y_{LA} \cos\alpha + \frac{y_{GA} + y_{GB} + y_{GC}}{3} \end{pmatrix}$$

$$COM_B = \begin{pmatrix} {}^2x_{LB} \cos\alpha + {}^2y_{LB} \sin\alpha + x_{Gcom} - {}^2x_{LB} \sin\alpha + {}^2y_{LB} \cos\alpha + y_{Gcom} \\ {}^2x_{LB} \cos\alpha + {}^2y_{LB} \sin\alpha + \frac{x_{GA} + x_{GB} + x_{GC}}{3} \\ -{}^2x_{LB} \sin\alpha + {}^2y_{LB} \cos\alpha + \frac{y_{GA} + y_{GB} + y_{GC}}{3} \end{pmatrix} \quad (5)$$

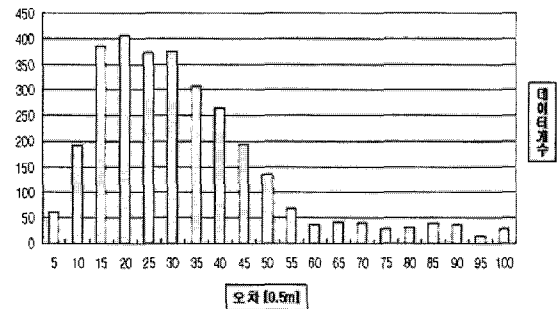
$$COM_C = \begin{pmatrix} {}^2x_{LC} \cos\alpha + {}^2y_{LC} \sin\alpha + x_{Gcom} - {}^2x_{LC} \sin\alpha + {}^2y_{LC} \cos\alpha + y_{Gcom} \\ {}^2x_{LC} \cos\alpha + {}^2y_{LC} \sin\alpha + \frac{x_{GA} + x_{GB} + x_{GC}}{3} \\ -{}^2x_{LC} \sin\alpha + {}^2y_{LC} \cos\alpha + \frac{y_{GA} + y_{GB} + y_{GC}}{3} \end{pmatrix}$$

IV. 실험 및 고찰

GPS수신 데이터의 정밀도를 높이기 위한 제안 시스템의 성능 테스트를 위하여 학교 내에 비콘 수신기를 설치하고, 가장 가까운 기준국인 호미곶 기준국(ID: 732)에서 방송하는



(a) 데이터 분포도



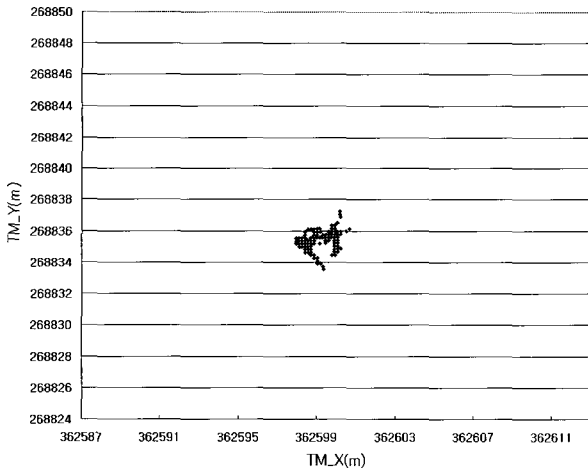
(b) 데이터 분포 그래프

그림 10. 일반 GPS 측정 데이터.
Fig. 10. Measured data of general purposed GPS.

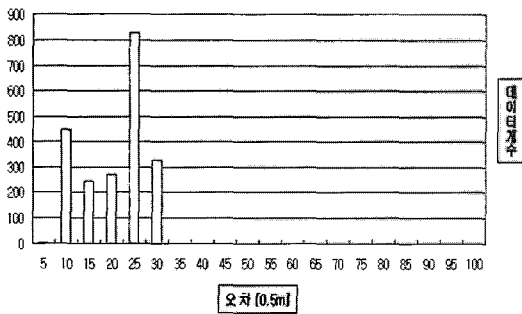
RTCM 데이터를 보정값으로 수신하였다. 그리고 위치 측정을 위한 GPS 데이터 수신 실험은 인근에 있는 상시관측소(위도: 35-54-22.7033, 경도: 128-48-07.0818, GRS80타원체기준 [9])에서 측정하였다.

실험은 일반 GPS를 사용한 경우와, 상용 DGPS장비를 사용한 경우, 그리고 제안한 시스템으로 구성된 DGPS 시스템을 사용한 경우에 대하여 실시하였다. 본 실험에서 사용한 상용 DGPS는 Leica MK31 DGPS모형을 사용하였다. 이 모델은GPS/BEACON 안테나부와 수신기부가 모두 일체형으로 되어있어 전원설정 즉시 자동 작동하는 dual channel beacon수신기이다. 주파수는 283.5~325.0 MHz 대역을 사용하며 RS232 Interface로 WGS84 DATUM를 실시간 정도 1~3m, NMEA 1Hz 출력을 가진다. 일반 GPS를 사용했을 경우의 데이터 분포도는 그림 10(a)와 같이 나타났으며 오차의 평균은 3.789m, 최대 오차값은 14.518m, 2dRMS(95%)는 8.231m로 나타났다. 여기서 2dRMS(Root Mean Square Error)란, 2차원 실효치(RMS)를 의미한다.

기존의 상용DGPS 장비는 그림 11과 같은 분포를 가졌으며, 오차평균은 1.848m, 최대 오차값은 3.318m, 2dRMS(95%)는 3.305m로 나타났다. 본 논문에서 제안한 시스템의 경우 데이터 분포는 그림 12와 같이 나타났으며, 오차평균은 1.392m, 최대 오차값은 3.782m, 2dRMS(95%)는 2.875m로 나타났다.



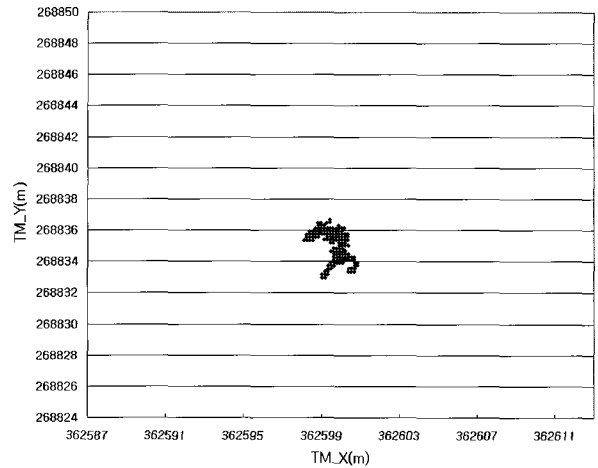
(a) 데이터 분포도



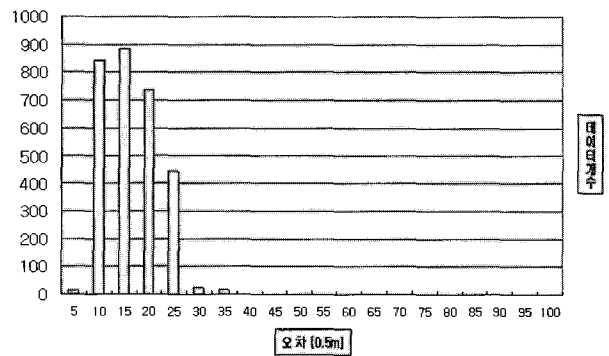
(b) 데이터 분포 그래프

그림 11. 상용 DGPS 측정 데이터.

Fig. 11. Measured data of general purposed DGPS.



(a) 데이터 분포도



(b) 데이터 분포 그래프

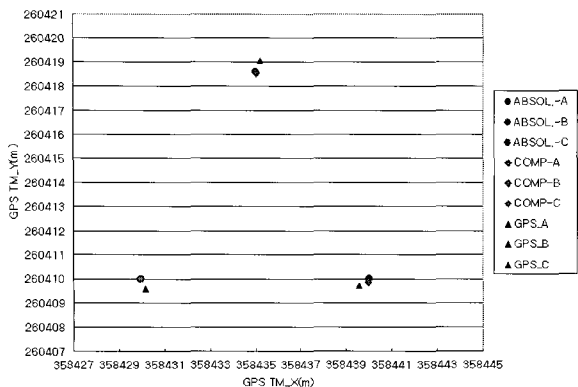
그림 12. 제안 시스템 측정 데이터.

Fig. 12. Measured data of proposed system.

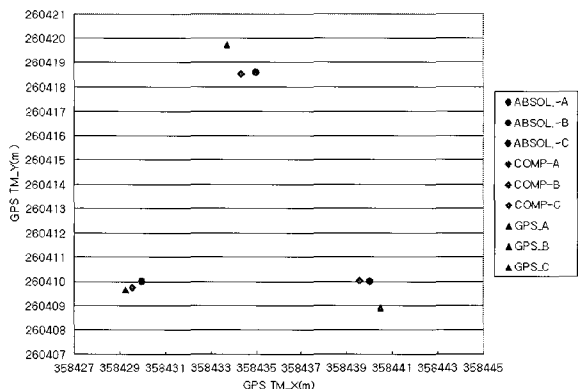
위의 결과에서 보는 바와 같이 상용 DGPS 시스템은 일반 GPS보다 오차평균에 있어서 2배 이상의 효과를 내는 것을 확인 할 수 있다. 또한 제안한 시스템을 사용했을 경우와 상용 DGPS를 사용한 경우를 비교해 보면 평균오차는 약 25% 감소하고, 2dRMS는 약 13% 감소했으나, 최대오차는 약 14% 증가했음을 알 수 있다. 물론 위의 자료들은 한 측정점을 대상으로 한 자료이므로 일반적인 결론을 내릴 수 없겠지만, 제안한 시스템의 성능을 확인할 수 있는 근거는 충분히 된다고 판단된다.

그 다음으로 본 논문에서 제안한 보정 알고리즘의 유용성을 검증하기 위하여 각 변의 길이가 10m인 정삼각형을 range data 삼각형으로 지정 하였으며 삼각형의 각 꼭지점에서 RDT와 GDT 각각 1000개의 시험위치 데이터를 동시 수집하였다. 거리센서는 ±10cm 오차범위를 가지며 GPS의 오차 데이터는 앞서 제안한 시스템의 결과값으로 오차평균은 2.784m 이고 2dRMS는 4.614m이다. 또한 제안한 시스템을 통해 보정된 좌표의 정확성을 검증하기 위해 RTK로 정밀 위치 좌표를 측정하였다.

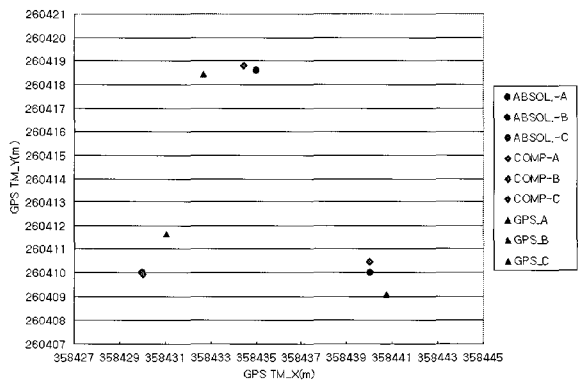
그림 13에서는 절대위치, 정밀도를 개선한GPS 시스템의 수신데이터, 그리고 보정알고리즘을 적용한 위치데이터를 각각 GPS오차가 ±0.5, ±1.5, ±2.5인 경우의 데이터를 사용하여 실험한 결과들을 나타내고 있다. 그림 14에서는 제안된 시스



(a) GPS error $\pm 0.5m$



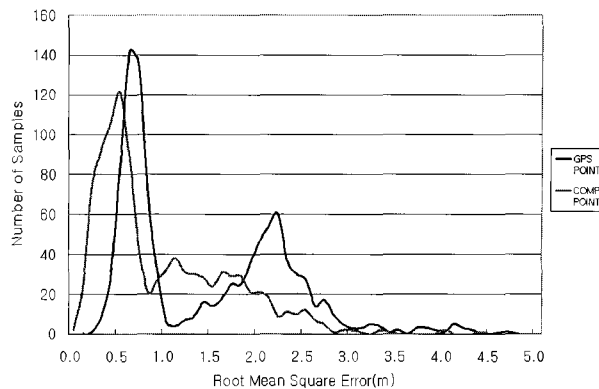
(b) GPS error $\pm 1.5m$



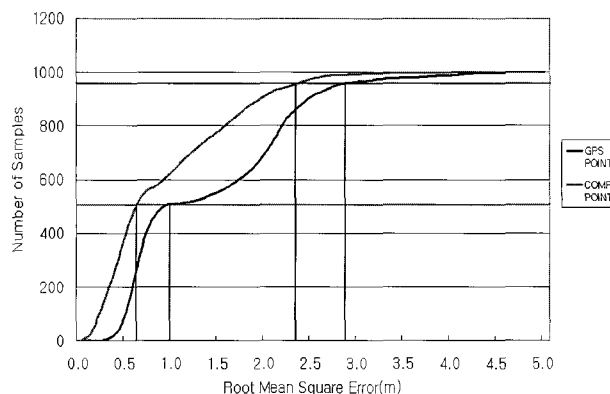
(c) GPS error $\pm 2.5m$

그림 13. GPS데이터와 보정된 데이터와의 비교.
Fig. 13. Comparison between GPS data and compensated data.

탐에 의한 위치정보의 평균제곱오차의 평방근 (Root Mean Square Error: RMSE)이 개선된 GPS시스템의 RMSE보다 작아진 것을 알 수 있다. 보정된 1000개의 위치 데이터의 50%는 0.625 RMSE를 가지는 반면 개선된 GPS 시스템 데이터는 1.0 RMSE를 가지는 걸로 나타났다. 결과적으로 약 37%의 위치 정보 보정 향상을 얻을 수 있었다. 그리고 보정된 위치데이터의 95%는 2.375 RMSE를 가지며 GPS시스템은 2.875 RMSE를 가지는 것으로 나타나 약 17%의 향상된 위치정보 보정결과를 얻었다. 이 결과를 통해 보정 알고리즘이 모바일 로봇의 절대위치 오차를 효과적으로 보정해 줄 수 있음을 보여 주었다.



(a) RMSE distribution chart



(b) Accumulative distribution chart of RMSE

그림 14. GPS와 보정데이터의 RMSE 비교.
Fig. 14. Comparison of RMSE between the advanced-GPS and compensated point.

표 1. 실험결과치 비교.
Table 1. Comparison of the results.

	일반GPS	DGPS	A-GPS	+보정 알고리즘
오차평균	3.789m	1.848m	1.392m	NA
최대오차	14.518m	3.318m	3.782m	NA
RMSE	8.231m	3.305m	2.875m	2.375m

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 이동로봇의 절대 위치를 정확하게 인식할 수 있도록 하기 위하여 GPS를 장착한다. 일반 용의 GPS는 오차가 너무 커서($\pm 15m$) 이동로봇에 직접 사용하기 어렵다. GPS수신 데이터의 정밀도를 높여야 하는데, 고가의 장비인 DGPS나 RTK를 사용하지 않고 DGPS개념을 이용한 정밀위치측정시스템(A-GPS)을 제안하여, 일반 GPS를 사용할 경우에 비하여 65% 정도의 개선 효과가 있으며, 상용 DGPS를 사용할 경우 보다 13%의 성능 개선이 있었다. 여기에다 획득한 데이터를 더 정밀하게 보정하는 알고리즘을 제안하였다. GPS 수신데이터 보다 오차정밀도가 더 높은 거리센서 정보를 활용한 보정알고리즘을 적용한 결과, 보정알고리즘 자체로는 약 17%의 개선 효과가 있었으며, 개선된 GPS 시스템까지 고려한다면 무려 71%의 개선 효과를 얻을 수 있었다.

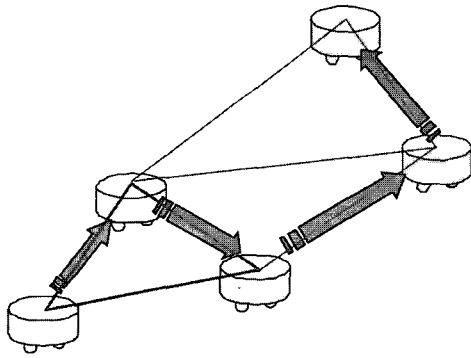


그림 15. GPS offset 에러 보상.
Fig. 15. GPS offset error compensation.

물론 몇몇 측정점의 데이터 만으로 전체적인 결론을 내리는 것은 무리가 있을지 모르나, 나타난 결과를 보고 판단할 때, 본 연구에서 제안한 시스템이 충분히 의미가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식을 이용하면 보다 정밀한 이동로봇의 절대 위치를 얻을 수가 있다. 여전히 남은 문제로는, 지금 제시된 방법으로는 GPS 데이터에 포함된 오프셋(offset)을 제거할 수는 없다는 것이다. 따라서 이를 제거하기 위해서는 시간이 흐름에 따라 오프셋의 평균값이 0(zero)이라고 가정한다면, 그림 15에 있듯이 연속적으로 주행하면서 생기는 삼각형을 가지고 주기적으로 계속 보정하면 된다.

참고문헌

[1] J. J. Leonard, F. Hugh, and D. Whyte, "Mobile robot localization by tracking geometric beacons," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, pp. 376-382, June 1991.
 [2] M. Berke et al, "Mobile robot localization using landmarks," *Proc. of the IEEE/RSJ/IGI Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 135-142, 1994.
 [3] K. Komoriya, E. Oyama, and K. Tani, "Planning of landmark measurement for the navigation of a mobile robot," *Proc. of the IEEE/RSJ/IGI Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, July 7-10, 1992.
 [4] S. Thrun and Y. Liu et al, "Simultaneous localization and mapping with sparse extended information filters," *The Int. Journal of Robotics Research*, vol. 23, part 7/8, pp. 693-716, 2004.
 [5] D. Rodriguez-Losada, F. Matia, and A. Jimenez, "Local maps

fusion for real time multirobot indoor simultaneous localization and mapping," *IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation* vol. 2, pp. 1308-1313, 2004.
 [6] S. Haihang, G. Muhe, and H. Kezhong, "An integrated GPS/CEPS position estimation system for outdoor mobile robot," *IEEE Intl. Conf. on Intelligent Processing Systems (Cat. No.97TH8335)*, pp. 1282-6, vol. 2, 1997.
 [7] Y. Feng and K. Kubik, "Real time GPS dynamic-positioning approaches to mobile robot navigation," *Fourth Int'l Symposium on Signal Processing and its Applications. ISSPA 96. Proceedings Main Symposium*, pp. 258-61, vol. 1, 1996.
 [8] P. Cao and M. Saxena et al "Application of GPS systems on a mobile robot," *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (USA) Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering*, pp. 321-8, 2001.
 [9] W. Kao, "Integration of GPS and dead reckoning navigation systems," *Proc. of VNIS*, pp. 56-66, 1991.
 [10] 김양환, 최병석, 이주장, "GPS와 듀얼 전자 컴퍼스를 이용한 차량의 혼합항법시스템," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제12권, 제2호 2006. 2월.
 [11] A. El-Rabbany, "Introduction to GPS," *Artech House Boston London*, pp. 27-46, pp. 101-115, 1996.
 [12] P. Moore and P. Crossley, "GPS applications in power systems. I. Introduction to GPS," *Power Engineering Journal*, vol. 13, pp. 33-39, 1999.
 [13] T. A. Stansell and Jr. S. Consulting, "Implications of an early end to SA," pp. 379-386, 2000.
 [14] RTCM Recommended Standards For Differential Navstar GPS Service, *V2.1 RTCM Paper*, pp. 194-193, January, 1994.
 [15] M. Bonsu, "Real-time digital processing of GPS measurements for transmission engineering," *Power Delivery*, vol. 18, pp. 177-182, January, 2003.
 [16] 윤영선, "DGPS 측정치의 무결성 감시 시스템 구현," 한국항공학회 춘계학술대회논문집, pp. 105-106, 2002.
 [17] F. Fell, "Preliminary comparisons of the WGS84(EGM 96) geoid with national vertical datums," *MIS/IEEE Conference and Exhibition*, vol. 1, pp. 571-574, 2001.
 [18] 한상재, 오상현, 황동환, 이상정, "GPS/INS 통합 항법 시스템용 모니터링 시스템 설계," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 2003, 9(3), pp. 242-250.
 [19] Cricket v2 User Manual Cricket Project MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, <http://cricket.csail.mit.edu>, July 2004.



김윤구
 1996년 계명대 경영정보학과 졸업. 2005년 영남대 대학원 석사. 2006년~현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 로보틱스, 센스네트워크, 자동화 및 GPS.



이기동
 1985년 서울대 제어계측과 졸업. 1987년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1995년~현재 영남대학교 컴퓨터 공학과 교수. 관심분야는 로보틱스, 센스네트워크, 인공지능, 정보보안.