

# 이동로봇의 항법시스템

박 규 철\*, 정 학 영\*\*

(\* (주)마이크로인피니티, \*\* 서울산업대 제어계측공학과)

## 1. 서 론

이동로봇의 주행에 관한 연구는 다음과 같은 세가지 문제에 대한 답을 찾기 위한 것이다. 첫째, 나의 위치는 어디인가? (where am I?)를 구하는 항법문제, 둘째, 나는 어디로 가고 있는가? (Where where am I going?)를 구하는 경로계획문제, 셋째, 어떻게 하면 목적지에 도달 할 수 있는가? (How how should I get there?)에 대한 장애물회피 및 구동제어문제이다. 본 논문에서는 첫번째 문제인 항법문제에 대해서 다룬다.

이동로봇의 항법은 크게 절대항법 (absolute navigation)과 상대항법 (relative navigation)이 있다. 절대항법은 주어진 좌표계에서 절대위치와 자세를 계산 하는 방법으로 실외에서 사용되는GPS와 알고있는 환경지도나 특정표시를 이용하여 위치를 추정하는 표식인지 (landmark recognition) 또는 모델매칭 (model matching)등을 이용하는 방법이다. 상대항법은 기준 위치와 방향으로부터의 변이를 측정하여 현재의 위치를 계산하는 방법이다. 이 두가지 방법은 서로 상반되는 장단점이 있어 절대항법은 일정한 오차범위내의 위치정보를 제공하나 항상 위치정보를 제공하지 못하는 경우가 있으며 상대항법은 항상 위치정보를 제공한다는 장점은 있으나 오차가 무한히 증가할 수 있다는 것이다. 본 논문에서는 이동로봇의 2차원 공간에서의 상대항법과 3차원 공간에서의 항법을 위해 절대항법과 상대항법을 연동하는 방법에 대해서 기술한다.

이동로봇에서 사용되는 대표적인 상대항법센서로는 내부주행기, 관성센서인 가속도계와 자이로스코프(이하 자이로)가 있다. 이 방법은 구성이 간단하고 외부의 도움 없이도 항상 실시간으로 위치 추정이 가능하다는 장점이 있는 반면 위치 오차의 증가를 피할 수 없다는 단점이 있다. 즉, 내부주행기는 이동 거리와 주행 표면에 따라, 관성 센서는 작업 시간에 따라 오차가 누적된다는 단점이 있다. 엔코더오차는 정규 오차(systematic errors)와 비정규 오차(non-systematic errors)로 구분할 수 있으며 자이로오차는 규칙 오차(deterministic errors)와 불규칙 오차(stochastic errors)

로 구분할 수 있다(1,2,3). 규칙오차는 적당한 함수를 선정하여 보상할 수 있지만 불규칙 오차는 필터를 통해서 보정해야 한다. 이동로봇에서 사용되는 필터는 대부분 확장 칼만 필터(extended Kalman filter)를 사용하고 있으며 불규칙적인 오차를 보정하도록 설계되고 있다(4-7). 최근 연구에 따르면 자이로의 규칙오차 분석과 보상방법, 불규칙 오차를 필터를 통하여 추정하는 방법, 자이로와 엔코더정보를 필터를 통하여 혼합하는 방법에 관한 연구도 보고되어 있다(8).

## 2. 상대항법을 이용한 위치 결정기법

상대항법을 이용한 위치 결정 방법은 오차가 누적된다는 단점이 있다. 특히 방향각 오차는 큰 위치오차를 유발하므로 보다 정확한 가속도계는 이동로봇의 가속도를 측정하며 측정된 가속도를 두 번 적분하면 이동한 거리를 알 수 있다. 보통 측정된 가속도는 벡터 성분이기 때문에 현재 위치를 알아내기 위해서는 방향이 필요하며 방향을 알아내기 위해서 자이로를 많이 사용한다. 자이로는 회전축을 중심으로 각속도를 측정 할 수 있으며 측정된 각속도를 적분하면 방향각을 얻을 수 있다. 가속도계 또는 자이로를 사용하여 위치와 자세를 결정하는 경우에는 노이즈에 매우 민감하게 된다. 현재 위치를 계산하기 위해서 센서의 출력을 적분하게 되는데 이때 센서의 작은 오차는 적분 과정을 통해 위치 오차를 크게 증가시키게 증가하게 된다. 본 절에서는 상대항법을 주 위치 결정 시스템으로 사용하여 외부의 도움 없이 항상 위치 추정이 가능하도록 하며 누적되는 위치 오차를 필터를 사용하여 개선하는 방법을 설명한다.

### 2.1 엔코더를 이용한 상대 항법

그림 1과 같은 차등 엔코더를 사용하는 이동로봇에 대하여 고려한다. 그림 2와 같이 2 차원 공간에서 차등 구동 방식의 이동로봇이 주행한다고 하면 현재 위치와 자세는 식 (1)과 같이 계산된다. 3차원 공간을 움직이게 되면 좀 더 복잡한 항법식을 사용하여야 하지만 본 논문에서는 편의상 이동로봇의 움직임을 2차원으로 한정하

여 설명한다.

OXY 좌표계는 기준 좌표계이고, oxy는 원점이 이동로봇의 중심, 진행방향이 x축, 왼쪽으로 직각 방향이 y축인 동체 좌표계이다. 이동로봇의 자세는 항법 좌표계의 동체 좌표계의 각 차이로 정의 한다. 이동로봇의 위치와 자세는 차등 엔코더를 사용하여 계산 할 수 있다. 여기서 RINC(또는 R), LINC(또는 L)는 각각 오른쪽 엔코더, 왼쪽 엔코더의 증가분을 나타내고 D는 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴 사이의 거리(축간 거리)를 나타낸다.

$$\begin{aligned} X(k+1) &= X(k) + \sin\psi(k) \times INC \\ Y(k+1) &= Y(k) + \cos\psi(k) \times INC \\ \psi(k+1) &= \psi(k) + \frac{RINC - LINC}{D} \\ INC &= \frac{RINC + LINC}{2} \end{aligned} \quad (1)$$

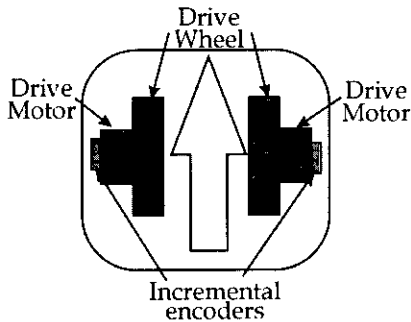


그림 1. 차등 엔코더를 사용하는 이동로봇로봇.

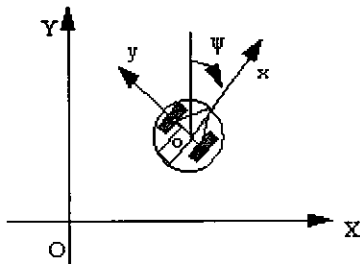


그림 2. 이동로봇로봇 좌표계.

엔코더 오차는 엔코더 환산계수오차와 왼쪽, 오른쪽 바퀴 사이의 거리 오차 등 규정 오차와, 고르지 못한 평면을 주행하여 발생하는 오차 또는, 바퀴의 미끄러짐 때문에 발생하는 오차 등 비규정 오차가 있다. 규정 오차는 모델링을 통하여 보상 할 수 있으므로 필터를 통하여 보정하는 방법이 제시되어 있다. 비규정오차는 절대항법을 통해서 보상 할 수 있지만 상대항법을 통해서 보정할 수 없으며 필터링과 같은 신호처리기법을 사용하여 비규정오차를 줄일 수 있다.

2.2 자이로스코프를 이용한 자세계산

자이로는 각속도를 측정하는 센서로서 장시간 동안 정확한 각속도를 제공 할 수 있다. 그러나, 자세를 계산하기 위해서는 측정된 각속도를 적분하여야 하는데 측정값에 섞인 오차는 적분 과정을 통해서

누적되어 큰 자세오차를 유발하는 원인이 된다. 식 (2)는 자이로를 사용해서 자세를 계산 할 때 사용되는 식이다.

$$\phi = B_s \Omega + B_b \quad (2)$$

여기서 는 자이로를 이용하여 계산된 자세이고, 는 측정된 각속도 (단위 : volt), 는 환산계수 (단위 : secvolt), 는 불규칙 바이어스이다. 자이로의 주요오차는 불규칙 바이어스 오차와 환산계수 오차이다. 일반적으로 자이로의 측정값은 외부 입력이 없는 경우에는 영의 출력을 나타내야 하지만 실제 출력은 영이 되지 않는다. 이것을 자이로 바이어스라고 하고 자이로오차의 주요한 부분이다. 환산계수는 측정된 전압 또는 전류를 각속도로 바꾸어주는 상수이지만 실제 상황에서로는 상수가 되지 않고 온도나 외부 환경에 따라 변하게 된다.

• 온도특성 보상

자이로 바이어스는 일반적으로 온도에 영향을 받는다. 그림 3에는 온도에 따른 자이로 출력을 보여주고 있다. 이러한 오차를 제거하는 방법으로는 (5)에서 제시된 방법이나 최소 자승법을 사용할 수도 있다. 그림 3의 온도에 따른 자이로 출력을 살펴보면 자이로의 온도에 따른 바이어스오차를 2차 곡선 또는 1차 곡선으로 근사화 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 최소 자승법으로 곡선의 계수를 구할 수 있다. 이 방법을 사용하여 온도에 따른 자이로의 바이어스를 보상하고 난 후의 자이로 출력은 그림 4에 나타나 있다.

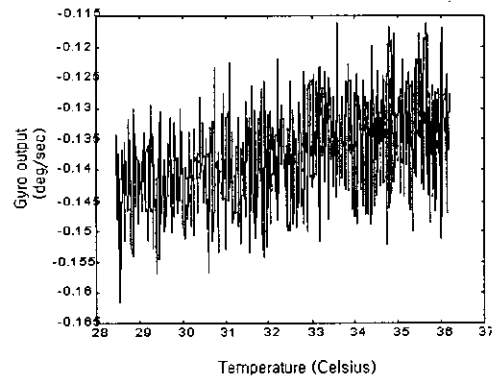


그림 3. 온도특성에 따른 자이로 출력

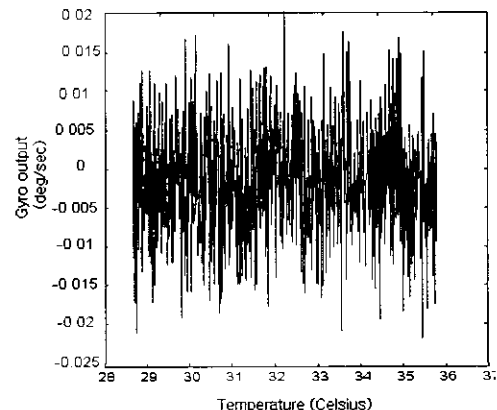


그림 4. 온도특성을 보정한 후 자이로 출력

● 환산계수 오차 보상

자이로의 환산계수는 입력 각속도와 자이로에서 측정된 각속도의 비율로 정의된다. 이상적인 상황에서 자이로의 환산계수는 상수이어야 하지만 실제로는 변하게 된다. 이러한 환산계수를 보상하기 위해 자이로를 레이트테이블에 장착하고 환산계수 오차를 구한다. 레이트테이블에서 생성된 각속도를 참값이라고 정의하고 자이로에서 측정된 각속도와 값을 그림 5에서 비교하였다. 그림 5에서 각속도는 -95 sec 에서 95 sec 까지 5 sec 간격으로 측정된 것이다. 이상적인 상황이라면 측정된 자이로 값은 참값과 일치하여야 한다. 그러나 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 오차가 존재함을 알 수 있고 이 오차는 환산계수오차에 의한 것이다. 그림 6에서는 참값에서 자이로의 측정값을 빼서 구한 환산계수 오차를 보여주고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이 환산계수오차가 곡선 형태를 취하고 있음을 추정 할 수 있다. 따라서 자이로의 환산계수오차를 일정한 곡선으로 근사화 하고 계수를 추정하여 환산계수 오차를 보정하는 방법을 사용한다. 이후에 남은 자이로의 오차는 불규칙 오차라고 가정 할 수 있다. 이러한 불규칙 오차를 보정하는데는 오차모델링과 필터를 사용해야 하는데 많이 사용되는 오차모델링은 랜덤 상수가 많이 쓰인다(8, 9, 10).

이동로봇이 실내주행을 할 때는 2차원 평면을 움직이고 있다고 가정한다. 즉 자이로의 입력 축을 수직 방향인 Z축으로 가정하고 있는데, 이동로봇이 실외 또는 경사가 있는 평면에서 움직이면 입력이 Z축에서 벗어나므로 공간 XYZ 축의 3차원 항법이 필요하게 된다. 3차원 상대항법은 물체의 가속도를 측정하는 가속도계 3개와 회전을 측정하는 자이로 3개를 3축 방향으로 배열하여 가속도와 각속도 센서 값을 측정, 적분과정을 통하여 공간상에서 위치와 자세를 계산한다. 각각의 센서오차 보정하는 주요 방법은 앞에서 설명한 온도특성과 환산계수오차 보상 하는 방법을 사용 할 수 있다. 가속도계를 사용하는 경우에는 자세에 따라 발생하는 지구 중력가속도 성분이 물체의 움직임에 의해 발생하는 가속도에 포함되어 있으므로 이를 보상해 주어야 한다. 3차원 공간을 움직이는 이동로봇에 관성 항법을 사용하는 경우에 해결 해야 하는 문제점 중 하나는 이동로봇이 움직임에 의한 가속도 성분이 지구 중력가속도 성분에 비해 작은 값 (보통 0.1g 이하) 이므로 중력을 정확히 보상 하지 않은 경우에 위치와 속도가 쉽게 발산 할 수 있다. 따라서 가속도계 센서 오차를 정확히 보정하고 자이로에서 추정된 자세각에 의해 정확한 중력가속도 성분을 보상해야 이동로봇의 항법에 사용 될 수 있다.

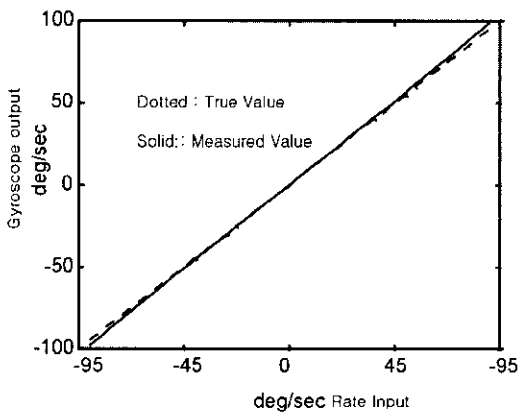


그림 5. 입력 각속도에 따른 자이로의 출력

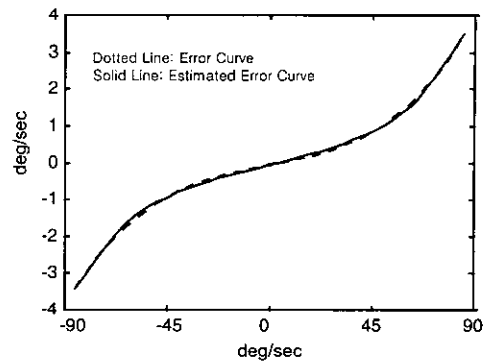


그림 6. 입력 각속도에 따른 자이로의 출력 오차 (환산계수오차)

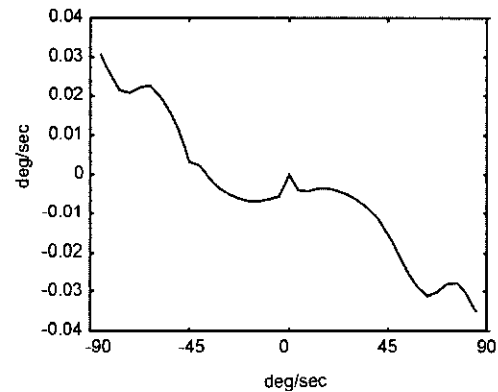


그림 7. 환산계수 오차를 보정하고 난 후 자이로 출력오차

자이로를 사용하여 방향각을 결정하는 경우 시간이 흐름에 따라 방향각의 오차를 증가시키는 바이어스 오차를 줄이는 것이 가장 큰 문제이다. 바이어스의 영향을 줄이기 위해서는 센서 오차가 1/hr - 10/hr 이하인 중고급 자이로를 사용해야 하는데 센서 당 가격이 수 백만원에서 수천만원에 이르므로 저가의 이동로봇에 사용하기는 어렵다. 그러나 최근에 3만원이하의 초저가 저급 자이로(센서 오차 100 ~ 500 /hr 이상)에 신호처리기술을 사용하여 오차를 크게 개선하는 신호처리모듈이 개발되었다. 그림 8에서 왼쪽 그림은 2차원에서 사용할 수 있도록 제작된 자이로 신호처리 모듈이고 오른쪽 그림은 3차원에서 사용 될 수 있도록 자이로와 가속도계가 포함되어 있는 모듈이다. 2차원 자이로 모듈은 무라타 자이로1개, Analog Device사의 가속도계 1개, 신호처리회로가 포함되어 있고 3차원 자이로 모듈은 무라타 자이로 모듈 3개, Analog Device사의 가속도계 3개, 신호처리회로가 포함되어 있다. 각각의 크기는 3.5 cm x 5.3 cm x 1.8 cm, 3.5 cm x 6.8 cm x 1.8 cm 이다. 사용한 자이로의 제원과 신호처리후의 주요 제원은 각각 표 1, 2와 같다.

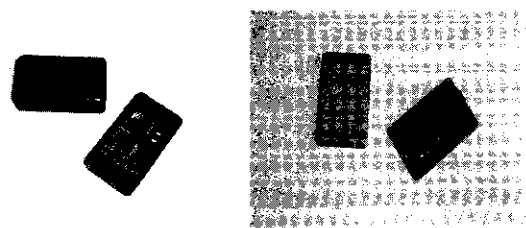


그림 8. 2차원 및 3차원 관성항법 모듈 (쥬마이크로인피너티 제공)

표 1. 무라타 자이로 제원

Description	Specification
Maximum Input Rotation Rate	300 %/sec
Bias Drift Fixed Temperature	>500 °/hour (?)
Scale Factor Linearity Constant Temp	>5 %
Scale Factor Variation by Temp	20%

표 2. 신호처리 모듈에 의해 개선된 제원  
(쥬마이코로인피니티제공)

Description	Specification
Maximum Input Rotation Rate	300 %/sec
Bias Drift Fixed Temperature	10 °/hour
Scale Factor Linearity Constant Temp	3 %
Resolution	0.01 °

### 3. 칼만필터를 이용한 항법시스템 구성

항법시스템에서 사용하는 갈만필터는 두 가지로 구분된다. 첫번째로 필터에서 속도, 위치, 자세 등 항법 정보를 직접 추정하는 방법이 있고, 둘째로 속도 오차, 위치 오차, 자세 오차 등 항법 오차를 추정하고 이를 사용하여 항법시스템의 오차를 교정하는 방법이 있다. 첫 번째 방법을 직접추정 항법시스템이라고 하고 두 번째 방법을 간접추정 항법시스템이라고 한다.

그림 9는 직접추정 항법시스템을 사용하여 이동로봇로봇의 항법 시스템을 구성한 경우이다. 이 방법의 단점은 필터가 항법 루프 안에 있기 때문에 정확한 동적 모델링을 요구한다(8, 9). 이러한 단점은 간접추정 항법시스템을 사용하면 해결 할 수 있다. 이 방법은 센서 출력을 바로 직접 사용하여 이동로봇로봇의 위치와 자세를 계산한다. 따라서 이동로봇로봇의 정확한 동적 모델링이 필요하지 않고 이동로봇로봇의 움직임에 따라서 위치와 자세를 바로 계산 할 수 있는 장점이 있다.

필터는 센서 데이터를 비교하여 위치, 자세 오차를 추정한다. 추정된 오차를 사용하는 방법에 따라 앞먹임 간접 추정 항법시스템과 되먹임 간접 추정 항법시스템이 있다. 그림 10은 앞 먹임을 이용한 간접추정 항법시스템이다. 이 방법에서 엔코더를 이용한 항법시스템은 필터의 도움 없이 위치와 자세를 계속해서 추정하고 있는 것으로 볼 수 있다. 즉 자이로에서 얻어진 측정값을 사용해서 엔코더 항법시스템의 오차를 보정하는 것이다. 이 방법은 필터에서 사용하는 오차식의 선형성과 정확성에 비례해서 성능을 나타낸다. 필터에 사용된 오차식은 작은 오차를 가정하여 구성 되었기 때문에 작은 오차를 유지

하여야만 항법시스템의 성능을 향상 시킬 수 있으나 엔코더를 이용한 항법시스템의 오차는 주행거리에 따라 계속해서 증가하므로 작은 오차를 유지 할 수 없다. 따라서 그림 11과 같은 되먹임을 이용한 간접추정 항법시스템이 요구된다 (8,9,11).

필터를 이용해서 추정된 오차를 되먹임하면 엔코더의 오차를 작게 유지 할 수 있으며 센서의 오차 특성을 선형으로 유지 할 수 있는 장점이 있어 필터의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 이 방법은 필터 공분산의 갑작스러운 증가로 인해 필터가 오동작을 하더라도 계속해서 필터링 되지 않은 위치와 자세를 제공할 수 있다. 그림 12는 엔코더와 자이로를 사용하여 이동로봇로봇의 되먹임 간접 추정 항법시스템을 구성한 것이다. 이 항법시스템은 엔코더의 정규 오차와 자이로의 랜덤 오차를 필터를 통해서 보상한다. 또한 엔코더와 자이로는 필터를 통해 상호 보완적인 역할을 할 수 있다. 따라서 항법시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다. 필터는 엔코더와 자이로의 센서 오차를 추정하고 이동로봇로봇의 위치와 자세 오차를 추정한다. 추정된 오차를 다시 각각의 센서에 되먹임하여 센서오차 및 위치 자세 오차를 교정한다. 필터의 입력으로 엔코더와 자이로에서 계산된 자세각의 차이를 사용하므로 필터를 통해서 엔코더와 자이로의 오차를 보상 할 수 있는 효과가 있다. 또한 구성된 시스템은 자이로의 랜덤 오차 성분을 자이로 오차 모델링을 통해서 고려하고 있는 특징이 있다(8).

그림 11에 설명된 이동로봇의 항법시스템은 3차원 공간에서 이동로봇을 사용할 때 GPS 또는 위치 표식을 사용하는 절대항법 등에서 추정되는 위치, 자이로에서 추정된 자세, 가속도계에서 추정된 위치, 엔코더에서 추정된 위치를 혼합하는 방법에서도 활용 될 수 있다. 3차원 공간에서 사용되는 이동로봇의 항법시스템은 그림 12에 설명되어 있다. 필터에서는 각각의 센서에서 추정된 위치와 자세를 비교해서 센서오차를 추정하고 이를 각각의 센서에 되먹임한다. 또한 추정된 위치 자세오차는 이동로봇의 위치와 자세를 보정하여 3차원 공간에서 이동로봇의 위치를 추정 할 수 있다. 이러한 방법은 상대항법과 절대항법을 혼합하여 사용하는 방법으로 복합항법이라고 하며 위치오차와 자세오차를 일정하게 유지 시킬 수 있다. 복합항법은 절대항법과 상대항법을 연합하는 과정에서 센서 레벨의 융합부터 단순히 위치 자세 출력값의 융합까지 다양한 방법이 있다. 각각의 방법에 따라 성능과 오차의 차이가 존재하게 되는데 센서레벨의 융합은 시스템의 복잡성이 증가하는 대신 위치, 자세 오차가 줄어들고 항법시스템의 오류에 강한 장점이 있다(Fault tolerance). 단순한 위치 자세 값의 융합(그림9 또는 그림 10)은 시스템이 단순하지만 시스템의 성능이 각각 센서의 오차 범위에 따라 크게 좌우되고 항법시스템의 오류에 민감하게 반응하게 된다.

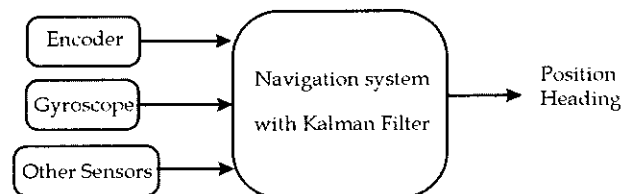


그림 9. 직접 추정 항법시스템

4. 결 론

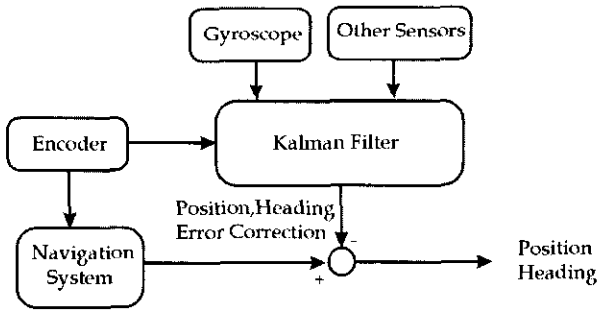


그림 10. yaw rate를 이용한 간접 추정 항법시스템

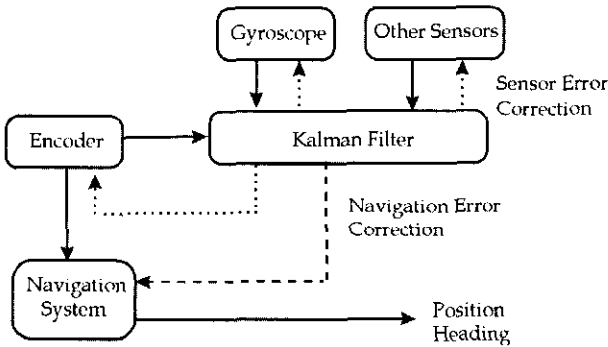


그림 11. heading error를 이용한 간접 추정 항법시스템

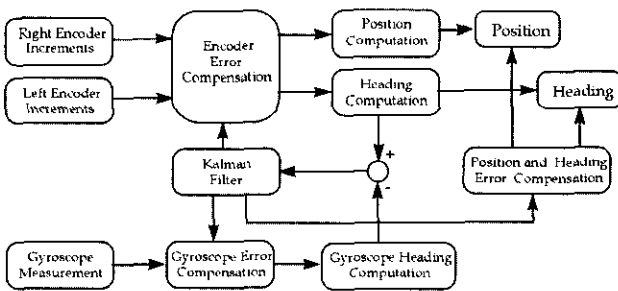


그림 12. 자이로와 엔코더를 사용한 이동로봇의 2D 항법시스템

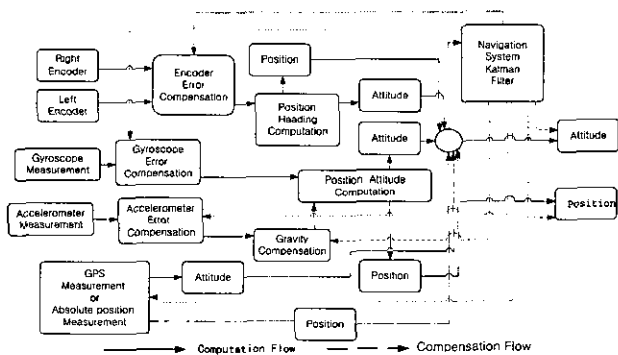


그림 13. 엔코더, 가속도계, 자이로, GPS를 이용한 이동로봇의 3D 항법시스템

본 논문에서는 이동로봇의 항법시스템에 고찰하였다. 대부분의 이동로봇의 상대항법 시스템은 엔코더를 주 항법시스템으로 사용하고 있으며 위치오차에 크게 영향을 미치는 방향각 오차를 개선하기 위하여 자이로스코프를 사용한다. 본 논문에서는 각 센서의 오차요인을 분석하여 모델링하는 방법에 대하여 설명하였으며 필터를 구성하기 위하여 엔코더의 규칙오차와 자이로의 랜덤 오차를 분류하였고 보상하는 방법에 대해 설명 하였다. 또한 각각의 센서를 결합하여 항법시스템을 구성하는 필터의 구현 기법에 대해서도 설명 하였다. 필터의 구현기법에 따라 센서의 오차를 보상하는 방법이 달라지고 이동로봇 항법시스템의 성능이 달라지게 된다.

상대 항법시스템은 상대적으로 단순하며 구성하기가 용이 하지만 위치 자세오차의 증가를 피할 수 없는 단점이 있다. 따라서 절대항법을 사용하여 위치 자세오차를 보상하면 이동로봇의 항법시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 3차원 상대 항법시스템은 주로 관성센서인 자이로와 가속도계를 사용하게 되는데 이동로봇의 경우 움직임이 중력가속도 성분대에 비해 느리기 때문에 정확한 중력성분 보상이 이루어지지 않으면 위치 오차가 쉽게 발산 하게 된다. 이러한 문제점을 보상하기 위해 GPS와 같은 절대 항법을 융합하여 복합항법을 구성하게 되며 오차 보상 필터의 설계기법에 따라 다양한 항법시스템이 존재하게 된다. 이러한 방법들의 유용성은 다양한 이동로봇의 적용에 따라 확인되어지고 있고 앞으로도 많은 발전이 기대되고 있는 연구 분야이다.

참고문헌

- [1] Borenstein, J. and Feng, L. 1995c, *Where am I ? Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning - 1995 Edition*
- [2] Borenstein, J. and Feng, L. 1995, Correction of Systematic Dead-reckoning Errors in Mobile Robots, *1995 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'95)*, Pittsburgh, PA, Aug. 5-9, pp.569-574.
- [3] Borenstein, J. and Feng, L. 1995, UMBmark : A Method for Measuring, Comparing, and Correcting Dead-reckoning Errors in Mobile Robots, Technical report UM-MEAM-94-22, University of Michigan
- [4] Barshan, B. and Durrant-Whyte, H. F., 1994, Orientation Estimate for Mobile Robots Using Gyroscopic Information, *1994 International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS '94)*, Munich, Germany, Sept. 12-16, pp. 2243-2248.
- [5] Barshan, B. and Durrant-Whyte, H. F., 1995, Inertial Navigation Systems Mobile Robots, *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 11, No. 3, June, pp. 328-342.
- [6] Komoriya, K. and Oyama, E., 1994, Position Estimation of a Mobile Robot Using Optical Fiber Gyroscope(OFG), *1994 International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS '94)*, Munich, Germany, Sept. 12-16, pp.

- 143-149.
- [7] Vaganay, J., Aldon, M. J., and Fourinier, A., 1993, Mobile Robot Attitude Estimation by Fusion of Inertial Data, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Atlanta, GA, May 2-7, pp. 3243-3248.
  - [8] 박규철, 정학영, 이장규, "간접되먹임 필터를 이용한 이동로봇의 추측항법시스템," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, pp. 827-835, Vol.5, No 7, October, 1999.
  - [9] Maybeck, P. S. *Stochastic models, estimation, and control Volume 1*, Academic Press. 1979
  - [10] Siouris G. M. *Aerospace Avionics Systems - A Modern Synthesis*, Academic Press 1993.
  - [11] KyuCheol Park, Jinwon Kim, Chansik Park and Jang Gyu Lee, 1996, Car Navigation System Using DGPS and Fiber Optical Gyroscope, *3<sup>rd</sup> GPS Workshop Proceeding*, Seoul, Korea, Nov. 21-23.

## 저 자 소 개



### 박 규 철 (朴圭澈)

1993년 서울대 제어계측공학과 졸업, 동 대학원 석사(1995), 동 대학원 박사(1999). 1998년~현재 서울대학교 자동제어 특화연구센터 전임연구원. ㈜마이크로인피니티 기획실장. 관심분야는 이동로봇을 위한 항법시스템, 차량항법시스템,

비선형 제어 및 이동로봇제어



### 정 학 영 (鄭學榮)

1983년 서울대 제어계측공학과 졸업, 동 대학원 석사(1985), 동 대학원 박사(1994). 1995년~현재 서울산업대학교 제어계측공학과 조교수. ㈜마이크로인피니티 대표이사. 관심분야는 이동로봇을 위한 항법시스템, 차량경로계획시스템,

MEMS센서신호처리