

논문 2011-06-17

다양한 센서 융합을 통한 효율적인 모바일로봇 프레임워크 설계

On the Design of an Efficient Mobile Robot Framework by Using Collaborative Sensor Fusion

김 동 환, 조 성 현, 양 연 모*

(Dong-Hwan Kim, Sung-Hyun Jo, Yeon-Mo Yang)

Abstract : There are many researches in unmanned vehicles such as UGV(Unmanned Ground Vehicle), AUV(Autonomous Underwater Vehicle). In these researches, differential wheeled mobile robots are mainly used to develop the experimental stage algorithm because of the simplicity of modeling and control. Usually a commercial product used in the study, but in order to operate a commercial product to the restrictions because there would need to use a fixed protocol. Using the microprocessor makes the internal sensors(encoder and INS) and external sensors(ultrasonic sensors, infrared sensors) operate and to determine commands for robot operation. This paper propose a mobile robot design for suitable purpose.

Keywords : Mobile robot, Localization, DC motor control, Ultrasonic sensor, Infrared sensor

1. 서 론

최근 다양한 산업분야를 넘어 일상생활에서도 로봇이 널리 사용되고 있으며, 다양한 환경에서 효과적으로 임무를 수행하기 위해서는 로봇에 더욱 많은 지능이 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 연구 결과를 시험할 로봇 플랫폼이 필요하다. 보통은 모델링이 비교적 간단하며, 움직임이 안정적인 바퀴형 로봇이 많이 사용된다 [1]. 개발기간 단축을 위해 상용제품이 로봇 연구에 많이 사용되고 있으며, 이러한 상용제품을 사용하기 위해서는 로봇 제작사에서 제공하는 SDK(Software Development Kit)를 설치하여 정해진 프로토콜을 통하여 로봇을 제어하는 프로그램을 작성하여야 한다 [11]. 따라서 제공

되는 프로토콜의 종류에 따라 원하는 알고리즘을 적용하기 곤란한 경우가 생길 수 있으며 제조사에서 로봇의 크기나 모터 및 모터 엔코더 등의 스펙이 정해져서 출시되기 때문에 필요에 의해 하드웨어를 수정하기가 까다롭다는 한계점이 존재한다. 따라서 원하는 기능을 갖춘 이동로봇 플랫폼을 직접 제작하면 더욱 유연한 연구를 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 목적에 부합하는 정밀한 이동로봇 플랫폼 제작에 대한 연구를 수행하였다. 이러한 하드웨어의 유연성과 정밀도를 위하여 로봇에 장착될 센서를 고려하여 프레임 및 시스템구성과 프로토콜을 직접 설계하였으며, 상용 제품에 비하여 합리적인 비용으로 원하는 기능을 구현하였다. 내부센서의 정확성을 향상시키기 위한 디자인을 통하여 위치보정 알고리즘 없이 양쪽 바퀴에 장착되어 있는 엔코더로만 위치 인식을 수행하였을 때에도 기존의 지도와 일치됨을 확인 하였다.

로봇이 자신의 위치인식과 주변 환경에 대한 지도를 동시에 작성하는 것을 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 이라고 한다. 이는 로봇이 출발점으로부터 얼마나 움직였는지에 대한 정보를 누적하며 자신의 위치를 끊임없이 업데이트하며, 외부를 감지하는 센서를 이용하여 주변의 지도

* 양연모(Corresponding Author)

논문접수 : 2011. 02. 28., 수정일 : 2011. 03. 22.,

채택확정 : 2011. 04. 04.

조성현 : 삼성전자 IT 생산/SW팀

김동환, 양연모 : 금오공과대학교 전자공학부

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문.

를 작성하는 과정이다 [4-5]. 따라서 이를 가능하게 하는 가장 기본이 되는 정보는 로봇이 가지고 있는 주행 거리계(Odometry)가 되며, 보다 정밀하게 조정된 주행거리계를 사용하면 보다 정밀한 지도를 작성할 수 있을 것이다 [9].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 바퀴형 로봇 중 Differential wheeled 형태에 대한 모델링에 대해서 살펴본 후 3장에서 실제 로봇 설계와 제어 프로세서 및 센서등의 구조에 대해서 살펴본다. 4장에서는 내부센서 및 외부센서를 제어하는 방법을 다루었으며 5장에서 구동 모터제어 및 속도 측정용 엔코더에 대하여 다루었다. 6장에서는 측정된 데이터를 기반으로 로봇의 위치를 추정하는 방법을 다루었으며 7장에서는 데이터를 종합하여 PC 상에서 지도를 작성하는 내용을 다루었다.

II. 로봇의 수학적 모델링

1. 이론 이동 로봇의 기구학

이동로봇을 실제로 구동하기 전에 컴퓨터를 이용하여 이동 로봇을 시뮬레이션 하는 경우에 아래와 같이 로봇의 움직임과 바퀴에 대한 몇 가지 가정을 하는 경우가 많다. 1)바퀴와 바닥면은 한 점에서 접촉한다. 2)바퀴는 강성체이다. 3)바닥면과의 굴림 및 미끄러짐 현상이 없다. 따라서 시뮬레이션된 로봇을 이용하여 실제 로봇을 제작하기 위해서는 위의 사항을 충분히 고려해서 실제의 움직임과 시뮬레이션 사이의 오차에 대해서 대비해야 한다. 이동로봇은 주위 환경에 대해 일반적으로 2차원적으로 이동하기 때문에 다음과 같은 특징을 가진다. 1)로봇의 위치를 직접적으로 측정하기 보다는 외부 센서 등을 이용하여 간접적인 방법으로 측정하는 경우가 많다. 2)어떤 경우에는 로봇의 움직임에 따라서 위치 오차가 누적되기도 한다. 3)로봇의 위치 추정과 주위 환경에 대한 지도 작성은 동시에 이루어지는 경우도 많다.

그림1에서 Differential wheeled robot을 모델링하였다.

그림 1에서 x_I, y_I 를 기준 좌표의 축이라 하면, 기준 좌표계에 대한 이동 로봇의 위치 ξ_I 는 기준 좌표계에서의 로봇의 위치인 $[x\ y]^T$ 와 주행 방향을 나타내는 θ 로 나타낼 수 있으며 이를 통합하여 간단히 표시하면 $\xi_I = [x\ y\ \theta]^T$ 가 된다. 또한 평

면상에서 로봇 속도 $\dot{\xi}_I = [\dot{x}\ \dot{y}\ \dot{\theta}]^T$ 로 나타낸다.

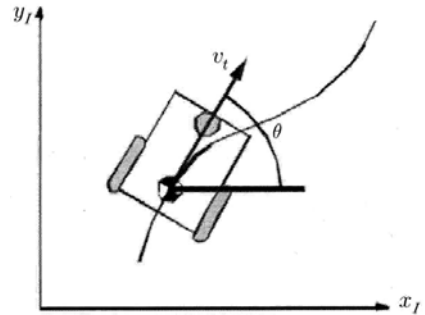


그림 1. 바퀴형 이동로봇 모델
Fig. 1. Differential wheeled robot

2. 위치 추정

로봇은 끊임없이 위치가 변하며, 그러한 위치 변화를 인식할 수 있는 방법은 다양하다. 최근에는 위성을 통한 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 지구상의 어느 위치에서나 GPS위성의 신호만 수신되면 자신의 위치를 알 수 있는 방법이 사용되고 있다. 또한 실내에서의 위치를 인식하기 위해서 실내에 송신기를 부착하여 로봇이 그 정보를 수신하여 자신의 위치를 인식하는 방법이 있다. 하지만 이러한 방법들은 위성을 미리 발사해야 한다거나, 송신기를 부착해야 한다는 단점이 존재하며 이러한 단점은 다양한 상황에서 위치 인식에 실패할 가능성을 내포하고 있다. 따라서 로봇이 가지고 있는 내부 센서인 주행거리계나 관성측정장치(Inertial Navigation System, INS)를 이용하거나, 로봇에 부착된 외부센서인 카메라, 레이저스캐너, 초음파를 이용한 거리측정 센서 등을 이용하여 로봇 독립적으로 외부 상황을 인식하며 미리 저장된 물체들의 정보를 이용하여 간접적으로 위치를 추정하는 방법 또한 매우 중요하다고 볼 수 있다 [1].

III. 로봇 설계

1. 프레임 디자인

그림 2는 설계된 로봇의 프레임이다. 감속기어가 장착된 2개의 DC모터가 사용되었으며 바퀴와 연결되는 부분에 증분형 로터리 엔코더(Incremental encoder)가 각각 장착되어 있다. 로봇의 하부 프레임에는 모터 구동을 위한 모터 구동

드라이버 IC와 배터리와 전원 회로가 장착된다. 제어기로는 모터 구동용 제어신호선과 궤환제어용 엔코더신호선이 연결된다. 로봇 내부의 엔코더가 크기 때문에 로봇의 밑판과 분리되어 부착되게 되는데 이렇게 되면 모터를 고정해 주는 프레임이 휘어질 가능성이 있어서 프로파일을 사용하여 설계를 하였다. 그리고 모터 엔코더의 내부 직경이 모터 축의 크기보다 크기 때문에 바퀴와 모터를 연결하기 위하여 허브 축을 설계하여 제작하였다. 또한 로봇의 윗부분에는 노트북 등의 하중을 견디기 위하여 프로파일을 사용하여 견고하게 설계하였다.

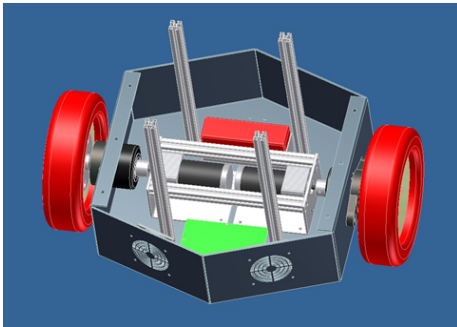


그림 2. 로봇 하부 프레임
Fig. 2. Robot under frame



그림 3. 로봇 센서 프레임
Fig. 3. Robot sensor frame

로봇의 센서부는 초음파 센서 16개, 적외선 센서 16개가 장착 될 수 있도록 설계하였다. 또한 초음파 센서와 적외선 센서는 선택하여 장착 될 수 있도록 센서를 독립적으로 설계하였다 [10].

2. Hardware 디자인

아래의 그림은 전체적인 하드웨어 구조도 이다.

하드웨어 구조는 그림 4와 같이 구성된다. 먼저 Main DSP (Digital Signal Processor)에서는 DC모터 제어를 수행하며 나머지 INS DSP(Inertial Navigation System Digital Signal Processor)에서는 자이로와 가속도 센서를 제어한다 [6]. 아래의

그림은 초음파 센서와 적외선 센서를 구동하는 ATmega2560의 내부 구성도이다.

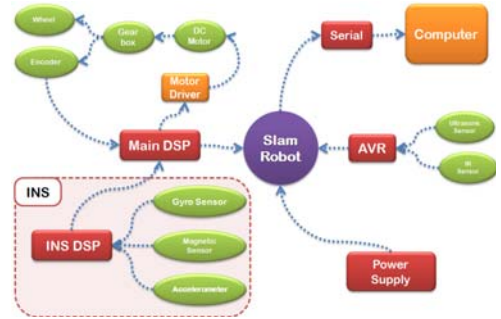


그림 4. 시스템 하드웨어 구조도
Fig. 4. System hardware architecture

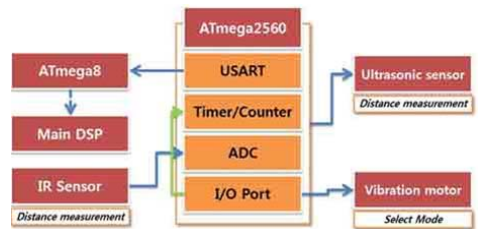


그림 5. ATmega2560 구성도
Fig. 5. Atmega2560 architecture

ATmega2560는 센서구동을 위한 보조 컨트롤러이다. DSP컨트롤러에서 모든 센서 값을 처리 할 수 있지만 외부 인터럽트 처리장치가 3개만 존재하기 때문에 모든 센서를 구동하기 위해서는 회로 구성이 복잡해지게 된다. 그래서 보다 간단하게 초음파 센서 및 적외선 센서를 구동하기 위하여 보조컨트롤러를 사용하였다. 두 개의 컨트롤러는 SPI통신을 통하여 정보를 주고받는다 [7].

IV. 센서 제어

1. 초음파 센서 간섭 현상

다수의 센서를 제어하다 보면 아래 그림과 같은 초음파 센서의 간섭 현상이 발생한다.

그림 6은 초음파 센서가 동작 시 발생하는 간섭 현상이다. 간섭 현상은 멀리까지 갔던 음파가 되돌아오면서 현재 측정하고자 하는 센서에 간섭 현상을 미치거나 가까이 위치한 초음파에서 발생한 음파가 영향을 주는 부분이다. 그래서 이 문제를 해결

하기 위하여 한 번에 많은 초음파를 송신하기 보다는 여러 번 나누어 송신하는 방법을 선택하였다.

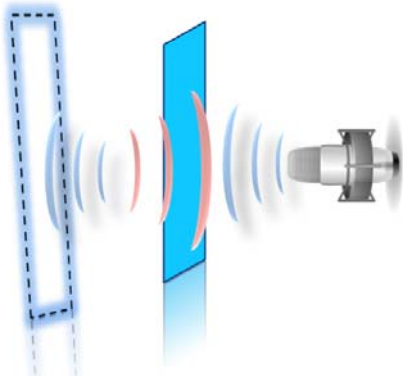


그림 6. 초음파 센서의 간섭 현상
Fig. 6. Interference of ultrasonic sensor



그림 7. 초음파 센서 동작 순서
Fig. 7. Operational sequence of ultrasonic sensors

우선 각 센서를 하나씩 측정하는 방법의 경우는 초음파 센서의 데이터시트에 있는 36ms의 주기로 사용하게 되면 최소 576ms로 데이터 수집이 늦다는 단점이 존재하였다. 이를 보완하기 위하여 한번에 4개의 센서를 동시에 사용하려 하였으나 외부 인터럽트가 아주 짧은 시간에 요청되어 올바른 처리를 할 수 없었다. 따라서 그림 7과 같이 2개의 센서를 동시에 사용하였다.

2. 적외선 거리측정 센서(PSD) 필터링

그림 9는 적외선 거리측정 센서(PSD) 출력을

나타낸 그림이다. PSD는 결과값이 전압으로 출력되며, 거리의 변화에 따라서 변화하는 출력을 ADC를 이용하여 측정하고, 제공되는 데이터시트를 참조하여 정확한 거리를 환산한다.

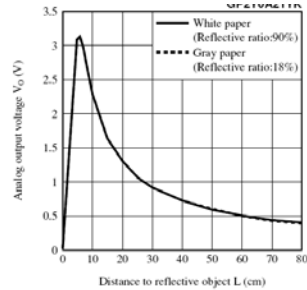


그림 8. 적외선 센서의 거리-전압 그래프
Fig. 8. Voltage vs distance graph

PSD의 데이터는 비교적 정확하며 업데이트 속도가 빠르다. 하지만 유리나 거울은 측정하지 못한다는 단점이 존재한다. 또한 일정 거리 이하의 데이터는 측정이 곤란하다. 따라서 초음파센서와 함께 사용하게 되었다 [3][5].

3. INS 제작

INS(Inertial Navigation System)에서 운동관성을 측정하는 장치를 IMU(Inertial Measurement Unit)라고 하며, 이 IMU는 센서 모듈과 인터페이스로 구성된다. 센서 모듈은 보통 선형 가속도를 측정하는 가속도계와, 각속도를 측정하는 각속도계로 구성되어 INS의 핵심 장치가 된다. 3차원 공간에서 움직이는 물체의 운동관성을 측정하기 위해서는 각 센서의 축이 90도로 직교하게 배치되어야 하며, 각종 측정 및 온도변화에 따른 오차를 보정하는 것이 무엇보다 중요한 문제가 된다. 이런 오차를 최대한 줄이기 위하여 여러 가지 기법이 연구되고 있다. 가속도계에서 측정된 가속도를 적분하여 속도를 구하고, 또한 속도를 적분하여 거리를 구하여 결과 값의 벡터 합으로 실제 위치를 측정하게 된다. 그림 9는 적용된 INS의 Block diagram이다.

INS에서 센서는 오차를 최대한 줄이기 위하여 로봇의 중심부분에 겹쳐서 직교하도록 위치시켰다. INS보드는 추후 다른 시스템에 적용이 가능하게끔 독립적인 모듈의 형태로 설계하였으며 센서 데이터의 출력은 SPI를 통하여 이루어지게 된다. INS에서는 Gyro를 1ms마다 샘플링하고 적분하여 각도를 구한다.

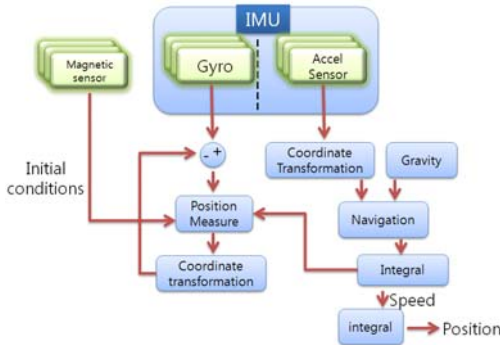


그림 9. 관성 항법장치의 블록 다이어그램
Fig. 9. Block diagram of INS

자이로 센서와 가속도 센서는 디지털 출력 센서이기 때문에 DSP와 SPI인터페이스로 연결 된다. 또한 자이로 센서에는 2개의 외부 12bit ADC채널을 가지고 있어서 3축 자이로 센서의 입력으로 사용하였다. Gyroscope에서의 출력은 각속도이며 이를 적분하게 되면 각도가 된다. 이때 Gyroscope의 특징은 정확한 offset을 설정하지 않으면 약간씩의 오차가 생기게 되고 이를 적분하게 되면 그 오차가 계속 누적되어 시간이 지나면서 그 오차가 점점 커지게 된다. 이는 일반적인 Gyroscope가 가지고 있는 한계점이며 이를 완화시키기 위하여 시스템 초기 설정 루틴에서 정지 상태에서의 센서 값을 여러 번 읽어 이를 평균하여 Offset값으로 사용하는 한편, 시간이 지남에 따라 온도변화에 따른 변화를 고려하여 센서 내부의 온도 센서에서 값을 읽어 값을 보정하였다.

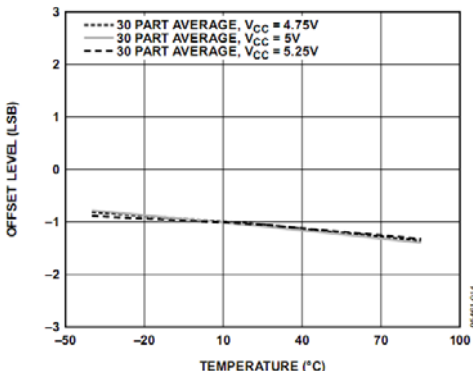


그림 10. 자이로센서 온도 그래프
Fig. 11. Gyro sensor temperature graph

그림 10의 온도변화에 따른 Offset변화 그래프

를 참고하여 선형방정식을 구하여 기존에 적용된 Offset값에 가감 하는 방식으로 적용하였다. 또한 테스트 결과 센서 입력 전원 또한 영향을 많이 미치는 것을 확인하였다.

따라서 INS용 전원은 Linear regulator를 이용하여 따로 사용하였다. 적분 오차를 줄이기 위한 여러 방법들을 사용하여 처음의 Drift오차보다 약 1/10정도로 오차가 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

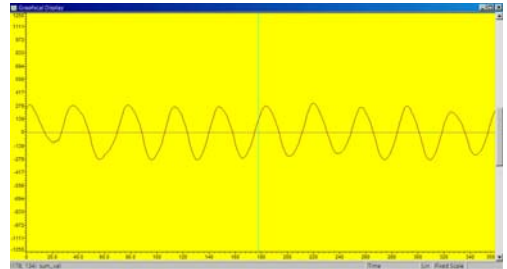


그림 11. 자이로 센서 파형
Fig. 11. Gyro sensor wave

그림 11은 자이로의 파형을 그래프로 나타내 본 그림이다. Yaw 방향으로 좌우로 연속적으로 움직였을 때의 파형이다. 센서에 Low-pass 필터가 적용되어 있어서 센서에서 어느 정도 지연이 생기게 된다. 적분된 자이로 값을 이용하여 엔코더출력과 비교하여 움직인 각도가 차이가 많이 나게 되면 타이머가 미끄러진 것으로 판단하고 사용자에게 경고를 주게 되고, 미끄러진 정보를 보정한다 [3][8].

V. 모터 제어

1. DC Motor Feedback Control

이번 논문의 특성상 보다 정밀한 Mapping을 위해서는 이동 거리와 로봇의 회전량을 측정할 수 있는 정밀한 센서가 요구된다. 따라서 가장 접근하기 용이하며 비교적 정밀한 엔코더를 사용하여 이동거리를 측정하고자 하였으며, INS(Inertial Navigation System)를 이용하여 여러 가지 상황에 대한 보정을 수행하였다. 더불어 엔코더 신호를 모터 Feedback 제어용으로 사용하여서 속도제어를 수행하였다.

엔코더는 그림 12와 같은 증분형 엔코더를 사용하여 모터 축에 바로 연결하여 사용하였다. 따라서 엔코더가 DC모터의 로터의 축에 직접 연결되어 있는 시스템 보다 감속기어의 정밀도, 유격 등에 영향

을 받지 않고 바퀴의 회전량을 측정 할 수 있다.

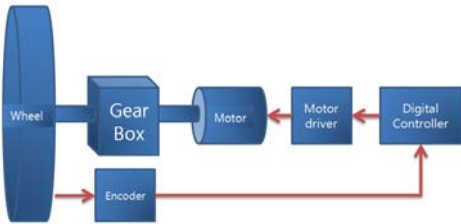


그림 12. Feedback 시스템
Fig. 12. Feedback system

엔코더는 정밀한 측정을 위하여 산업용 광학식 엔코더 모델 중 비교적 높은 분해능인 3200PPR (Pulse per revolution)의 제품을 선택하였으며, 4 체배가 되어 1회전에 12800pulse가 출력된다. 엔코더는 회전방향 측정 및 회전량의 데이터를 위하여 A/B/Z상이 출력되며 그림13에서 출력되고 있는 Z 상(위)과 A상(아래)의 파형을 확인할 수 있다.

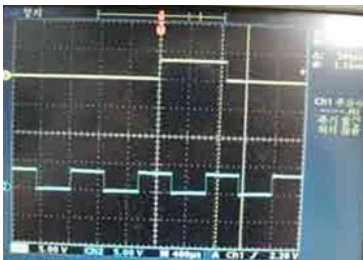


그림 13. 엔코더 펄스
Fig. 13. Encoder pulse

엔코더 출력은 Open collector 형태이기 때문에 센서 구동용 전압 12v와는 별도로 Pull-up 저항을 연결하여 원하는 신호 레벨로 출력이 가능하다. 본 시스템에서는 3.3v의 신호레벨을 사용하기 때문에 3.3v로 Pull-up시켰다.

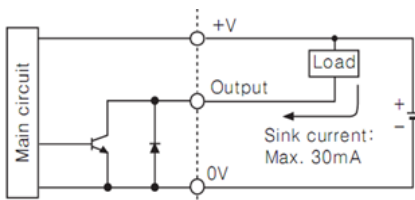


그림 14. NPN TR 오픈컬렉터 출력
Fig. 14. NPN TR open collector output

Open-collector Transistor(TR)구조의 출력 핀은 그림 14의 회로와 같은 내부 구조를 가지고 있기 때문에 Pull-up을 시키지 않으면 출력부의 트랜지스터가 정상적인 동작을 하지 않게 되어 올바른 출력을 얻을 수 없게 된다. 엔코더에서 입력된 신호는 DSP의 eQEP에 입력되어 PI컨트롤러에 입력되어 Speed control을 수행 하였다 [2].

VI. 로봇의 위치 및 장애물 위치 추정

1. 엔코더를 이용한 로봇 위치 추정

엔코더를 사용하면 이동거리와 회전 각도를 구할 수 있다. 먼저 이동거리를 측정하려면 양쪽 바퀴의 속도를 알아야 한다. 바퀴의 속도는 양쪽 바퀴에서 측정되는 엔코더 데이터로 측정 시간동안 이동거리를 사용하여 구할 수 있다. 양쪽 바퀴의 속도 (V_L, V_R)를 알게 되면 로봇의 이동 속도(V)를 알 수 있고 이동속도를 적분하면 로봇의 이동거리를 구할 수 있다.

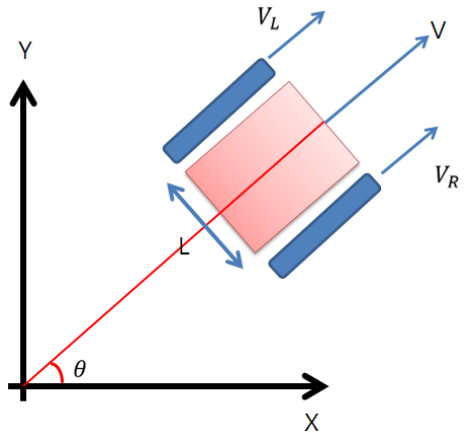


그림 15. 엔코더를 이용한 각속도, 속도 측정
Fig. 15. Velocity measurement via encoder

이동속도(V)는 (1)과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$V = \frac{V_L + V_R}{2} \quad (1)$$

또한 로봇의 회전각도(w)는 각속도 개념을 이용하여 구할 수 있다.

$$w = \frac{V_R - V_L}{L} \quad (2)$$

각속도에서는 단위에 유의해야 한다. 각속도의 단위는 rad/sec이므로 라디안을 도 단위로 바꾸어서 사용하여야 한다.

2. 관성센서를 이용한 로봇 위치 추정

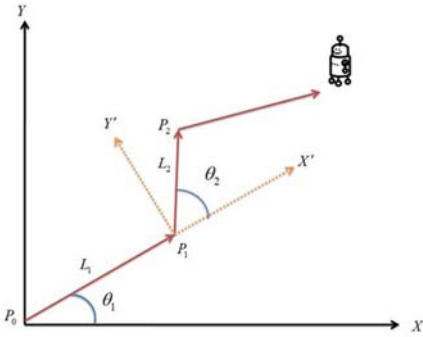


그림 16. 관성센서를 이용한 로봇 위치 추정
Fig. 16. Robot position estimation using inertia sensors

그림 16은 관성센서인 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 로봇의 위치를 추정 하는 모습이다. 자이로 센서로 로봇의 각속도를 측정하고 그 데이터 값을 계속 누적하면 로봇의 회전 각도를 알 수가 있다. 그리고 가속도 센서 값을 적분하여 속도 값을 구하고 다시 적분하면 이동 거리를 구할 수 있다. 사용된 가속도 센서는 오차가 너무 심해 사용이 힘들며, 자이로 센서를 이용하여 회전각을 검출하였다.

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \quad (3)$$

현재의 각도는 이전의 각도를 적분한 값이며, 이때 자이로 센서의 드리프트 오차 때문에 일정한 시간동안 적분된 값은 많은 오차를 포함하고 있다. 따라서 관성센서는 일정 시간동안의 변화량을 알아내는데 더욱 유용하게 사용될 수 있다.

VII. 지도 작성 프로그램

1. User Interface

지도 작성 프로그램은 C#으로 작성되었으며 시리얼 통신을 이용하여 센서 데이터들을 전송 받는다. 지도의 크기는 측정하고자 하는 지형의 크기에 따라 최소 10m x 7m 공간에서 최대 100m x 70m 까지 선택을 할 수 있다.

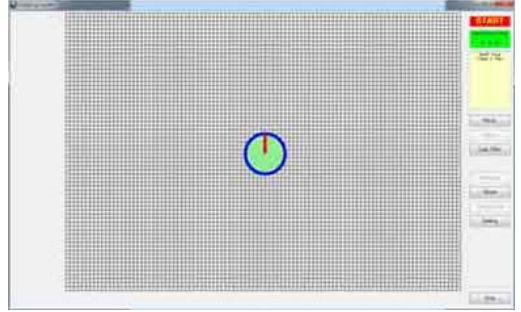


그림 17. 사용자 인터페이스
Fig. 17. User interface

그림 18에서는 실내에서 로봇을 구동시켜 기존의 맵과 매칭을 시켜본 결과를 나타내었다.

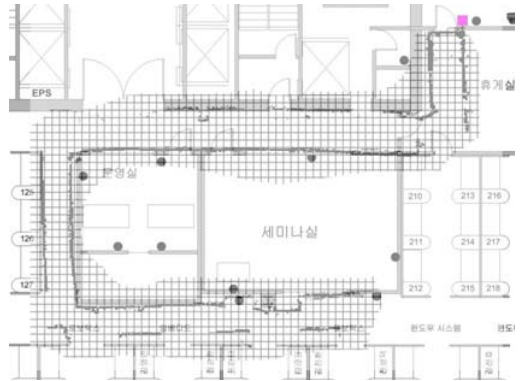


그림 18. 작성된 지도와 실제 지도의 비교
Fig. 18. Compare with real map and measured result

VIII. 결론

본 논문에서는 이동로봇, 그 중에도 Differential wheeled 플랫폼을 제작하는 방법에 대하여 설명하였다. 로봇은 바퀴의 회전을 측정하는 로터리 엔코더 및 관성항법장치, 외부환경을 측정하는 초음파 및 적외선 거리측정 센서를 가지고 있으며 엔코더를 이용하여 이동거리 및 이동방향을 측정할 수 있

다. 이러한 측정은 바퀴의 미끄러짐 등 다양한 원인에 의해 오차가 발생하게 된다. 따라서 관성항법장치를 이용하여 엔코더를 이용한 측정의 한계점을 극복하고자 하였다. 또한 주변 환경을 인식하기 위하여 로봇의 전 방향에 외부센서인 초음파 및 적외선 거리측정센서를 동시에 사용하였다. 이는 각 센서들의 부족한 점을 보완하면서 효과적인 측정을 이루어지게 한다. 하지만 센서들은 오차를 가지고 있게 되고 본 논문에서는 이러한 각 센서들의 오차를 줄이는 방법에 대해서 논하였다.

추후 이러한 기반로봇을 이용하여 위치인식과 동시에 지도 작성을 수행하는 이동로봇 알고리즘인 SLAM을 적용할 때 보다 정밀한 원본 데이터를 사용할 수 있기 때문에 더욱 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 이석규, 도용태, 박창용, 이재원, 로봇 공학의 이해, 사이텍미디어, 2008.
- [2] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop(2007), "Modern control systems"
- [3] Everett, H. R., "Sensors for mobile robots : theory and application." AK Peters, 1995.
- [4] Randall C. Smith, Peter Cheeseman, "On the representation and estimation of spatial uncertainty", The International Journal of Robotics Research, Vol.5, No.4, 1986.
- [5] G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. Durrant-Whyte, and M.Csorba, "A solution to the simultaneous localization and map building", IEEE Trans. on Robotics and Automations, Vol.17, No.3, 2001.
- [6] Texas Instruments Incorporated "TMS320F2808 digital signal processors datamanual", SPRS230L, Datasheet
- [7] Atmel Corporation "8-bit AVR Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash" Datasheet
- [8] Analog Devices, Inc. "±300°/sec Yaw Rate Gyroscope with SPI - ADIS16100" Datasheet
- [9] Dead reckoning - definition and purpose, <http://www.irbs.com/bowditch/pdf/chapt07.pdf>
- [10] G. W. Lucas, "A tutorial and elementary

trajectory model for the differential steering system of robot wheel actuators", <http://rosum.sourceforge.net/papers/DiffSteer/DiffSteer.html/>

- [11] Mobile robots, Software for research, <http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/PioneerSDK.aspx/>

저 자 소 개

김 동 환 (Dong-Hwan Kim)



2004년 : 금오공과대학교
전자공학부 학사.
2009년~현재, 삼성전자SW멤버십.
관심분야 : 디지털 신호처리,
제어공학.

Email : hakdh@naver.com

조 성 현 (Sung-Hyun Jo)



2011년 : 금오공과대학교
전자공학부 학사.
2011년~현재, 삼성전자
IT 개발실.
관심분야 : 로봇틱스, 인공지능,
집적회로설계.

Email : youluv2me@naver.com

양 연 모 (Yeon-Mo Yang)



1990년 : KAIST
전기전자공학과 학사.
1999년 : GIST
메카트로닉스 석사.
2006년 : GIST
메카트로닉스 공학박사.

2006~2008년 : DGIST 선임연구원.
2008년~현재, 금오공과대학교 전자공학부 교수.
관심분야 : UWSN, EPONs, 센서네트워크,
IT/MT 융합 임베디드시스템.
Email : yangym@kumoh.ac.kr