

DSP를 이용한 CAN 기반 이동로봇 제어기 개발

김동헌*†, 유범재†, 황보명†, 임요택*, 오상록†, 김광배*
*고려대학교 전기공학과, † 한국과학기술연구원(KIST) 지능제어연구센터

Development of a CAN-based Controller for Mobile Robots using a DSP TMS320C32

Dong-Hun Kim*†, Bum-Jae You†, Myung Hwang-bo†, Myo-Taeg Lim*
Sang-Rok Oh†, Kwang-Bae Kim†

*Dept. of electrical engineering, Korea Univ.,

† Intelligent System Control Research Center, KIST

Abstract - Mobile robots include control modules for autonomous obstacle avoidance and navigation. They are range modules to detect and avoid obstacles, motor control modules to operate two wheels, and encoder modules for localization. There is needed an appropriate controller for each modules. In this paper, a control system, including 18 channels for Sonar sensors, 4 channels for PWM modules, and 4 channels for encoder modules, is proposed using TMS320C32 DSP adopted with CAN. The board communicates with other modules by CAN, so that mobile robots can perform several tasks in real time. So we can realize on autonomous mobile robot with basic functions such as obstacle avoidance by using the developed controller. Especially, this controller has 100 msec scan time for 16 sonar sensors and can detect closer objects comparing with standard sonar sensors.

1. 서 론

최근 다양한 지능 로봇 시스템들의 소개로 인해 다수의 제어 구조와 알고리즘들이 제안되고 있다. 그러나 아직까지 로봇 제어기들에 따라 일정한 기준 없이 자신들에게 적합한 제어 구조와 알고리즘을 사용하고 있는 추세이다. 이런 측면에서 제어기의 설계는 전체 로봇 시스템의 구성에서 가장 기본적인면서 중요한 요소이다.[1] 그러므로 제어기 구성은 견실한 platform 구성과 효과적인 비용의 로봇 시스템 구성[2]에 중요한 영향을 미친다.

최근에 연구자들은 DSP와 같은 고속의 processor를 이용한 제어기를 개발하고 있다. 이러한 제어기의 등장에는 많은 알고리즘과 전략을 포함하면서 실시간 제어가 필요한 곳에서 좋은 반응을 일으켰다. 또한 로봇의 각 모듈에 대한 개선된 제어 구조를 제안함으로써 보다 더 효과적인 성능의 로봇을 구현할 수 있게 되었고 적은 비용으로 제어기를 설계하는 일도 효과적인 로봇 시스템 구성에 필요한 한 부분으로 간주되었다.[2] 따라서, 로봇의 역할과 수행할 task에 따라서 적합하고 개선된 제어기의 설계와 개발은 시스템 구현에 있어서 반드시 필요한 것이 된다.

본 논문은 최근에 많은 관심을 두고 있는 자율 이동 로봇, 즉 스스로 장애물에 충돌함 없이 이동할 수 있는 로봇에 적합하고 또한 이외에 다른 지능적인 요소들, vision sensor 혹은 gyro sensor 등과의 결합[3]이 용이한 제어기를 소개하고자 한다.

개발한 제어기는 이동로봇의 주행의 기본이 되는 바퀴

의 구동 및 제어, 장애물 회피에 필요한 ultrasonic sensor 인터페이스, Touch sensor를 위한 디지털 입력 출력 인터페이스 등을 총괄하여 고속으로 처리 할 수 있고 또한 CAN(Can Area Network)을 기반으로 다른 센서나 PC기반의 제어기와 통신하여 로봇 제어가 실시간으로 가능하게 하였다. 특히, ultrasonic sensor의 scan time을 기존의 0.5s~1s에서 100ms이하로 단축하여 주변을 고속 scan 할 수 있도록 함으로써 이동로봇의 고속 주행이 가능하고, 장애물 회피가 가능한 이동로봇의 제어기를 10만원 이하의 저렴한 비용으로 구현이 가능하다.

2. 본 론

2.1 시스템 개요

이동 로봇은 전체적으로 바퀴 구동을 위해 2개의 모터와 이를 구동하기 위한 각각의 PWM 증폭기 그리고 각 부위에 전력을 공급하는 배터리로 이루어져 있다. 상부에는 로봇에 다가오는 물체 또는 정지해 있는 물체들을 감지하여 그 거리 정보를 알 수 있는 16개의 Ultrasonic sensor가 장착되어 있다. 이로써 (그림 1)에서 보는 바와 같이 개발한 하나의 DSP 보드만으로 기본적인 주행 기능을 갖는 이동 로봇을 만들 수 있다. Ultrasonic sensor 인터페이스는 총 18개의 채널을 포함하고 있는데 아래의 시스템에서는 각각 22.6도의 범위로 16개의 sonars를 원형으로 배치하여 물체의 유무를 살피도록 하였다. 개발한 제어기의 작동 유무는 (그림 1)의 시스템을 통하여 간단한 주행을 수행하도록 함으로써 확인하였다.

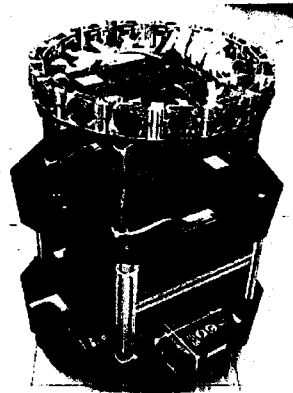


그림 1. 기본 시스템

2.2 제어기의 구조

이동 로봇 제어기의 제어 시스템 구조는 (그림 2)와 같다. 시스템 제어 보드(DSP 보드)는 크게 프로그램 처리와 계산 등을 담당하는 DSP 부분과 2개의 FPGA를 통해 다른 모듈들과 인터페이스 하는 로직으로 구성되어 있다.

DSP에는 다른 모듈과의 데이터 통신을 위한 CAN 인터페이스가 마운트되어 있고 FPGA에는 18 채널 Ultrasonic sensors, 속도 제어와 localization에 사용되는 4 채널 encoders(3)와 2 채널 absolute encoder, 모터제어를 위한 4개의 pwm 채널들 그리고 외부와의 인터페이스를 위한 디지털 입/출력들이 포함되어 있다.

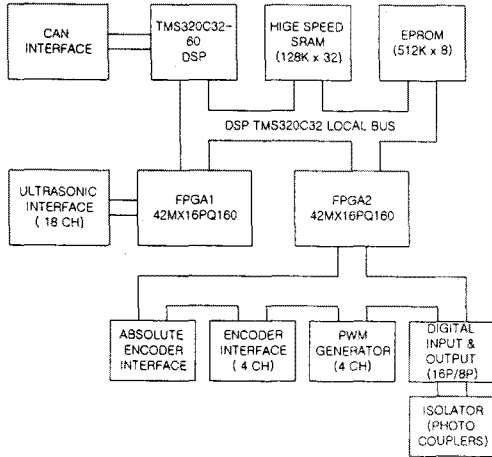


그림 2. DSP를 이용한 제어 시스템 구조

2.2.1 TMS320C32 DSP

DSP는 실시간의 고속 디지털 신호처리를 가능하게 하여 디지털 제어를 아날로그 제어 수준으로 접근시킴으로써 디지털 제어의 장점과 아날로그 제어가 갖는 장점을 모두 가지는 목표로 개발된 마이크로프로세서이다.

DSP는 모든 연산을 하드웨어적으로 처리하여 명령을 고속으로 처리할 수 있고 레지스터 중심 구조로 명령처리 효율을 높였다.[5]

TMS320C32는 최근의 DSP 응용 시스템에서 대용량의 프로그램 및 데이터 메모리를 필요로 하는 추세에 따라 내부 RAM 용량은 줄여 소자의 가격을 낮추고 외부 RAM과의 접속은 용이하도록 만들어진 초저가형의 DSP이다.

본 논문의 제어기에서 사용한 TMS320C32-60은 32bit 부동소수점 연산이 가능한 초저가 프로세서이고 33ns의 빠른 명령 수행 사이클을 가진다. 또한 향상된 메모리 인터페이스와 2 DMA, 그리고 인터럽트 벡터 테이블의 재배치 등 유용한 기능들을 가지고 있다.

한편 외부에 ROM이 연결되어서 navigation과 기본적인 알고리즘을 ROM에 프로그램 하여 이동로봇이 자율적으로 task를 수행할 수 있도록 하였다.

2.2.2 CAN 기반 구조

CAN(Controller Area Network)은 여러 제어기들을 상호 연결하여 실시간 제어가 가능토록 개발된 통신망이다. 시스템이 점차 물리적으로 복잡해지면서 상호 연계를 위해 Multi-Drop 방식으로 각 구성요소들을 연결한다. 따라서 CAN은 통신망 구축 시의 여러 개체들을 하나의 통신망에 연결하여 복잡성을 크게 감소시킬

뿐만 아니라 실시간 제어 시스템에 유용하다.

CAN의 기본적인 특징은 다음과 같다.

1Mbit/s까지의 전송율을 가지는 고속 시리얼 통신과 저가의 비용으로 구현이 가능하고, 짧은 데이터 길이 때문에 다른 시스템에 비해서 매우 짧은 대기 시간을 가진다. 또한 빠른 반응 시간을 가지며 하드웨어적으로 에러 검출과 수정을 통해 신뢰할 만 하다. (그림 3)은 CAN hardware 구조를 나타내는 것이고 이를 통해 앞으로 vision sensor나 다른 제어기를 부착한 PC와 서로 연결할 것이다. 여기서 standalone CAN controller는 다른 microcontroller와 결합한 보드일 수도 있고 PC 자체가 될 수도 있다.[6]

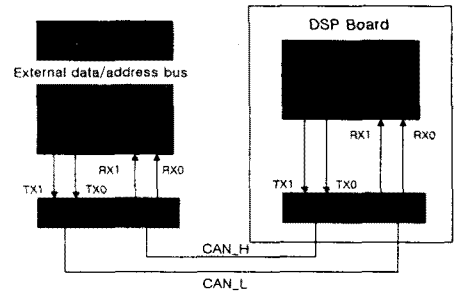


그림 3 CAN hardware 구조

2.2.3 개선된 성능의 Sonar 구조 및 실험

Ultrasonic sensor interface는 크게 Sonar modules과 Control interface logic module로 구성되어 있다. Sonar modules은 Transducer와 sonar ranging module로 이루어져 있고, Control Logic module은 크게 두 개의 제어 logic으로 구성되어 있다. 첫째는 40cm이하의 물체를 감지하기 위한 제어 logic이고, 둘째는 sonar의 입력 신호인 INIT과 출력 신호인 ECHO 사이의 시간차를 거리로 변환하여 장애물과 로봇 사이의 거리를 binary 값으로 나타내는 logic이다. 두 Control Logic은 FPGA를 통해 소형화, 고속화, 비용감소를 실현하였다.

구입된 sonar module은 최소 측정 가능 거리가 40cm인데 이보다 더 가까운 물체를 검출하기 위해서는 control logic의 구성이 따로 필요하다. 그래서 구성된 제어 logic을 통해 Sonar는 정확하게 15.24cm에서 10.668m 까지 측정 가능하게 되었다.

다음으로 최대 측정 거리를 10m 범위 내에서 조정하고 물체와의 거리를 이진 값으로 표현하는 logic에 대해 살펴보겠다.

sonar는 초음파를 발신하여 장애물에 반사된 신호를 수신함으로써 장애물과의 거리를 알 수 있는 sensor이다. 여기서 입력신호 INIT와 출력신호 ECHO 사이의 시간차를 통해 거리정보를 얻을 수 있다. 본 제어기에서 FPGA에 있는 Control logic을 통해 거리정보를 해석하여 처리하기 쉽도록 binary 값으로 표현하도록 했다. 이때 sonar의 입출력 신호 사이의 거리 측정에 기준이 되는 reference counter clock과 표현할 bits 수는 sonar의 성능과 사양을 결정하는 주요한 요소가 된다.

bits freq.	10 bits (1024)	11bits (2048)	12 bits (4096)
117.1825k	8.738ms	17.477ms	
234.375k	4.368ms	8.738ms	17.477ms
468.75k	2.184ms		8.738ms

표 1. reference counter clock 설정치

(표 1)은 counter의 reference clock을 설정하기 위하여 얻어진 값들이다. 또한 다음의 식들은 위에서 결정된 clock과 표현할 bits, 그리고 그에 따른 거리 계산에 필요한 것들이다.

$$f = \frac{1}{\Delta T} \quad (1)$$

여기서 f는 counter clock, ΔT 는 INIT와 ECHO 사이의 시간 구간이다. 또한,

$$\frac{T}{\Delta T} = 2^{bits} \quad (2)$$

T는 INIT 전체 시간 구간, 즉 INIT의 발생 주기가 다. 이에 따라 거리는

$$S = \frac{\text{감지가 가능한 maximum 거리}}{2^{bits}} \quad (3)$$

로 표현된다. 이 때, S는 10진수로 counter의 1b 값에 대해 표현된 거리를 나타낸다.

위의 표와 (1), (2)의 식들을 고려하여 117 kHz일 때 11 bits로 표현하여 298cm 까지 물체를 감지할 수 있도록 하였다. 이 때 너무 멀리까지의 물체를 감지하는 것은 큰 의미를 가지지 않기 때문에 약 3m 정도로 제한을 두었다. 이에 따라 식 (3)에 따라 구한 resolution은 1.46mm/bit로서 매우 정밀한 측정이 가능하게 되었다.

위와 같이 reference counter clock과 bits만 하드웨어적으로 설정하고 Sonar의 입력 INIT의 주기는 프로그램이 가능한 입력으로서 조정하여 소프트웨어적으로 필요한 작업이나 환경에 따라 (2)의 T를 결정할 수 있도록 설계하였다. 즉, 최소 15.24cm에서 3m 안의 원하는 거리까지의 물체에 대해 resolution을 유연하게 조정하도록 한 것이다. 이와 더불어 sonar의 성능 개선을 위해 한번에 4개의 sonar를 동시에 작동시킴으로서 약 20ms안에 4방향의 물체를 감지하게 하였고, 서로 대칭 방향에 있는 2개의 sonar는 같은 명령을 받아 수행하도록 설계하여 효율성을 보다 더 향상시켰다. 그러므로 16개의 sonar에 대해서는 안정성을 고려하여 100ms안에 360도 전 구간을 scan 할 수 있게 되었다. 이것은 기존에 보급된 1개의 sonar가 안정되게 작동하기 위한 최소 요구 시간인 100ms과 같은 시간이다.

이처럼 16개의 sonar가 한번 scan하는 데에 100ms 정도의 시간만 요구됨으로써 빠른 주기로 물체를 계속 감지할 수 있게 되어 이동로봇이 1m/sec의 속도로 움직이면서 장애물을 회피하여 안정하게 주행할 수 있었다.

2.3 전체 제어기 실험 및 확인

개발된 DSP board가 실제로 이동 로봇을 안정하게 제어할 수 있는가를 (그림 1)의 로봇 시스템을 통해 실험해 보았다.

첫째로 sonar를 사용하여 개선된 고속 장애물 검출과 정확한 거리값 획득이 가능한 지 확인하였다. 둘째로, 정해진 목표 없이 random하게 장애물을 회피하면서 움직이도록 하였다.

실험 결과 미리 정해놓은 거리 안에 장애물이 접근하면 로봇은 안정하게 피하는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 100ms의 Scan Time을 갖는 개선된 Ultrasonic Sensor 인터페이스가 가능하고 효과적인 비용으로 이동로봇을 제어할 수 있는 제어기를 개발하였다. 앞으로, 로봇의 상부에 2축의 stereo head-eye system을 부착하여 영상 기반 제어[7]를 통해 물체를 인식하여 추적하는 다양한 시각 기반 task들을 시도하

려고 한다.

(참고 문헌)

- [1] D.M.Miljanovic and E.A.Croft, "A Taxonomy For Robot Control", Proceedings of IEEE International Conf. on Robotics & Automation, May 1999
- [2] Gerhard Schreck and Cornelius Willnow, "Toward a Cost Effective Robot Control System", Proceedings of 5th International Workshop on Robotics, RAAD'96
- [3] Terence Chek Hion HENG, Yoshinori KUNO and Yoshiaki SHIRAI, "Active Sensor Fusion for Collision Avoidance in Behavior-based Mobile Robots", IEICE Trans. Inf. & Sys., Vol E81-D, No.5, May 1998
- [4] H.R. Everett, "Sensors For Mobile Robots Theory and Applications", A K Peters, Ltd, p35-68, 1995
- [5] "TMS320C3x User's Guide", Texas Instruments, July 1997
- [6] M.Farsi, K.Ratcliff, and Manuel Barbosa, "An overview of Controller Area Network", Computing & Control Engineering Journal, June 1999
- [7] Seth Hutchinson, "A Tutorial on Visual Servo Control", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.12, No.5, October 1996