

# 로봇 축구 시스템의 개발(MIRAGE I) I

한국현, 최정미, 최필순, 이세중 | KAIST 전기 및 전자공학과 동아리 '미라지'

지능적이고 안전하며 튼튼한 로봇을 만들겠다는 일념으로 밤낮없이 매진한 결과 공식적인 대회에서의 수상을 통해 그 우수성을 검증 받은 축구로봇을 중심으로 하여 본 팀이 구현했던 로봇과 비전 시스템, 그리고 전략 알고리즘 등에 대해 정리를 해 보고자 하며, 이 글이 로봇을 연구하고 시스템 설계를 공부하는 전자 관련 학과 학생들에게 많은 도움이 되길 바란다.

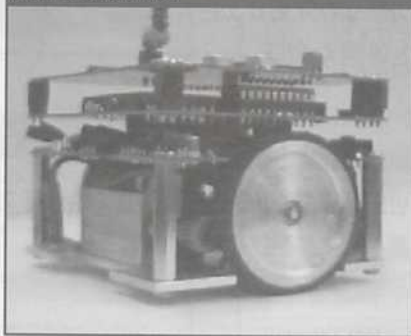
## 서론

**본** MIRAGE 팀은 MIROSOT-'96에 참가하여 공로상을 수상했고 1997년 6월 5일에 KAIST에서 열린 MIROSOT'97에 출전하여 로봇 1대1 축구 경기인 S-MIROSOT 부문에서 미국의 뉴튼팀을 준결승에서 이기고 준우승을 차지하는 등 로봇 제작과 관련하여 그 동안 우수한 성과와 기술적 발전을 이룩했다. 지능적이고 안전하며 튼튼한 로봇을 만들겠다는 일념으로 밤낮없이 매진한 결과라고 할 수 있겠다. 공식적인 대회에서의 수상을 통해 그 우수성을 검증 받은 축구로봇을 중심으로 하여 본 팀이 구현했던 로봇과 비전 시스템, 그리고 전략 알고리즘 등에 대해 정리를 해 보고자 하며, 이 글이 로봇을 연구하고 시스템 설계를 공부하는 전자 관련 학과 학생들에게 많은 도움이 되길 바란다.

## MIRAGE 로봇의 개요

MIRAGE I 로봇은 '가능한 한 안정하게, 가능한 한 튼튼하게, 가능한 한 똑똑하게'라는 구호를 내걸고 개발을 시작하였다. 본 팀은 96년 5월에 열린 국내 마이크로 로봇 축구대회에 [fəziks]라는 이름으로 출전을 준비

(그림 1) 로봇의 외형



했었다. 하지만 끝내 실패로 끝나고 말았다. 물론 경험부족이 원인이었지만 실패로부터 얻어낸 것이 바로 위의 구호이다. '가능한 한 안정하게'라는 뜻은 항상 원하는 동작을 하도록 해야 한다는 뜻으로 가장 중요한 사항이다. 그 결과 MIROSOT'96에서는 공로상을 수상할 수 있게 되었다. 국내대회용으로 만든 로봇을 예로 들면, 마이크로컨트롤러 보드가 동작을 하다가 어느 순간 동작이 멈추는 경우가 종종 발생하였고 통신도 적외선 통신을 하였는데 외부 조명을 고려하지 않아 그 영향을 많이 받았다. 또한 모터는 기어가 달린 값싸고 허름한 DC모터를 구입하여 사용하였는데 달리는 도중에 기어가 빠지는 등 로봇의 상태가 심각할 정도였다.

두 번째 구호인 '가능한 한 튼튼하게'는 말 그대로 로봇을 튼튼하게 만들어야 한다는

뜻으로, 축구경기의 경우 다른 로봇들과 충돌이 상당히 많이 발생하기 때문에 이때에도 로봇은 손상을 입지 않아야 한다. 세 번째 구호는 설명을 하지 않아도 쉽게 이해가 갈 것이다. 멍청한 로봇은 평생 고생한다....

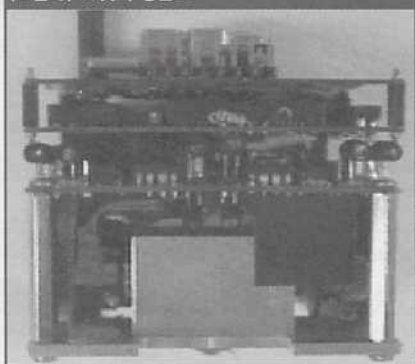
처음의 계획대로 MIRAGE 로봇은 위의 구호에 맞게 설계하였다. 로봇은 모든 회로를 PCB로 제작하고 전원에도 신경을 써서 전체적인 회로 동작이 안정되고 비싸긴 하지만 기어가 달린 정교한 모터를 사용하여 기어가 빠질 염려는 없다. 로봇의 몸체는 알루미늄으로 깎아 만들어 상당히 튼튼하다. 또한 센서, 인코더, 통신회로들과 마이크로컨트롤러 보드 사이의 인터페이스를 적절히 하고 이에 적합한 알고리즘 개발에 시간 투자를 많이 하여 상당히 똑똑(?)하다.(여기서 PCB, 인코더 등의 뜻을 잘 모르는 사람이 있다면 뒤에서 자세한 설명이 있을 것이니 걱정하지 않아도 된다.)

마이크로 로봇 축구대회를 준비하기 위해서는 로봇의 제작도 중요하지만 또 한 가지 중요 사항이 있다. 그것은 바로 비전 시스템인데, 우리 팀에서도 이 비전 시스템에 너무 신경을 쓰지 않았던 것이 나중에 가장 큰 문제가 되었다. 마이크로 로봇 축구대회는 로봇만이 아니고 전체적인 시스템, 즉 여러 대의 로봇과 비전 시스템, 호스트 컴퓨터와 감

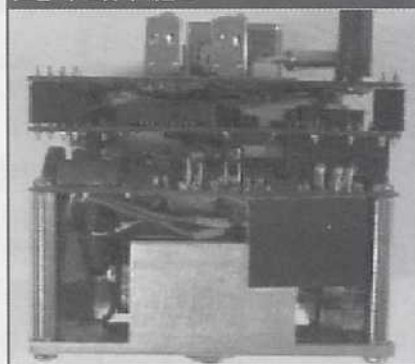
<그림 2> 로봇의 측면도



<그림 3> 로봇의 정면도



<그림 4> 로봇의 배면도



독이 모두 어우러져야만 가능하다는 것을 인지하면서 좀 더 자세히 시스템을 분석해 보기로 하자.

### 전체적인 시스템

축구 로봇을 준비하려 한다면 가장 먼저 결정해야 할 사항 중에 한 가지가 바로 로봇 중심 시스템을 구축할 것인지, 아니면 호스트 중심 시스템을 구축할 것인지를 결정해야 한다는 것이다.

여기서 로봇 중심 시스템이란 로봇들이 알아서 상황 등을 판단하고 자신의 움직임을 스스로 제어하여 움직이고 호스트 컴퓨터는 단지 비전 시스템을 이용하여 공의 좌표와 로봇들의 좌표만을 로봇들에게 보내주는 역할을 하는 시스템을 말한다.

반면에 호스트 중심 시스템이란 비전 시스템을 통하여 호스트 컴퓨터에서 좌표 등을 모두 파악하고 상황을 판단하여 로봇들의 움직임을 호스트가 결정하고 로봇들에게는 단지 움직임 명령만을 보내주는 시스템을 말한다.

로봇 중심 시스템과 호스트 중심 시스템의 차이점을 이해하지 못하는 사람들을 위해 간단히 말하자면, 로봇 중심 시스템은 영리한 로봇들과 멍청한 호스트로 이루어진다고 볼 수 있고, 호스트 중심 시스템은 멍청한 로봇들과 영리한 호스트로 구성된다고 말할 수 있을 것이다. 두 가지의 시스템을 강조하는 이유는 어느 시스템을 선택하느냐

에 따라 로봇의 하드웨어 사양이 변할 수 있기 때문이다. 만약 호스트 중심 시스템을 선택한다면 로봇에 많은 기능을 부여할 필요가 없게 된다. 빠른 비전 시스템을 이용하여 로봇을 제어한다면 로봇은 통신으로 받은 명령만을 수행할 수 있는 기능만 가지고 있으면 된다.

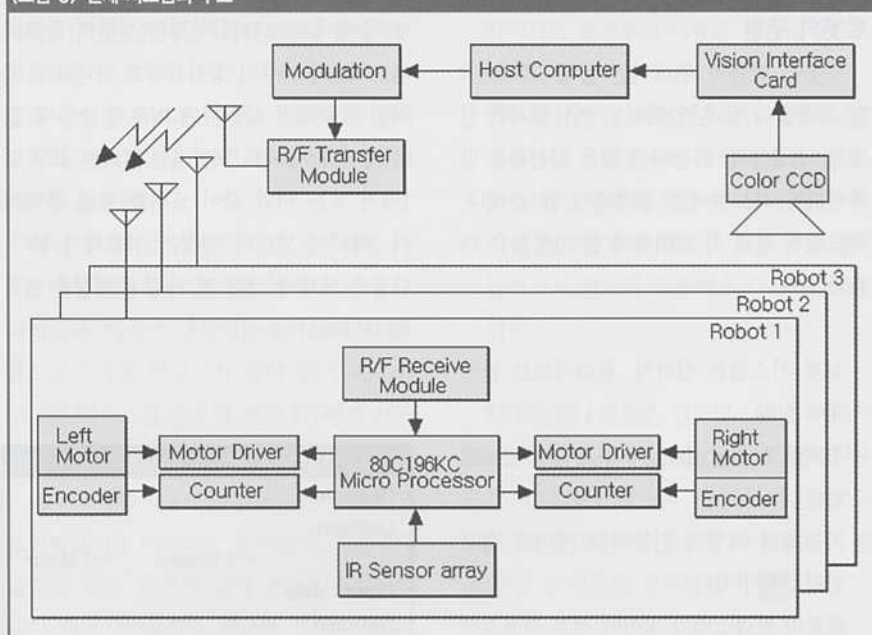
MIROSOT'97에서 1등을 한 미국의 뉴튼 팀에서 구현한 시스템도 호스트 중심 시스템이었다. 그리고 대회에 참가했던 대다수의 팀들이 호스트 중심 시스템을 구현했었다고 말할 수 있을 것이다.

본 MIRAGE 팀은 로봇 중심 시스템을 구축한 유일한 몇 개의 팀 중에 하나이다. 우

리 팀에서는 호스트는 단지 공의 현재 좌표와 로봇들의 현재 좌표만을 로봇들에게 전송해 주는 일을 하고 나머지는 모두 로봇들이 알아서 판단하고 처리한다. 따라서 앞으로 설명하는 시스템은 필자의 팀이 구축했던 로봇 중심 시스템이라고 생각하면 문제가 없을 것이다.

그림 5는 3대의 로봇과 호스트 컴퓨터 그리고 비전 시스템 간의 구조를 나타내는 그림이다. 이 그림을 잘 이해한다면 전체적인 시스템의 개념은 완전히 이해한 것이라고 해도 될 것이다. 위의 그림은 우리가 구현한 전체 시스템을 설명한 것이다. Color CCD를 통해서 경기장의 화상을 비전 인터페이

<그림 5> 전체 시스템의 구조



스 카드를 거쳐 호스트 컴퓨터로 받아들인다. 호스트 컴퓨터에서는 화상의 정보를 받아들여 화상의 색깔을 분석하고 공의 위치, 로봇들의 위치, 로봇의 방향 등을 알아낸다.

찾아낸 데이터는 시리얼 케이블과 연결되어 있는 송신 모듈로 전송이 되고 다시 송신 모듈에서 변조를 거쳐 로봇들에게 뿌려진다. 로봇들은 이 데이터를 자신의 수신 모듈을 통해 받아들이고, 수신 모듈에서 복조를 거쳐 80C196KC의 시리얼 포트의 RxD 핀으로 입력이 된다.

로봇은 통신으로 전송 받은 데이터와 여러 개의 적외선 센서들로부터 읽어들이는 데이터 그리고 모터의 인코더용 카운터로부터 읽어들이는 데이터들을 가지고 자신의 다음 동작을 결정하게 된다. 자신의 동작이 결정되면 그것에 해당하는 PWM 신호를 모터 드라이버로 보내게 되고 모터 드라이버가 두 개의 DC 모터를 구동하게 되는 것이다. 여기서 vision의 화상을 분석하여 로봇의 위치와 방향 등을 알아내는 방법, 송수신 방법, 마이크로컨트롤러와 센서, 모터, 통신 사이의 인터페이싱 방법 등은 후에 다시 언급하기로 하겠다.

## 하드웨어

### 로봇의 구현

로봇을 만들기 위해서는 항상 고려해야 할 사항들이 있다. 앞에서 언급했지만 안정성, 견고성 등 가능하면 많은 장점들을 만족하도록 하드웨어를 설계해야 할 것이다. 하드웨어 설계 시 고려해야 할 사항들은 다음과 같다.

- 로봇 시스템은 전기적, 물리적으로 안정되어야 한다.
- 충격에도 견딜 수 있는 견고함이 있어야 한다.
- 가능하면 가볍게 만들어야 제어가 쉽고 전력소비가 적다.
- 회로의 전력소비가 적어야 적은 건전지로

오래 사용할 수 있다.

- 회로의 전원은 항상 정전압을 유지할 수 있어야 회로의 안정성이 보장된다.
- 7.5cm \* 7.5cm \* 7.5cm의 크기 제한이 있으므로 각 부분의 배치도 신중히 고려해야 한다.
- 여러 대의 로봇을 제작해야 하므로 일단 한 대의 로봇이 완성되면 쉽게 여러 대의 로봇을 만들 수 있도록 고려해야 한다.
- 로봇 설계 시 구하기 쉬운 부품을 사용해야 한다. 두 대를 만들고 나서 더 이상 부품을 구하지 못하게 되는 경우가 생기게 된다.
- VCC와 GND는 쇼트가 나지 않도록 항상 주의해야 한다.
- 디지털 회로와 아날로그 회로 사이의 인터페이싱을 할 경우 전류의 관계를 항상 고려해야 한다.

위의 사항들은 필자가 로봇을 제작하는 과정에서 뼈저리게 느낀 내용들이다. 처음부터 고려를 하고 주의한다면 많은 도움이 되리라 생각한다.

### • 모터와 모터 드라이버

로봇을 만드는데 있어서 가장 먼저 결정해야 할 사항은 바로 구동부일 것이다. 구동부 중에서도 모터의 선정은 상당히 중요하다. 로봇이 아무리 영리하다고 하더라도 움직임에 문제가 생긴다면 아무런 소용이 없을 것이다. 실제로 보여지는 결과는 모두 표 1에서 보는 바와 같이 모터를 통한 출력이다. 따라서 모터의 선정은 신중해야 한다. 다음은 모터에 관해 몇 가지 주의점을 열거해 보았다.

〈표 1〉 I/O structure

Obstacle			
Collision			
...	→ System	→ Motor	
Comm. data			
Ball data			

- 모터 선정 시 전압과 전류, 토크 등을 고려해야 한다.
- 로봇의 무게를 고려하여 모터의 기어비와 바퀴의 크기 등을 잘 선정해야 한다.
- 로봇의 최대 속도도 상당히 중요하다.
- 모터 드라이버는 모터로 전류 공급을 충분히 할 수 있는 것이어야 한다.

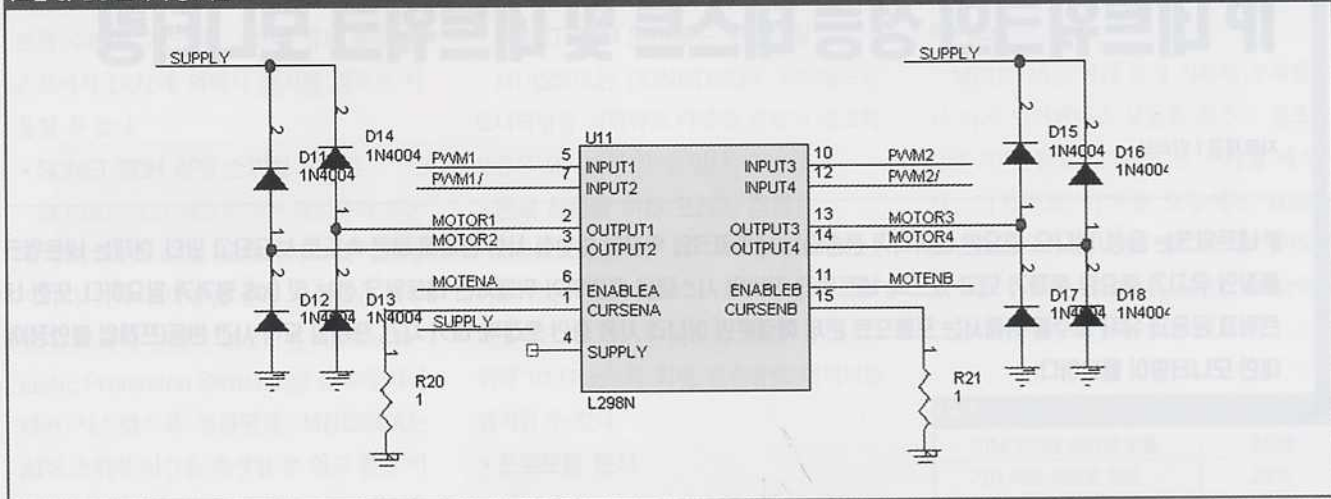
먼저 모터의 선정에 있어서 DC 모터와 스텝모터를 두고 고민을 하게 될 것이다. DC 모터는 작고 가볍고 전력소모가 적으며, 제어회로가 간단하다는 장점을 갖는 반면 감속 기어와 인코더가 필요하고 주행 시 많은 연산이 요구된다는 단점을 갖는다. 스텝모터는 인코더 없이 오차가 적은 제어가 가능하고 기어가 필요 없다는 장점이 있으나 반면 크고 무거우며, 높은 전압이 요구되고 전력소모가 크다는 단점이 있다.

필자는 당연히 DC 모터를 사용해야 한다고 생각한다. 먼저 7.5\*7.5\*7.5의 규격에 맞도록 설계하기 위해서는 가능한 한 크기가 작은 모터를 사용해야 하는데 아주 작은 스텝모터는 구하기가 상당히 어렵다. 또한 스텝모터는 대부분 높은 전압이 필요하고 많은 전력소모를 하기 때문에 용량이 큰 높은 전압의 전지를 부착하여야 한다. 그렇게 되면 규격에 맞는 로봇의 설계도 어려워질 뿐더러 로봇의 무게도 무거워져 제어가 어렵게 된다.

물론 소형 DC 모터도 쉽게 구할 수 있는 것은 아니다. 우리 나라에서는 거의 구하기가 힘들고 외국으로 알아보아야 할 것이다. 그리고 값이 비싼 것이 문제이다. 참고로 우리 팀은 스위스의 미니모터라는 회사의 DC 모터를 구입했는데, 기어박스까지 붙여서 값이 상당히 비쌌다. 또한 주문하면 빨라야 한 달이고 보통 6~8주 정도 후에야 받을 수 있을 것이다. 참고로 우리 팀이 사용한 모터의 사양은 다음과 같다.

- Nominal Voltage : 6 V
- Output Power : 1.5 W

(그림 6) DC 모터 구동 회로



- No-Load Speed : 16300 rpm
- No-Load Current : 0.03 A
- Stall torque : 3.31 mNm
- Gear : 14:1

MIRAGE I 로봇의 최대 속도는 약 1.2m/sec 정도이다.

모터 드라이버로는 SGS Thomson사의 L6201~6203, L298, 그리고 Telcom사의 TC1428 등이 있다. 각 드라이버마다 장단점이 있지만 L298을 권하고 싶다. L298은 하나로 두 개의 DC 모터를 제어할 수 있기 때문이다. TC1428은 enable이 없어서 모터를 On/Off 할 수가 없어 비효율적이다. L6203은 4A까지 전류공급이 가능하고 특성도 상당히 좋지만 모터 2개를 구동하려면 2개가 있어야 하므로 부피가 커진다.

MIRAGE I 로봇은 그림 6에서 보듯이 L298을 사용하였고 enable 신호는 마이크로컨트롤러 보드의 8255와 연결시켜 소프트웨어적으로 On/Off가 가능하도록 만들었다. 물론 모터 제어는 PWM신호를 사용하였다. PWM은 Pulse Width Modulation의 약자로 펄스폭을 바꾸어 만드는 것이다. PWM 신호는 우리가 사용한 80C196KC에서 직접 출력이 가능하다. 최대 3개의 PWM 신호를 출력할 수 있다. 자세한 것은 마이크

로컨트롤러 보드 부분에서 설명하겠다.

• 인코더

스텝모터를 사용할 경우에는 인코더가 필요하지 않을 것이다. 하지만 DC모터를 사용한다면 모터를 제어하기 위해서 인코더는 필수적이다. 인코더는 모터가 얼마나 회전했는지를 카운트하기 위해서 사용하는 것으로 로봇의 위치, 로봇의 회전각, 속도 등을 계산하기 위해서는 필수적인 것이다.

인코더는 모터를 구입할 때 함께 옵션으로 구입을 할 수 있다. 하지만 모터를 만드는 회사에서 판매하는 인코더는 특성은 좋지만 가격이 상당히 비싸다. 우리 팀에서도 처음에는 인코더와 모터, 기어박스를 모두 함께 구입을 하려고 했으나 인코더의 값이 모터와 기어박스를 합한 가격보다 비쌌기 때문에 포기했다.

대신 인코더로 사용한 것은 컴퓨터용 마우스에서 사용한 인코더를 뜯어 모터에 부착하였다. 마우스 내부에는 X좌표와 Y좌표용으로 2개의 인코더가 들어 있기 때문에 하나의 마우스를 뜯으면 로봇 1대에서 사용할 수 있는 인코더를 마련할 수 있다.

마우스에서 사용하는 인코더는 투과형 포토인터럽터를 이용하는 방식이다. 회전축에 슬릿을 달고 슬릿의 끝에 포토인터럽터를 달아 회전 시 슬릿의 갯수를 셀 수 있도록

하는 것이다. 인코더로부터는 두 개의 sine 파 신호가 출력된다. 그 두 개의 신호는 항상 90도의 위상차를 가지고 나오는데, 두 신호의 위상차가 +90도인지, -90도인지에 따라 모터가 현재 회전 방향으로 회전하고 있는지, 후진방향으로 회전하고 있는지를 알아낼 수 있다. 또한 한 주기의 펄스가 인코더 슬릿 하나를 나타내므로 펄스의 개수를 세면 모터가 얼마나 회전하였는지를 알 수 있게 되는 것이다. 이러한 인코더를 사용할 경우에는 주의할 점이 몇 가지 있다.

- 과전류가 흐르면 쉽게 발광부 LED가 망가지므로 발광부의 저항을 적절한 값으로 선택해야 한다.
- 외부의 조명이 밝을 경우에는 과형에 DC 성분이나 노이즈 등이 포함되어 출력되므로 원하는 결과를 얻을 수 없게 된다. 따라서 인코더의 수광부에 외부의 조명이 들어가지 않도록 검은색으로 감싸주어야 한다.

MIRAGE I 로봇은 인코더 신호가 마이크로컨트롤러 보드의 16bits UP/DOWN 카운터로 입력되어 펄스의 개수가 카운트되고 마이크로컨트롤러가 필요할 때 카운터의 값을 읽을 수 있도록 설계되었다. sn