특집

로봇 축구 제어 기술

김종환, 이강희, 이윤기, 구미회, 김태훈, 이재경 (KAIST 전자전산학과)

본 논문은 로봇 축구 시스템의 구성과 관련 제어 기술에 관해 소개한다. 로봇 축구란 사람이 아닌 로봇이 미리 정해진 경기 규칙에 따라 축구를 하는 것이다. 사람처럼 로봇이 스스로 경기장을 누비며, 공을 찾고 상대방을 피하여 드리블과 패스를 하며, 상대편의 골대에 슛을 넣을 수 있도록 하는 것이 궁극적인 목표이다. 이와 같은 로봇들을 이용하여 축구를 하는 로봇 축구 시스템은 크게 소프트웨어 시스템인 영상처리 시스템과 전략 및 제어 시스템, 그리고 하드웨어 시스템인 통신 시스템과 다수의 로봇들로 구성된다. 본 논문은 호스트 컴퓨터에서 동작하며 로봇의 위치 정보를 추출하는 영상처리 시스템과, 이 영상처리 시스템으로 받은 로봇의 위치 정보를 이용하여 협동 작업을 할 수 있도록 로봇을 제어하는 전략 및 제어 시스템, 이 전략 및 제어 시스템에서 외부적으로 축구 로봇에게 명령 신호를 보내기 위한 통신 시스템, 그리고 실제 로봇 축구 경기를 하는 로봇에 관한 관련 기술들을 기술한다.

I. Introduction

로봇 축구는 1995년 KAIST에서 시작되어 체계적인 경기 규칙 제정과 함께, 기존의 산업용 로봇이나 서비스 로봇 등에 준하는 엔터테인먼트 로보틱스라는 새로운 장을 열었다. 초기 한 팀이 3대의 로봇으로 구성된 MiroSot을 시작으로, 매년 지속적으로 매년 로봇축구 기술의 발전과 함께 그 규모와 박진감은 배가되었으며, 그 결과 금년 10월 부산에서 열리는 제 9회 FIRA Cup에서는 MiroSot 11:11대회가 열린다. 로봇 축구의 종목으로는 로봇의 종류와 크기에 따라 KheperaSot, MiroSot, NaroSot, RoboSot, SimuroSot, HuroSot이 있다. 이들에 관한 자세한 소개는 http://www.fira.net에 나와 있다.

로봇 축구란 사람이 아닌 로봇이 미리 정해진 경기 규칙에 따라 축구를 하는 것이다. 사람처럼 로봇이 스스로 경기장을 누비며, 공을 찾고 상대방을 피하여 드리블과 패스를 하며, 상대편의 골대에 슛을 넣을 수 있도록 하는 것이 궁극적인 목표이다. 로봇 축구도 여러 대의 로봇이 서로 협동을 하면서 경기를 하는 것이기에 로봇 개체들 간의 행동이론을 다루는 다개체 시스템에 대한 연구가 필요하다. 다개체 시스템에서의 개체란 일반적으로 목적과 행동 능력, 그리고 자기가 속한 환경에 대한 정보를 소유하고 있는 한 개체

를 의미하며, 여기서 '행동'이란 개체의 활동 방식을 의미한다. 다개체 시스템을 구현하기 위해서는 다수의 개체들로 이루어지는 시스템의 구현원리를 정하고, 시스템 내에서 개체들이 독자적인 행동을 하면서 동시에 서로 협력할 수 있도록 하는 동작 메커니즘을 마련해주어야 한다. 다개체 시스템의 대표적인 예들 중 하나가 바로 로봇 축구 시스템이다. 로봇이 축구를 하기 위해서는 복합적인 기술이 요구된다. 로봇 축구 시스템은 일반적으로 주 컴퓨터에서 내부적으로 동작하는 영상처리 시스템과 로봇의 전략 및 제어 시스템, 통신 시스템, 그리고 다수의 로봇으로 구성된다. 본 논문에서는 초기 로봇 축구가 3 대의 로봇으로 시작된 이래로 이들 관련 기술과 금년도 대회에서부터 시작될 MiroSot 11:11 을 위주로 설명한다.

경기장에 위치한 다수의 로봇들은 경기장 위에 위치한 카메라와 연결된 주 컴퓨터 내의 비젼 프로그램에 의해 위치정보가 파악되고, 이 정보를 받은 주 컴퓨터의 전략 및 로봇 제어 프로그램은 각 로봇의 역할이나 로봇이 움직여 가야할 곳과 방향 등을 계산하여 그 결과를 무선 송신기를 통해 로봇들에 전달하여 로봇들을 제어하게 된다.(그림 2.9 참조) 즉, 주 컴퓨터에서 계산된 로봇들의 왼쪽과 오른쪽 바퀴 속도 정보를 연속적으로 로봇에 보내어 로봇을 제어하게 된다. 이와 같은 시스템의 경우 로봇의 구조는 간단하지만 로봇 자체에는 센서 등이 포함되지 않아 정확한 제어를 위해 고속 영상처리 시스템 및 주 컴퓨터의 뛰어난 계산 능력, 고속 통신 등이 요구된다.

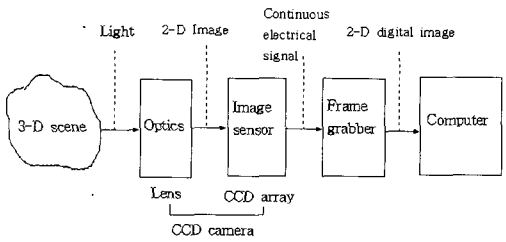
본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 주PC에서 동작하며 로봇의 위치 정보를 추출하는 영상처리 시스템, Ⅲ장에서는 주PC에서 담당하는 전략 및 제어 시스템, Ⅳ장에서는 로봇에게 명령정보를 보내기 위한 통신 시스템, Ⅴ장에서는 로봇 시스템에 대하여 기술한다.

Ⅱ. Vision System

영상처리 시스템은 일반적으로 카메라로부터 얻어진 2차원 영상으로부터 여러 가지 유용한 정보들을 얻는 것이다. 로봇 축구에서는 각 로봇의 위치와 방향, 그리고 공의 위치 정보가 필수적이다. 이러한 정보를 얻기 위해 로봇 축구용 영상처리 시스템은 구분 가능한 색을 갖는 로봇들과 공, 영상 획득을 위한 카메라와 프레임 그래버, 로봇과 공의 위치를 추정하기 위한 영상처리 알고리즘, 그리고 이 알고리즘의 실행이라는 4가지 중요 요소로 구성된다.

1. 컴퓨터 영상처리

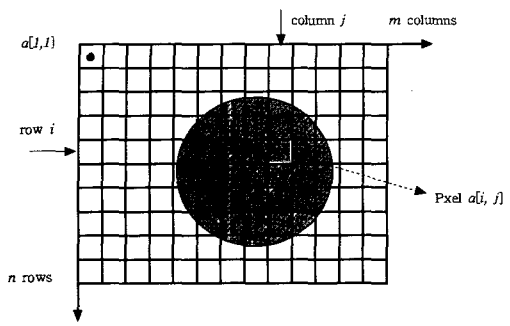
그림 2.1은 로봇축구 영상처리 시스템의 전반적인 블럭도를 나타내고 있다. [1][2][3]



〈그림 2.1〉 영상획득 블럭도

2. 영상

실제 물리적인 영상은 연속이지만, 디지털 컴퓨터에서는 이 영상을 바둑판 모양의 격자로 나누어 각 격자의 중심에서 격자의 농담 값을 취한



〈그림 2.2〉 m x n 영상 배열과 화소

다. 로봇축구 영상처리 시스템에서는 이 값을 표본화와 양자화 과정을 통해서 사용한다. 그림 2.2는 m x n 영상 배열로 구성된 영상을 나타낸다. 표본화 시간은 화소수를 결정하며 이는 영상의 해상도에 직결된다. 부호 없는 8bit 정수로 양자화를 수행할 경우 [0,255] 범위 내의 정수값 으로 표현된다. 칼라 영상의 경우 R,G,B에 대해서 8bit로 양자화하면 1.667×10^7 가지의 색을 갖는다.

3. 색공간

로봇축구에서는 각 팀에 노란색과 파란색의 고유 팀 색깔을 부여한다. 이 팀 색을 이용하여 상대로봇을 구별하며, 각 로봇의 ID를 구별하기 위하여 몇 가지 색을 사용하게 된다. 임의의 색은 3개의 원색들의 조합으로 표현되며, 원색을 표현하는 형식에 대해서는 표1의 2가지 방식이 로봇축구에서 일반적으로 많이 사용되는 방식이다.

〈표1〉 서비스 모델과 트래픽 묘사자

색공간	특 징
RGB	일반적인 정지영상에서 사용 직관적으로 이해하기 쉬운 색공간
YUV	동영상을 다루는 비디오 영상에서 대표적으로 사용 조명조건에 강인성을 가지는 이유는 로봇축구에서 사용하는 색공간

4. 2진 영상처리

로봇축구에서 사용하는 컴퓨터 영상처리의 기본이 되는 2진 영상은 농담값이 0/1로 256개의 농담값을 가진다. 이는 칼라를 갖는 영상에 비해서 데이터양이 적으므로 빠른 계산 시간과 적은 메모리 비용의 효과를 얻을 수 있다.

가) 임계값 처리

2진 영상을 만들기 위해서는 임계값 처리 과정이 필요하다. 양자화 과정을 통해서 얻어진 각 화소의 값을 원하는 영역에 존재하는 화소는 1, 그 외는 0으로 2진화를 하여야 한다.

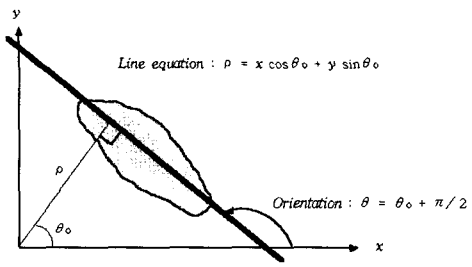
나) 기하학적 특징들

로봇축구는 2진화된 패치의 크기, 위치, 방향 등의 단순한 특징으로서 로봇에 대한 정보를 얻을 수 있다. m x n크기의 2진 영상 B[i,j]가 주어졌다고 가정하자.

- 크기: $A=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}B[i,j]$
- 위치: 위치의 경우는 물체의 면적중심과 같으므로 면적 중심법을 이용해서 물체의 위치 ($\bar{x},\bar{y}$)를 구할수 있다.

$$\bar{x}=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}jB[i,j]}{A}\quad \bar{y}=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}iB[i,j]}{A}$$

- 방향: 물체의 방향을 알기 위해서는 긴 모양



〈그림 2.3〉 물체의 방향 구하기

이 유리하다. 로봇축구에서는 대각패치를 이용하는 경우가 이에 해당된다. 주어진 2진 영상 B[i,j]에 대해서, 직선에 대한 최소자승정합법을 사용하여 정합직선을 구한다, X축으로부터 이 직선까지의 각도를 그 물체의 방향 θ를 구한다.

· 물체의 중심 : ($\bar{x}, \bar{y}$)

· 매개변수

$$(\tilde{x}_{ij}, \tilde{y}_{ij}) = (x_{ij} - \bar{x}, y_{ij} - \bar{y})$$

$$a = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} (\tilde{x}_{ij})^2 B[i,j]$$

$$b = 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \tilde{x}_{ij}\,\tilde{y}_{ij}\, B[i,j]$$

$$c = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} (\tilde{y}_{ij})^2 B[i,j]$$

· 정합직선:

$$\tan 2\theta_o = \frac{b}{a-c}$$

$$\theta = \theta_o + \frac{\pi}{2}$$

$$= \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{b}{a-c}\right) + \frac{\pi}{2}$$

$$0 \le \theta < 2\pi \quad or \quad -\pi \le \theta < \pi$$

다) 라벨링

한 화소가 다른 화소와 연결되어 있는지 여부를 알기 위해서 그림과 같이 4-이웃화소와 8-이웃화소를 정의한다. 영상에서 연결성분을 찾고 같은 연결 성분에 대해서 고유한 라벨을 부여하는 성분 라벨링 알고리즘을 사용한다. 종류로는 재귀 또는 순차 알고리즘이 존재한다[5]. 재귀 알고리즘의 경우 코드 구현이 간단하다는 장점이 있으나 순차 알고리즘보다 연산시간이 느리다는 단점이 있다. 이에 비해 순차 알고리즘의 경우는 빠른 속도를 보이는 반면 등가 테이블을 사용하여 등가라벨임을 체크해야 되므로 구현에서의 고려사항이 증가된다. 일반적인 로봇축구에서는 4-연결도 방식을 사용하며 이 두 알고리즘을 선택적으로 사용하고 있다.

라) 크기 필터링

카메라의 해상도나 조명의 불균일성 등에 의하여 2진 영상에는 잡음이 있을 수 있다. 라벨링 이후에 얻어진 연결성분에 대하여, 특정 화소수 (N) 미만인 연결성분들을 제거하는 크기 필터링 과정을 거친다.

5. 축구로봇의 위치와 방향계산

위에서 설명한 영상처리 기법으로 로봇의 위치와 방향, 공의 위치를 추정하는 로봇축구용 영상처리 알고리즘을 구현할 수 있다. 다음은 실제 사용된 MiroSot 5:5 SOTY팀 영상처리시스템[3]과 알고리즘에 대해서 설명한다.

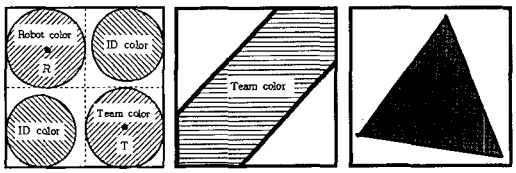
가) 영상처리 시스템의 구성

· Frame Grabber: Matrox MeteorII-Standard
YUV (4:2:2) Format, NTSC

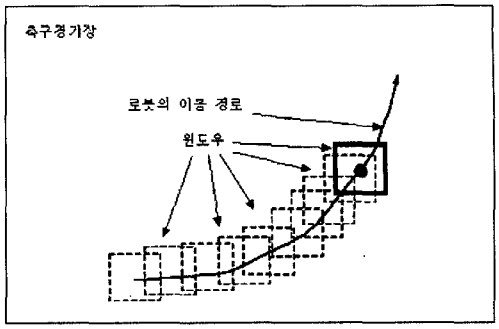
· Camera: 삼성 CCD SDC-410, 768(H) x 494(V)

· Computer: Pentium-VI 1GHz

프레임그래버로는 TV 캡쳐보드를 사용하여, 카메라의 경우는 NTSC방식의 CCD카메라가 보편적이나, 디지털 카메라를 사용하기도 한다.



〈그림 2.4〉 로봇 유니폼



〈그림 2.5〉 윈도우 추적

나) 팀과 로봇 구별용 색종이

팀 구별과 로봇간의 구별을 위하여 로봇의 위 부분에 색종이 (patch)를 붙인다. 로봇축구 영상처리 알고리즘에서 어떤 모양의 색종이 (유니폼)를 선택하느냐와 그 색 구성에 따라 성능의 차이를 보인다. 그림 2.4는 현재 로봇축구에서 사용되고 있는 다양한 종류의 유니폼을 보여주고 있다.

다) Robot Searching Method

각 로봇과 공의 위치를 빨리 찾기 위하여 영상수신 주기를 한 프레임을 주기로 하는 33ms를 사용하는 대신에 even과 odd field를 중심으로 한 16.7ms를 사용한다. 이때 전체 영역에 대한 알고리즘 수행 시 계산시간이 16.7ms이상 소요되는 문제점이 있다. 계산시간을 줄이면서 동일한 성능을 유지하기 위해서 일반적으로 윈도우 추적 방법 (그림 2.5)을 사용한다. 로봇의 위치를 중심으로 한 추적 윈도우[3]를 정의하고, 매 프레임 이 윈도우 내부의 화소들만 검사한다. 또한 이 추적 윈도우는 물체의 이동을 추정하여 이동시킨다. 장점으로는 전체 화면 찾기에서처럼 로봇좌표가 비연속적으로 이동되는 문제점이 없으나, 추적 윈도우의 크기 및 이동 위치 추정에 대한 알고리즘에 따른 성능의 차이 및 윈도우내에서 로봇을 잃어버릴 경우 수동으로 위치를 설정하기 전에는 찾을 수 없다는 단점이 있다. 이를 보완한 방법인 전체 화면 찾기와 국부 화면 찾기의 혼성 방법 등이 이용된다.

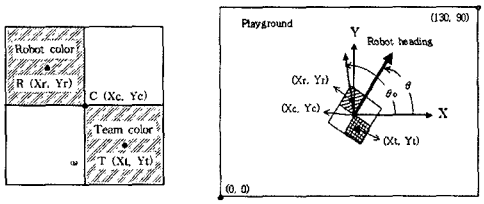
라) 위치, 방향계산

팀 패치와 각 로봇의 ID 패치를 영상처리한 결과를 통해서 로봇의 위치와 방향을 아래와 같이 계산한다.

- 대상 물체색의 각 성분 (Y,U,V)의 범위 결정
- 임계값 처리
- 라벨링
- 크기 필터링
- 면적 중심법을 이용한 위치/방향 계산

전체적인 영상처리 알고리즘은 앞서 설명한 내용과 동일하며, 로봇의 위치와 방향을 계산하기 위해 로봇의 팀 패치의 중심점의 좌표를 (Xt,Yt), 로봇의 ID 패치의 중심점 좌표를 (Xr,Yr)이라고 한다면 로봇의 위치 (Xc,Yc)는 다음과 같이 계산된다.(그림 2.6)

$$Xc=\frac{Xr+Xt}{2} \qquad Yc=\frac{Yr+Yt}{2}$$



〈그림 2.6〉 로봇의 위치와 방향

이때 로봇의 방향각 는 다음 식으로 계산된다.

$$\theta=\theta_0-\frac{\pi}{4}=\tan^{-1}\left(\frac{Yr-Yt}{Xr-Xt}\right)-\frac{\pi}{4}$$

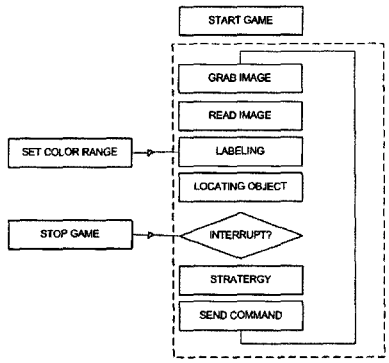
이때 θ는 $(0 \le \theta \le 2\pi)$의 범위를 갖는다.

MiroSot 5:5의 경우는 경기장 크기를 고려해 로봇 ID 패치와 팀 패치간의 임계거리는 패치간의 대각선 길이에 해당하므로 $8\sqrt{2}$cm, 잡음으로 처리할 필터링에서의 임계 화소수는 15정도가 된다.

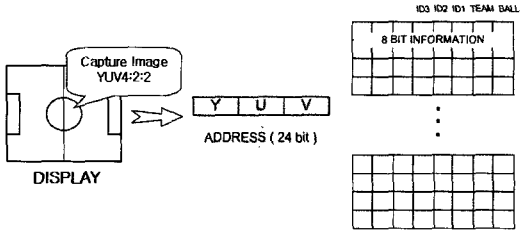
6. 영상처리 프로그램

영상처리를 포함한 실제 로봇축구 프로그램 블럭도는 그림 2.7과 같다.

SET COLOR RANGE는 경기 시작 전에 각 색깔에 대해서 임계값을 설정하며 Look-Up Table (LUT)을 생성한다. START GAME이후에는 영상을 그랩하여 라벨링 알고리즘을 수행 후 공의 위치와 로봇의 위치와 방향을 계산하여 이에 따라 전략을 수행한다. 전략에 의해 계산된 로봇의 속도값을 SEND COMMAND를 통해 무선으로 로봇에게 전송한다. SOTY팀의 경우는 필드 단위로 영상을 처리하며, 필드 단위의 정보가 그랩되었을 경우 발생되는 신호를 이용하여 제어주기를 동기화하는 방식을 사용하므로 제어 표본화 주기는 16.7ms가 된다.



〈그림 2.7〉 로봇축구 프로그램 블럭도



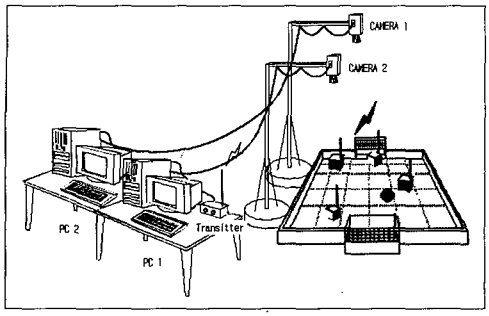
〈그림 2.8〉 24비트 YUV주소공간 LUT 생성

7. 색상추출 알고리즘의 고속화

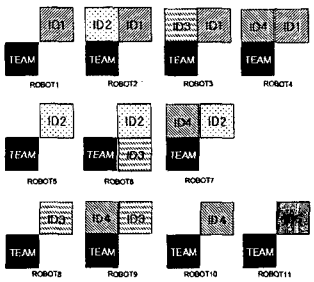
물체를 인식하는데 색상을 이용한 방법은 효과적이고 빠른 방법 중 하나이다. 컴퓨팅 시간을 단축하기 위해서 색상에 대한 정보를 미리 결정해 놓은 LUT를 이용한다. LUT는 가능한 모든 경우에 대해서 메모리에 최종단계의 값을 저장해 둠으로서 메모리를 읽는 정보의 계산량만을 필요로 하므로 빠른 처리속도를 구현할 수 있다.

그림 2.8은 SOTY팀의 24비트 YUV 주소공간 LUT를 이용한 색상추출에 대한 것으로, 볼 색상을 포함하여 팀과 ID 패치 3개를 LUT 생성에 포함시킨다.

YUV 4:2:2의 포맷형태의 캡쳐된 영상의 각 화

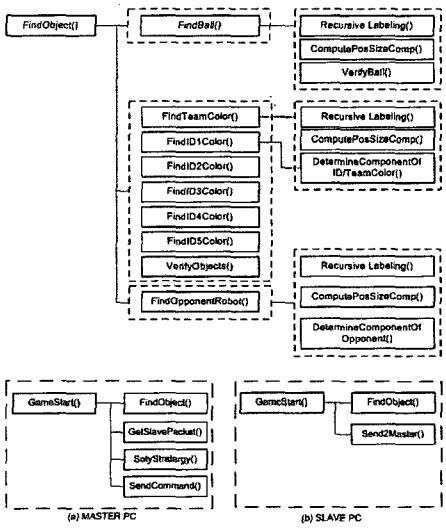


〈그림 2.9〉 MiroSot 11:11 시스템 구성도



〈그림 2.10〉 로봇 유니폼

소의 YUV를 추출하여 Y,U,V가 해당 임계값을 만족하는지 검사하며 만족될 경우, Y,U,V를 이용한 24bit 주소를 생성하여 메모리의 LUT 해당 주소 내용을 수정한다. 이때 ID와 팀 패치, 공의 색에 따라 2진 영상값을 0/1로 설정한다. 이렇게 생성된 LUT는 실제 영상처리 알고리즘에서 해당 화소의 Y,U,V를 인덱스로 사용하여 LUT 2진 영상 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 비트를 이용한 방법은 메모리 사용을 줄일 수 있는 장점과 더불어 AND(&)연산을 통한 2진 정보 추출의 고속 연산이 가능하다.



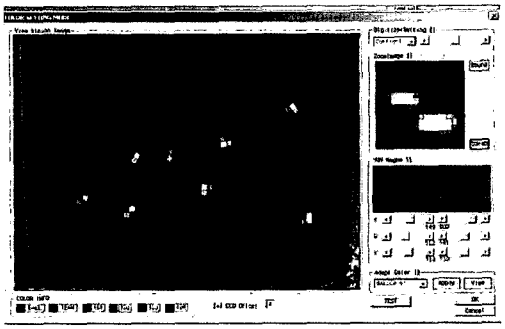
〈그림 2.11〉 소프트웨어 시스템의 구조도

8. 영상처리 프로그램

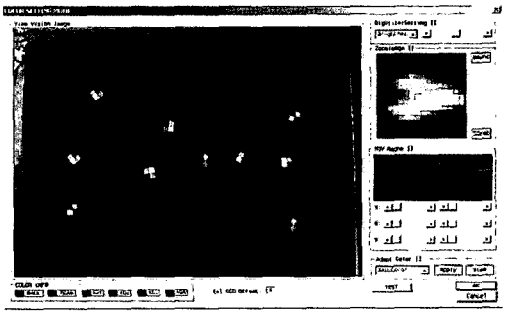
MiroSot 11:11 경기는 5:5 경기장인 180cm x 220cm 크기의 2배 이상인 440cm x 280cm로 기존의 시스템을 사용해서는 로봇축구를 구현할 수 없다. 따라서 기존의 interlace scaig방식의 카메라에서 progressive scaig방식의 카메라로 바꾸며, 디지털 카메라를 사용하여 필드 방식(640(H) x 240(V))이 아닌 전체 화면(782(H) x 582(V))을 50fps로 사용하여 고해상도의 화면 정보를 이용한다. 또한 1대의 카메라로는 경기장 전체를 잡을 수 없으므로 동일한 시스템 2개를 이용해서 각각 경기장의 절반 영역에 대해서 영상처리를 한다.

가) 시스템 구성

- 프레임그래버: Matrox MeteorII-CL Type BayerRGB Format, CameraLink
- Camera: BASLAR A302bc, Progressive 782(H) x 582(V), 50fps
- Computer: Pentium-VI 2GHz
- Cross LAN Cable



(a)



(b)

〈그림 2.12〉 색상 임계값 설정 화면 (a) 우리 측 진영 (PC_1) (b) 상대편 진영 (PC_2)

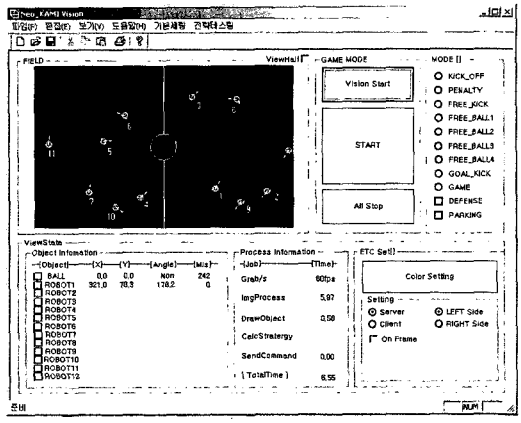
그림 2.9는 2대의 PC와 2대의 카메라를 이용한 시스템[4, 5] 구성도이다.

나) 영상처리 알고리즘

영상처리 알고리즘은 기존의 방식과 동일하나, 로봇11대에 대한 ID식별용 패치를 선정하는 것이 중요하다. 그림 2.10은 5개의 ID 색을 조합으로 11대 로봇을 구별한 유니폼 선정 방법이다.

그림 2.11은 SOTY 팀의 영상처리 프로그램을 포함한 전반적인 소프트웨어 시스템의 블럭도를 나타낸다.

그림 2.12는 SOTY팀의 11:11 영상처리 프로그램의 색상 임계값 설정 화면이다. PC에서 캡



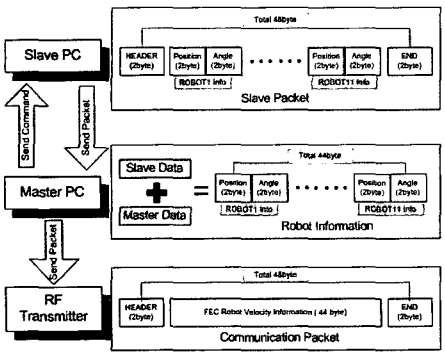
〈그림 2.13〉 로봇축구 GUI

쳐된 영상은 경기장의 절반이기 때문에, 각 PC에서 경기장 내의 로봇의 색상정보에 대한 임계값을 각각 설정하여야 한다. 색상 당 약 20-30개의 화소만으로 색상을 2진화 해야 하기 때문에 색상 설정을 편하고 쉽게 하는 인터페이스를 구현해야한다.

그림 2.13은 SOTY팀의 GUI로, 16.7ms마다 로봇의 자세를 갱신하여 화면에 출력한다. 또한 각 함수별 계산 시간과 전체적인 알고리즘 수행 시간을 출력하여 알고리즘의 성능을 보여주며, 경기에 필요한 다양한 명령과 전술에 대한 인터페이스를 갖추고 있다.

다) PC간 데이터 전송

2대의 PC에서 영상처리를 각각 하기 때문에 로봇의 자세정보가 두 PC에 분산되어 있다. 이를 통합하여 적절한 전략을 선정하기 위해서는 주PC와 종PC간에 DATA전송이 매우 중요하다. SOTY팀의 경우는 그림과 같이 종PC에서 처리한 로봇의 자세정보를 주PC로 TCP/IP를 통해서 전송하게 되며, 주PC에서는 주데이터와 종데이터를 통합하여 전략을 정한다. 주PC의 전략함수



〈그림 2.14〉 주PC와 종PC간 통신프로토콜

에서는 각 로봇 제어 명령으로 각 바퀴속도를 계산하여 이 정보를 무선송신기에 전송하게 된다.

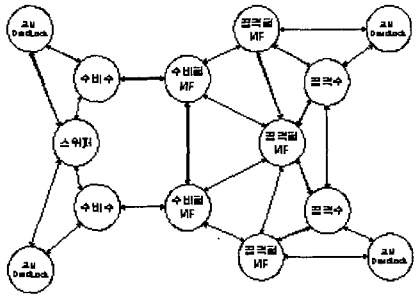
그림 2.14는 SOTY팀의 통신 프로토콜이다. 종PC에서의 로봇 자세 정보는 48 byte이며, 이를 주PC에서 구한 정보와 종합하여 FEC(Forword Error Correcting) 코딩을 통해서 최종 로봇 제어 데이터를 생성한다.

III. 전술 및 제어 시스템

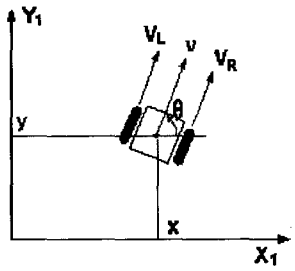
전술 및 제어 시스템은 영상처리 시스템으로부터 받은 위치정보를 상위 전략과 상위 제어를 거쳐서 통신 시스템으로 전송할 각 로봇의 속도 정보를 만들어낸다.

1. 상위 전략

상위 전략은 모든 로봇들이 매 상황에 맞게 어떤 역할을 해야 하고 어떤 위치에 있어야 하는지를 결정해 주는 부분으로, 상위 전략은 크게 팀 전술과 단독전술로 나뉜다. 팀전술은 기본적으로 주된 역할을 하는 하나의 로봇과 보조를 하는 두 로봇이 하나의 전술 행위를 구성한다. 예를



〈그림 3.1〉 팀전술 기본 대형 및 역할변화



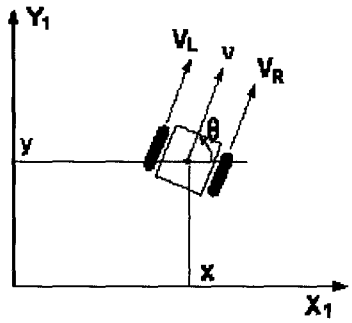
〈그림 3.2〉 축구로봇 구조

들면, 공이 중앙 공격형 미들필더 근처에 왔을 경우 두 공격수와 중앙 공격형 미들필더가 한 조가 되어서 팀 전술을 수행한다. [그림 3.1]

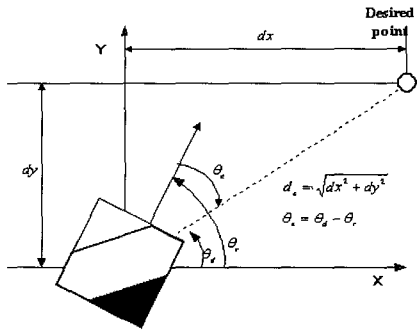
단독 전술은 각 로봇에게 부여된 전술로, 예를 들면, 공격형 미드필더가 상대 골대를 향한 각이 60도 이내에 공이 있고 그 구간 내에서 공격로봇이 없는 경우 가속하여 공을 차게 한다.

2. 상위 제어

상위 제어는 상위 전략에서 결정해준 행동에 따라 로봇이 어떻게 움직일지를 결정하여 로봇에게 전달해줄 모터 속도값을 만들어내며, 주어진 행동에 따라 위치이동, 각회전, 킥, 골키핑 등으로 구분된다.



〈그림 3.2〉 축구로봇 구조



〈그림 3.3〉 위치 제어

가) 로봇 기구학

그림 3.2는 축구로봇에서 주로 이용되는 구조로 바퀴의 축이 로봇의 중심에 있는 양바퀴 구동형 구조이다[5].

이때 미끄러짐이 없다면, 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 속도는 다음과 같다.

$$V_R = r * w_R \,, \quad V_L = r * w_L$$

여기서, r은 바퀴의 반지름, V_R, V_L은 각각 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 선속도, w_R, w_L은 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 각속도이다. 이때 로봇 중심의 선속도, 각속도를 각각 v, w라고 하고, D를 로봇의 폭이라고 하면, 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$w = \frac{V_R - V_L}{D} = r * \frac{w_R - w_L}{D},$$
$$v = \frac{V_R + V_L}{2} = r * \frac{w_R + w_L}{2}$$

나) 위치이동 제어

로봇이 어떤 위치에서 다른 임의의 위치로 가고자 할 때 다음과 같은 제어입력을 이용한다[5].

$$V_L = K_d * d_e - K_a * \theta_e$$
$$V_R = K_d * d_e + K_a * \theta_e$$

여기서, Kd와 Ka는 각각 거리오차와 각도오차에 대한 비례이득 상수이다.

이 제어법칙의 개선된 방식으로, 먼저 거리오차가 어느 정도 이상으로 크면 최고 속도로 달리고, 거리오차가 0에 가까워짐에 따라서 로봇의 중심속도를 0으로 수렴하게 하는 방법으로 다음과 같다.

$$V_L = V_{Max}(1 - \exp(-d_e/\tau_1))(1/\sqrt{2}of1 + (\theta_e/\tau_2)^2) - K_a * \theta_e$$
$$V_R = V_{Max}(1 - \exp(-d_e/\tau_1))(1/\sqrt{2}of1 + (\theta_e/\tau_2)^2) + K_a * \theta_e$$

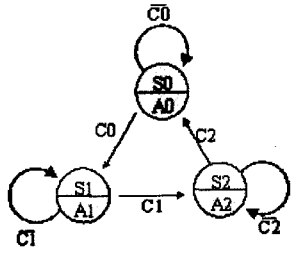
다) 각회전 제어

각회전 제어는 로봇이 제자리에서 중심 위치의 이동 없이 각도만을 회전시키기 위한 것으로, 다음 식으로 주어진다. [그림 3.3]

$$V_L = +K_a * \theta_e$$
$$V_R = -K_a * \theta_e$$

라) 킥 제어

킥은 실제로 어떤 로봇이 상위 전략으로부터 킥 명령이 주어지면 현재의 자기위치에서 출발하여 공의 뒤로 접근하여 골대로 공을 차도록 제어하는 부분을 말한다. 크게 킥제어 방식에는, State Machine을 이용하는 방법, Limit Cycle 방



S0: Far from the ball
S1: Behind the ball
S2: Kicking the ball
A0: Move behind the ball
A1: Turn to the destination
A2: Kick the ball

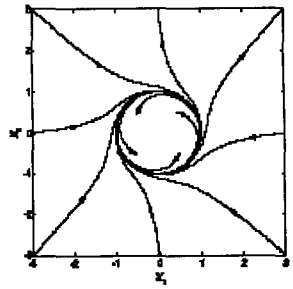
〈그림 3.4〉 State Machine을 이용한 킥

법, Uni-vector Field 방법 등이 있다 [5, 6, 7]. 먼저, State Machine을 이용하는 방법은 다음과 같이 킥을 하는 단계를 세 가지 상태로 나누어서 구현한다. 먼저 S0의 상태는 로봇이 공의 뒤쪽 먼 지점에 있는 상태로, 공의 뒤쪽으로 이동하는 행동 A0를 하게 되며, 이때 일정 거리 이내인지를 확인하는 조건 C0를 만족하면 S1상태로 천이된다. S1의 상태에서는 로봇이 공을 골대를 향하여 찰 수 있도록 방향을 트는 행동 A1을 하며, 각도 조건 C1이 맞으면 S2로 천이하여 이제 로봇은 골대를 향해 공을 차는 행동 A2를 한다. 이를 나타낸 것이 그림 3.4이다.

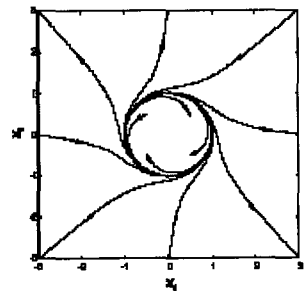
그러나 이 방법은 킥을 함에 있어서 로봇 동작의 연속성이 많이 떨어지는 단점이 있다. 이를 해결하는 방법이 Limit Cycle을 이용한 것으로 [6], 다음의 2차 비선형 함수는 각각 반지름 1인 원을 시계 방향, 그리고 반시계 방향으로 따라가게 해주는 함수이다 (그림3.5, 그림 3.6).

$$\dot{x}_1 = x_2 + x_1(1 - x_1^2 - x_2^2)$$
$$\dot{x}_2 = -x_1 - x_2(1 - x_1^2 - x_2^2)$$

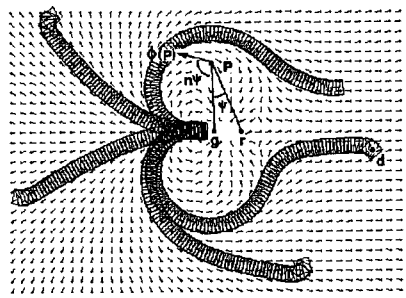
$$\dot{x}_1 = x_2 + x_1(r^2 - x_1^2 - x_2^2)$$
$$\dot{x}_2 = -x_1 + x_2(r^2 - x_1^2 - x_2^2)$$



〈그림 3.5〉 시계방향



〈그림 3.6〉 반시계방향

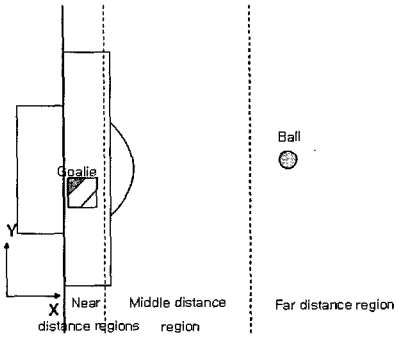


〈그림 3.7〉 Uni-Vector Field

여기서 x_1, x_2는 로봇의 위치 (x, y) 이다.

Univector장 항법은 경기장에 크기가 1인 벡터장을 만들어 로봇이 이 벡터장을 따라가면 목표점에 도달하게 하는 방법이다[7]. 그림 3.7은 모든 위치에 대하여 방향만 만들어 주는 Univector 장을 나타낸다.

위치 P에서의 단위 벡터장은 다음과 같다.



〈그림 3.8〉 공의 위치에 따른 상태

$$\phi(p) = \angle \overrightarrow{pg} - n\phi$$
$$\phi = \angle \overrightarrow{pr} - \angle \overrightarrow{pg}$$

여기서 g는 목표점이고, r은 킥 방향의 임의의 점이며, 이때 n은 임의의 양의 정수이다.

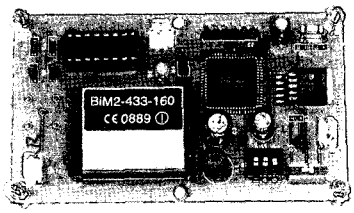
마) 골키퍼 제어

골키핑은 크게 공의 위치에 따라서 골키퍼에 가까운 상태, 근접한 상태, 먼 상태로 나누어 제어한다. 공이 골키퍼에 가까운 상태에서는 x좌표는 고정하고 공의 y좌표를 따라서 매우 빠르게 이동하고, 공과 근접한 상태에서는 공의 움직임을 예측하여 예측 지점으로 이동하고, 공과 거리가 먼 상태에서는 골의 중앙에 멈춘 상태로 머무르게 한다. [그림 3.8]

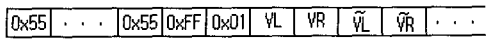
Ⅳ. 통신 시스템

통신 시스템은 상위 제어에서 만들어진 속도 정보를 로봇에게 보내기 위한 송신 시스템이다. [그림 4.1]

무선 통신에서 데이터의 손실을 최소로 하기 위하여, 데이터를 전송하지 않는 시간을 2ms 이내로 하고, 만약 2ms이상 데이터를 전송하지 않



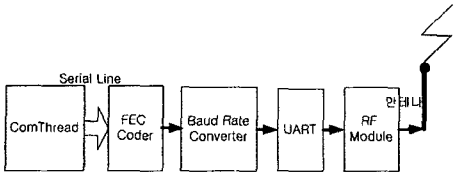
〈그림 4.1〉 통신 모듈



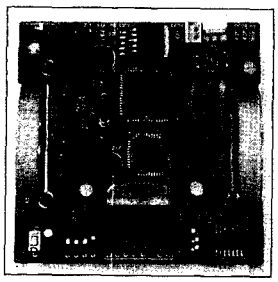
〈그림 4.2〉 무선통신 패킷양식

았다가 다시 전송을 하려면 보내려는 데이터 앞에 최소 3ms동안 '10101010'과 같은 더미를 송신하여 통신 채널을 활성화 하여야 하며, 전송할 데이터도 최대한 0와 1의 비율, 즉 Mark Space Ratio가 50:50이 되도록 하여야 한다. 위의 세 가지 조건을 지키기 위해 대부분의 팀이 사용하는 통신 방식은 주PC에서 데이터를 보내지 않는 시간 동안에도 계속 '10101010'와 같은 0과 1이 50:50이 되는 데이터를 날려주는 방식이나, 데이터를 보내지 않을 때는 통신 채널을 그냥 놓아두다가 데이터를 보내기 3ms전부터 '10101010'을 날리는 방식이 있다. SOTY 팀에서는 첫 번째 방식을 택하고 있고, 더미를 날리는 역할을 송신기에 MCU을 두어서 알아서 날리도록 하고 있으며, FEC Coding 기법을 사용한다. FEC Coding은 Mark Space Ratio를 적절히 유지하기 위해서는 보낼 데이터를 만들 때, 데이터의 Bit-wise Inversion한 데이터를 생성해서, 보낼 데이터 바로 뒤에 붙여서 날리는 방식을 말한다. 그림 4.2는 무선통신 패킷양식이다.

무선통신은 크게 주PC에서 나오는 속도정보를 무선통신에 맞도록 변환을 시켜주는 변환부



〈그림 4.3〉 무선 송신 구조



〈그림 5.1〉 로봇 시스템

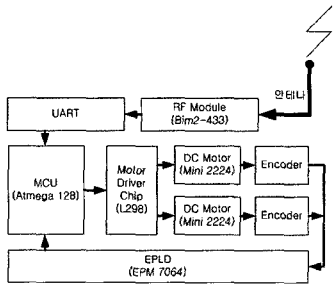
분과 이를 실제 RF 모듈에서 날려주는 부분으로 나뉜다. 그림 4.3은 PC에서 나오는 속도명령 정보를 실제로 송신하기까지의 구조를 나타낸다.

여기서 보레이트 변환기는 주PC에서 115200 bps로 데이터를 받아서 38400bps의 속도로 데이터를 날리기 위해서 보레이트를 바꾸는 부분이다. 이는 실제 RF 모듈이 38400bps에서 가장 안정적으로 동작하지만, 주PC는 전체 시스템의 성능향상을 위해서는 115200bps로 보내야 하기 때문이다.

V. 로봇 시스템

로봇 시스템은 주PC에서 날려준 속도정보를 받아서 실제 로봇을 제어하는 시스템이다 [그림 5.1].

로봇 하드웨어는 RF 모듈을 통해서 PC에서 날려준 속도정보를 받는 부분과 받은 속도값을 로봇이 잘 따라갈 수 있도록 DC 모터를 제어한다 [그림 5.2].



〈그림 5.2〉 로봇 전체 구조

모터를 제어하는 방법으로는 MCU에서 무선으로 받은 속도명령과 현재 모터 속도값 사이의 오차를 구하여 이를 PID 제어기나 퍼지 제어기로 제어할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문은 주 컴퓨터에서 동작하며 로봇의 위치 정보를 추출하는 영상처리 시스템, 이 영상처리 시스템으로 받은 로봇의 자세 정보를 이용하여 로봇 축구를 할 수 있도록 로봇을 제어하는 전략 및 제어 시스템, 전략 및 제어 시스템에서 외부적으로 축구 로봇에게 명령 신호를 보내기 위한 통신 시스템 등 실제 로봇 축구 경기를 하는 로봇에 관한 관련 기술들을 기술하였다.

이와 같은 관련 기술들은 모든 로봇 시스템 구현을 위한 기초 기반 기술들로 교육용으로도 활용 가능한 기술이다. 또한 다개체 시스템이라는 강인성과 효율성을 강점으로 여러 산업 현장에도 궁극적으로 활용 가능한 기술이다. 로봇 축구 제어 기술은 최종적으로 인간대신 인간형 로봇이 자연스럽게 축구를 하는 HuroSot을 최종 목표로 지속적으로 발전되어 가고 있다.

참고문헌

[1] J.-H. Kim et al., "A Cooperative Multi-Agent System and Its Real Time Application To Robot Soccer," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, New Mexico, 1997

[2] H.-S. Shim et al., "Designing Distributed Control Architecture for Cooperative Multi-agent System and Its Real-Time Application to Soccer Robot," J. of Robotics and Autonomous System, Vol. 21, No.2, pp. 149-165, Sept. 1997.

[3] H.-S. Shim et al., "A Hybrid Control Structure for Vision Based Soccer Robot System," J. of Intelligent Automation and Soft Computing, Vol. 6, No. 1, pp. 89 - 101, Jan 2000

[4] J.-H. Kim, D.-H. Kim, Y.-J. Kim, K.-T. Seow, "Soccer Robotics," Springer-Verlag, June 2004.

[5] 로봇 축구 공학, 김종환 외, 2002, KAIST Press.

[6] D.-H. Kim and J.-H. Kim, "Limit-cycle Navigation Method for Soccer Robot," Int'l. Conf. on Artificial Intelligence, Las Vegas, June 25-28, 2001.

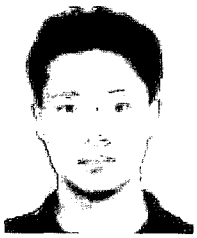
[7] Y.-J. Kim, J.-H. Kim and D.-S. Kwon, "Evolutionary Programming - based Univector Field Navigation Method for Fast Mobile Robots," IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., Part B, Vol. 31, pp 450-458, June 2001.

저자소개

김 종 환

1981년 서울대학교 공과대학 전자공학 학사
1983년 서울대학교 공과대학 전자공학 석사
1987년 서울대학교 공과대학 전자공학 박사
1988년-현 재 KAIST 전자전산학과교수
1992년-1993년 Purdue 대학교 방문교수
1996년-현 재 IEEE Trans. on Evolutionary Computation 부편집인
1997년-현 재 FIRA 회장
2000년-현 재 마이크로로봇 설계교육센터 소장
2003년-현 재 ITRC-지능로봇 연구센터 소장
2003년-현 재 호주 Griffith대학교 겸임교수
2004년-현 재 KAIST 로봇공학 학제전공 책임교수
2004년 Fuzzy Days 국제학회, 독일, Honorary Chair
2004년 Autonomous Robots and Agents 국제학회, 뉴질랜드, Honorary Chair

주관심분야 Evolutionary Robotics



이 강 희

1999년 KAIST 학사
2001년 KAIST 석사
2001년-현재 KAIST 박사 과정

주관심분야 다개체시스템, 진화연산, 유비쿼터스로봇

저자소개

구 미 회

2003년 경북대학교 전자전기공학부 학사
2003년 - 현 재 KAIST 전자전산학과 석사 과정
주관심분야 실시간영상처리, 로봇제어

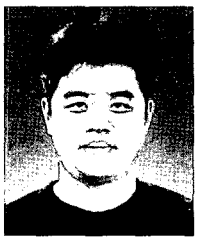
이 윤 기

2003년 경북대학교 전자전기공학부 학사
2003년 - 현재 KAIST 전자전산학과 석사 과정
주관심분야 가상생명체, 로봇축구제어, 홈서비스로봇

김 태 훈

2004년 경북대학교 전자전기공학부 학사
2004년 - 현재 KAIST 전자전산학과 석사 과정
주관심분야 자율이동로봇제어, 원격제어

저자소개



이 재 경

2004년 경북대학교 전자전기공학부 학사
2004년 - 현재 KAIST 전자전산학과 석사 과정
주관심분야 로봇축구제어, 진화연산, Fuzzy