

논문 2009-04-18

칼라 패치 변경을 이용한 축구 로봇 시스템의 성능 개선

(Performance Enhancement of Soccer Robot System by Changing Color Patch)

고창건, 장문희, 이석규*

(Chang-Gun Ko, Mun-Hee Jang, Suk-Gyu Lee)

Abstract : This paper proposes a novel method to enhance performance of soccer robot system using optimal color patch mounted on the robot. In soccer robot system, the position and orientation of the robot can be estimated with color patch under real time environment. However, the location estimation of the robot is very sensitive to the pattern of color patch. In addition, pattern recognition and navigation algorithm are operated independently to reduce the operation time. The experimental results show that the proposed pattern of patch is effective to reduce the position and orientation error of the robot.

Key words : Soccer Robot, Robot soccer patch

1. 서 론

다객체 이동로봇의 대표적인 연구 분야로 자리 잡고 있는 축구로봇 시스템은 다양한 제어, 센싱 등의 기술과 이론이 필요한 분야로 현대 산업이 요구하는 시스템 통합의 대표적인 분야로 자리 잡고 있다. 또한 고속의 동적 환경에서의 다객체 로봇의 제어 및 협동에 대한 연구를 수행할 수 있는 가장 적합한 테스트 시스템으로 인정받고 있다. 축구 로봇 환경은 불규칙적인 외란과 장애요소들로 인하여 예측이 어려운 환경을 가지고 있기 때문에 변화하는 환경에 시스템을 효과적으로 모델링하기란 쉬운 일이 아니다. 또한 로봇을 정확하게 제어하기 위해 복잡한 알고리즘을 사용하는 경우에는 시스템의 연산 속도를 저하시켜 실시간 제어의 구현을 어렵게 한다. 따라서 이러한 고속의 동적 환경에서 동작할 수 있는 강인한 영상처리 알고리즘의 개발이 필요하다.[1][2]

1996년 처음 시작된 MiroSot(Micro-Robot World Cup Soccer Tournament)[3][4][5][6][7]은 표1과 같이 150cm × 130cm의 넓이에서 3대의 로봇이 협력하는 Small League MiroSot, 220cm × 180cm의 넓이에서 5대의 로봇이 협력하는 Middle League MiroSot, 280cm × 220cm의 넓이에서 11대의 로봇이 협력하는 Large League MiroSot으로 나눌 수 있다.[8][9][10] 각각의 경기장의 넓이가 다르므로 VGA급(640×480pixel) 카메라를 사용하면, Small League MiroSot을 연구할 경우 약 4.27pixel/cm (x좌표)와 3.69pixel/cm (y좌표)의 정보를 가질 수 있다. 이에 비해 Middle League MiroSot의 경우 경기장길이가 늘어난 만큼 2.91pixel/cm (x좌표)와 2.67pixel/cm (y좌표)의 정보만 가질 수 있다. 픽셀 정보가 상대적으로 적게 획득되므로 Small League MiroSot에 비해 Middle League MiroSot은 물체에 대한 위치의 정확성이 낮아진다.

축구로봇 시스템에서는 일반적으로 실시간 처리를 통해 물체 인식 알고리즘과 로봇 이동 알고리즘을 하나의 시스템에서 처리하는 구조를 많이 사용한다.[3][11] 따라서 처리 시간이 많이 소요되는 복잡한 연산은 고성능의 컴퓨터로 수행하고, 컴퓨터로부터 모터의 회전 속도를 무선으로 전달받아 로봇

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 09. 02., 채택확정 : 2009. 09. 16.

이석규 : 영남대학교 전기공학과

고창건 : 삼성전자(주)

장문희 : 엠텍비전

표 1. MiroSot 경기장 정보 및 cm 당 pixel 수
Table 1. Specifications of MiroSot Playground

	width	height	pixel/cm (X축)	pixel/cm (Y축)
Small League	150cm	130cm	4.27	3.69
Middle League	220cm	180cm	2.91	2.67
Large League	280cm	220cm	2.29	2.18

에서는 DC모터 제어만 수행한다.[12] 축구로봇 시스템은 물체 인식 알고리즘과 로봇 이동 알고리즘이 정해진 주기 내에 모든 과정을 마쳐야 하기 때문에 복잡한 연산을 통한 고성능의 로봇 이동 알고리즘이나 물체 인식 알고리즘을 구현하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 고속 처리를 위해 물체 인식 알고리즘과 로봇 이동 알고리즘을 독립적으로 설계하여 분리하는 방법을 사용했다. 또한 물체 인식 알고리즘도 보정 알고리즘을 변경에도 쉽게 시스템을 수정할 수 있는 계층적인 구조를 가지게 설계하여 효과적인 실시간 제어를 구현하였다.[1][2][3][6]

II. 축구 로봇 시스템

축구로봇 시스템은 Vision system, 5대의 로봇, R/F 모듈 그리고 계층적 행동 제어기로 구성되어 있다. 시스템의 간소화 및 처리성능의 향상을 위해 Vision system은 영상처리 전용보드를 사용하여 구현하였다. 시스템의 구성은 크게 로봇의 위치와 방향을 파악하게 해주는 Vision system, 생성된 벡터의 방향대로 움직일 수 있는 로봇, 로봇이 움직일 벡터를 생성시키는 행동 제어기로 나눌 수 있다.

2.1 비전 처리 시스템

비전 처리 시스템은 물체 인식 알고리즘을 포함하여 각 물체의 위치와 각도를 구하는 서브시스템이다. 본 논문에서 사용한 비전 처리 시스템은 CCD 카메라로부터 영상신호를 받아 영상의 YUV값을 비교하여 각 물체들의 중심좌표를 추출하여 계층적 제어기로 전송한다.

가. 시스템의 구성

비전 처리 시스템은 영상신호를 만드는 카메라와 이 신호를 처리하는 Frame grabber로 구성된다. 카메라는 크게 아날로그 신호를 출력하는 NTSC

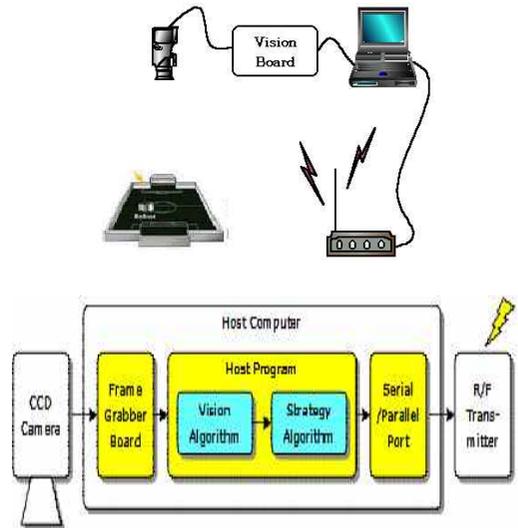


그림 1. 전체 시스템의 구성
Fig. 1. System structure

Camera와 디지털 Camera로 나눌 수 있으며, 디지털 Camera는 대부분 1394 신호를 출력하는 카메라를 많이 사용한다. 본 논문에서는 1394 신호를 출력하는 카메라를 사용했으며 출력 해상도는 최대 780*580 픽셀을 가지며 최대 해상도에서 30 frame/sec의 영상신호를 획득할 수 있다. 이 속도는 NTSC Camera의 60frame/sec의 획득 속도에 비하면 약 1/2의 속도를 가진다고 할 수 있다.

입력되는 카메라 영상은 컴퓨터의 메모리로 입력되지 않고 영상처리를 위해 Frame grabber를 거치게 된다. OpenCV의 등장으로 USB카메라를 이용한 영상처리 속도가 비약적으로 발전했지만 전용보드의 처리속도에는 미치지 못한다. 따라서 본 논문에서는 1394신호의 영상을 처리할 수 있는 영상처리 전용의 Frame grabber를 사용하였다.

나. 비전 처리 과정

(1) 색공간(Color Space)

영상처리에 있어 색공간은 빠질 수 없는 부분이다. 본 논문에서 개발한 비전 처리 시스템에서는 눈으로 볼 수 있는 RGB 칼라 뿐만 아니라 휘도에 민감하게 반응할 수 있는 YUV 칼라를 사용했다. RGB 칼라는 우리에게 친숙한 색공간으로 우리가 직접 눈으로 확인할 수 있는 색공간이다. 하지만 YUV 칼라는 Y가 휘도정보를 가지고 UV가 색상정보를 가지는 색공간이다. 그래서 조명에 민감한 시스템에서는 YUV

색공간을 많이 사용한다. YUV 칼라에서는 YUV411 포맷과 YUV422 포맷이 있다. YUV422 포맷에서는 각 픽셀은 한 바이트의 Y값을 가지는 반면 2개의 가로로 인접한 픽셀이 같은 1바이트의 U값과 같은 1바이트의 V값을 공유한다. 따라서 YUV422 포맷에서는 2개의 가로로 인접한 픽셀을 4바이트로 나타낼 수 있기 때문에 평균으로 픽셀당 16비트로 표시된다. 그에 비해 YUV411 포맷에서는 4바이트의 Y값 속에 1바이트씩의 UV값을 가지고 있다.

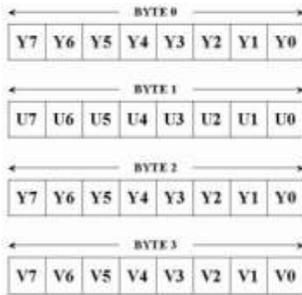


그림 2. YUV 4:2:2 포맷
Fig. 2 YUV 4:2:2 format

위에서 언급한 것처럼 일반적으로 많이 사용하는 RGB 색공간이 아닌 YUV 색공간을 쓰는 주된 목적은 비전알고리즘의 처리에 의한 정확성을 높이기 위해서이다. 일반적으로 물체에 의해서 생기는 그림자와 조도에 덜 민감한 것이 YUV 색공간이다. YUV 칼라는 Y에 의해 밝기의 영향을 줄일 수 있으며, YUV 색공간을 사용하므로 영상데이터의 전송율을 높일 수 있다는 장점이 있다. RGB 칼라 포맷은 일반적으로 RGB24 또는 RGB32를 사용하므로 YUV422 포맷보다 더욱 많은 비트가 필요로 하게 된다. 따라서 Frame Grabber에서 이미지데이터를 컴퓨터로 전송하는 경우 YUV 색공간이 더 빠르게 전송된다. 그러나 색을 표현하기 위해서는 RGB 색공간이 필요로 하므로 다음과 같은 3×3 transform으로 YUV 칼라와 RGB 칼라를 같이 사용한다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.394 & -0.581 \\ 1 & 2.028 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) 이진화(Thresholding)

로봇 축구에서는 영상처리를 통하여 사물에 대한 특징을 추출하며, 특징추출 방법은 여러 가지가 있겠지만 본 논문에서 사용한 방법은 영상의 이진화이다. 이 방법에서는 YUV 색공간에 최소값과 최대값을 설정하여 설정된 값의 사이를 만족하는 색을 획득한다.(thresholding). 그림 3에서 보는 바와 같이 원 영상이 주어지면 Thresholding에 의해 이진화를 거쳐, 그림 4와 같이 원하는 색 영역을 추출할 수 있다.

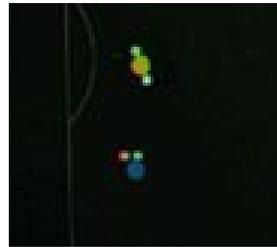


그림 3. 원영상
Fig. 3 Original image

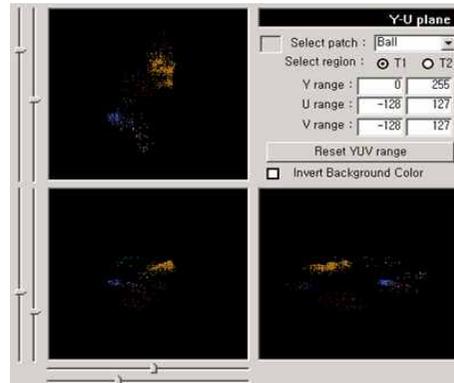


그림 4. 이진화 과정
Fig. 4 Thresholding process

(3) 라벨링

영상의 이진화로 물체의 특징을 추출하면 같은 영상 영역 내에 여러개의 물체가 추출될 수 있다. 축구 로봇 시스템에서도 팀을 구별하기 위해 사용하는 색은 정해진 영역에 5개가 존재하게 된다. 이것을 각각 구분하기 위해서는 라벨링을 해줘야 하는데 그림 5와 같이 라벨링된 영상을 가진다.

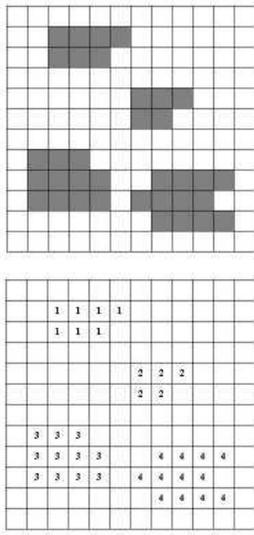


그림 5. 라벨링
Fig. 5 Labelling

2.2 전략 시스템

최하위 계층인 로봇에서는 PID제어기를 사용하여 모터제어를 수행하고 있다. 로봇계층의 바로 상위 계층에 해당하는 Motion control system 계층에서는 로봇의 모터 제어를 수행한다. 로봇에 사용하는 모터는 DC모터로 512펄스의 분해능을 가지는 엔코더를 장착하였으며, MCU 자체적으로 PLL을 통해 4체배를 하기 때문에 모터가 한 바퀴 회전하면 2048개의 펄스수를 가지게 된다. Motion control system은 선속도 V와 각속도 ω 를 가지고 로봇의 좌우바퀴의 회전수를 제어한다. 그림 6과 그림 7은 바퀴에서의 기구학을 나타내고 있다.

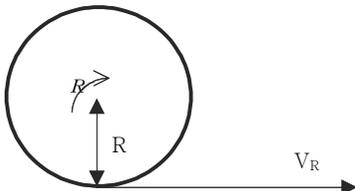


그림 6. 바퀴 파라미터
Fig. 6. Wheel parameters

$$\begin{aligned} \omega_R &= \frac{\Delta\theta_R}{\Delta t}, \quad \omega_L = \frac{\Delta\theta_L}{\Delta t} \\ V_R &= \omega_R \cdot R \\ V_L &= \omega_L \cdot R \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 ω_R, ω_L 은 각 구동바퀴의 회전 각속도이며, R은 바퀴의 반지름이다.

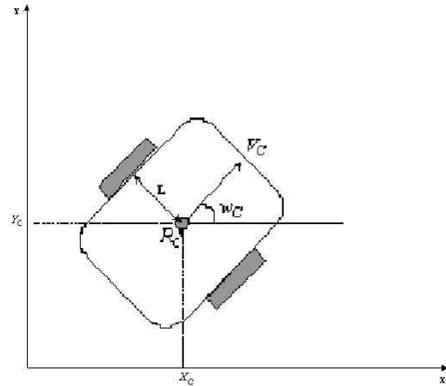


그림 7. 이동 로봇의 기구학
Fig. 7. Kinematics of mobile robot

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \cdot R = \frac{V_R + V_L}{2} \\ \omega_c &= \frac{\omega_R - \omega_L}{2L} \cdot R = \frac{V_R - V_L}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 V_c 는 로봇의 선속도이며, ω_c 는 로봇의 회전 각속도이다.

III. 로봇패치 변경으로 인한 비전 시스템 개선

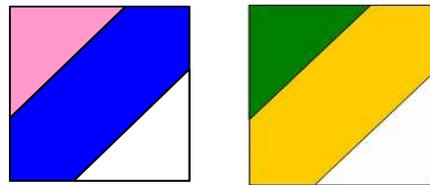


그림 8. 기존의 칼라 패치(1)
Fig 8. Original color patch(1)

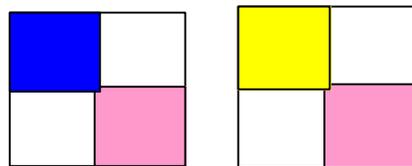


그림 9. 기존의 칼라 패치(2)
Fig 9. Original color patch(2)

축구로봇 시스템에서는 그동안 많은 연구과정을 거쳐서 대부분의 팀들이 선택하고 있는 칼라 패치의 모양은 그림 8이나 그림 9와 같은 모양의 칼라 패치를 사용 한다. 그림 8과 같은 칼라 패치는 중앙의 대각선 모양이 Team patch의 역할을 하며 비전 처리를 통하여 우리 팀의 로봇을 찾아내는데 사용되며, 최소 좌승법을 통해 로봇의 각도를 파악할 수 있는 장점이 있다. 그리고 무게 중심법에 의해 각 로봇의 중심좌표를 쉽게 구할 수 있다.[16] 그림 9와 같은 칼라 패치는 두 개의 사각형의 중심좌표를 무게 중심법으로 구한 후, 두 좌표의 평균이 로봇의 중심좌표가 된다. 그리고 로봇의 각도는 두 점 사이의 직선의 기울기로 구할 수 있다.[20] 그러나 그림 8과 같은 칼라 패치의 단점은 검색해야 할 물체가 증가할수록 대각선 모양의 칼라 외에 칼라 패치마다 고유 번호를 유지하기 위해서 삼각형 모양의 패치 개수가 선형적으로 증가해야한다. Middle League MiroSot의 경우는 각각 5대의 로봇이 사용되는데 기존의 패치를 사용할 경우에는 공, 우리 팀의 인식 칼라, 각 로봇의 인식 칼라, 상대 팀의 인식 칼라를 검색해야 함으로써 비전처리를 위해서 검색해야 할 물체의 개수는 8개가 된다. 검색해야 할 칼라의 수가 증가한다는 것은 각 칼라 간의 간섭이 발생할 확률이 높아진다고도 할 수 있을 것이다.[16]

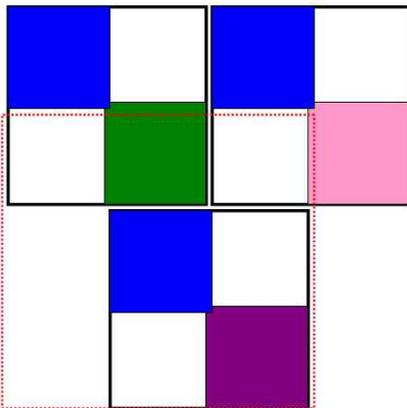


그림 10. 기존 칼라 패치의 문제점
Fig. 10. Troubles of the original patch

그림 9와 같은 패치는 그림 10에서 나타내는 것과 같은 문제점을 발생시킨다. 작은 종류의 칼라 패치가 그림 10과 같은 형태로 근접해 있을 때, 그림의 점선에서 처럼, 칼라 패치의 Team patch 의

에 ID를 결정하는 칼라가 두 색깔 이상 들어오게 된다. 이는 곧, ID 색깔로 로봇의 번호를 선택하는 알고리즘에 치명적인 결함을 나타내게 한다.

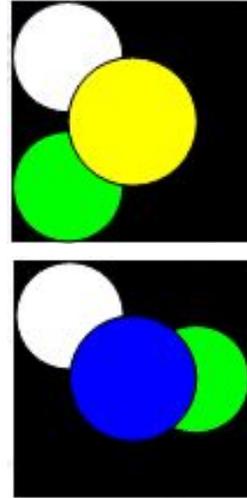


그림 11. 개선한 패치(1)
Fig. 11 The enhanced patch(1)

따라서 효과적인 칼라 패치는 영상평면에서 많은 픽셀 수를 차지해야 하며 적은 칼라수로 많은 로봇을 구분할 수 있어야 한다. 그리고 로봇의 번호가 잘 구분되어야 하며 로봇이 인접했을 경우 잘 구분할 수 있어야 한다.[17] 본 논문에서 축구로봇 시스템에서의 비전처리 성능을 개선하고자 고안한 패치가 그림 11과 같다. 비전처리를 위해서 공의 칼라, 상대 팀의 칼라, 우리 팀의 칼라, 로봇의 각도를 구하기 위해 사용되는 칼라, 우리 팀의 로봇번호를 인식하기 위해 사용되는 칼라가 필요하며, 이는 곧 5개의 칼라만으로 비전 시스템을 처리할 수 있게 한다.

$$x_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{c_i}, \quad x_a = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{a_i}, \quad x_{ID} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{ID_i}, \tag{5}$$

$$y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_{c_i}, \quad y_a = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_{a_i}, \quad y_{ID} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_{ID_i}, \tag{6}$$

$$\theta = \theta_o - \frac{\pi}{4} \tag{7}$$

$$\theta_o = \tan^{-1} \frac{y_a - y_c}{x_a - x_c}$$

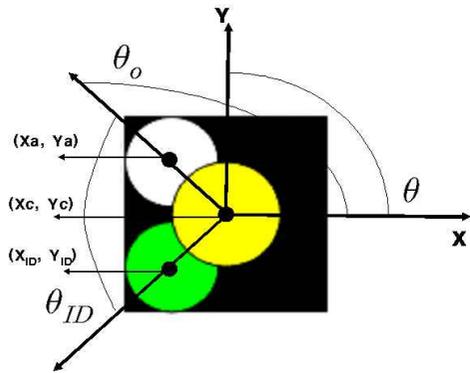


그림 12. 개선한 패치(2)
Fig. 12 The enhanced patch(2)

그림 12에서 보는 바와 같이 식5와 식6을 통해 각 물체의 중심점을 찾을 수 있으며, 식7을 통해 로봇의 각도를 구할 수 있게 된다. 그리고 왼쪽에 위치한 로봇번호를 판별하기 위한 색깔은 중심점의 위치에 따라서 로봇의 번호를 판별할 수 있으며, 그림 13과 식8을 통해서 그 과정을 이해할 수 있다. 여기서 각 로봇 ID별로 guide band는 ± 15 도를 가 지게 했다.

$$\begin{aligned} &\text{if, } \frac{5}{12}\pi \leq \theta_{ID} \leq \frac{7}{12}\pi, \text{ RobotID}=1 & (8) \\ &\text{else, } \frac{2}{3}\pi \leq \theta_{ID} \leq \frac{5}{6}\pi, \text{ RobotID}=2 \\ &\text{else, } \frac{11}{12}\pi \leq \theta_{ID} \leq \frac{13}{12}\pi, \text{ RobotID}=3 \\ &\text{else, } \frac{7}{6}\pi \leq \theta_{ID} \leq \frac{4}{3}\pi, \text{ RobotID}=4 \\ &\text{else, } \frac{17}{12}\pi \leq \theta_{ID} \leq \frac{19}{12}\pi, \text{ RobotID}=5 \end{aligned}$$

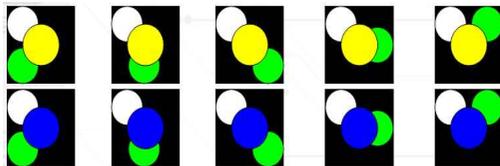


그림 13. 개선한 패치의 종류
Fig. 13 Types of enhanced patches

IV. 실험

본 실험에서는 로봇의 칼라 패치를 개선함으로써 비전 처리 시스템에서의 성능을 평가하고자 한다.

실험 결과는 표2와 같이 기존 패치를 사용할 때의 위치오차는 ± 5 pixel이었으나 개선한 패치를 사용하여 ± 2 pixel로 성능이 개선되었다. 그리고 각도 오차의 경우에도 ± 7 degree에서 개선한 패치를 사용하여 ± 2.5 degree로 정밀도가 증가하였다.

표 2. 패치 성능 비교
Table 2. Performance comparison of patches

	기존의 패치	새로운 패치
위치오차	± 5 pixel	± 2 pixel
각도오차	± 7 degree	± 2.5 degree

그림 14는 기존의 패치 오차와 개선된 패치 오차를 나타내고 있다.

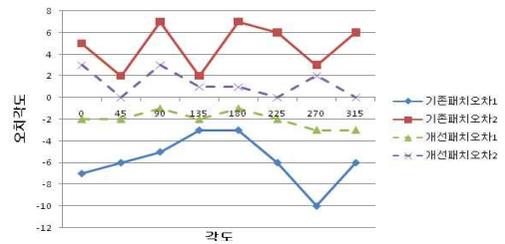


그림 14. 패치 성능
Fig. 14 Patch performance

V. 결론

다객체 이동로봇의 대표적인 연구 분야로 자리 잡고 있는 축구로봇 시스템은 11개의 객체가 매우 빠르고 불규칙적으로 변화하는 시스템이므로 각 계층별로 설계된 제어기나 서브시스템이 고속 처리 능력과 높은 신뢰성을 가져야 한다. 이를 위하여 전체 시스템을 각 계층별로 독립적으로 동작할 수 있도록 모델링하여 각 서브시스템의 안정도를 높였다.

본 논문에서는 축구 로봇 시스템의 특성을 파악하고 이에 맞는 새로운 패치를 제안했다. 제안한 방법을 통하여 위치오차와 각도오차를 줄여서 정확한 로봇 제어가 가능해졌다. 비전 처리 시스템에서는 위치오차와 각도오차가 줄었지만 전체적인 비전 처리 시간은 종전의 4ms에서 12ms로 증가했다. 보다 더 향상된 결과를 얻기 위해서는 윈도우 트래킹 [19] 등을 적용하여 비전 처리속도를 개선하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 심현식, 정명진, 김홍수, 김종환, “비전 기반 축구 로봇 시스템을 위한 혼합형 제어 구조의 역할 계층 설계”, 제1회 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp. 3-22, 1998.
- [2] 이인재, 백승민, 손경오, 국태용, “축구로봇을 위한 계층적 제어기”, 제어·자동화·시스템공학 논문지 제 6권 제 9호, pp. 803-812, 2000.
- [3] 장재완, 이동일, 김상준, 이석규, “로봇축구를 위한 다계층 로봇의 행동제어에 대한 연구”, 2000 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp.69-99, 2000.
- [4] Proceedings of Micro-Robot World Cup Soccer Tournament (MIROSOT '97), KAIST, Deajon, Korea, 1997.
- [5] Jong-Hwan Kim, “Robot Soccer System”, 한국 퍼지 및 지능 시스템 학회 '99 추계 학술 대회 Tutorial, 11. 1999.
- [6] 이인재, 백승민, 손경오, 국태용, “다중이동 로봇의 계층적 제어”, 한국자동제어 학술회의 논문집, 1권, pp. 252-255, 1998.
- [7] 김광춘, 김동한, 김용재, 김종환, “축구로봇을 위한 제어기 설계”, 한국자동제어 학술회의 논문집, 1권, pp. 612-616, 1998.
- [8] http://www.krsa.org/championship/soccer/mirosot_small_rule.html.
- [9] http://www.krsa.org/championship/soccer/mirosot_middle_rule.html.
- [10] http://www.krsa.org/championship/soccer/mirosot_large_rule.html.
- [11] 신동민, 강민구, 전성제, 김남근, “MASKARO 팀의 실시간 비전 시스템”, 2000 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp. 57-66, 2000.
- [12] 정광수, “모터와 모터의 제어”, 2000 로봇축구 공학 워크샵, FIRA, pp.131-146, 2000.
- [13] R.Y. Tsai, “A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses”, IEEE Trans on Robotics and Automation, vol. 3, no. 4, 1987, pp. 323-344.
- [14] 유원필, 정연구, “가형 디지털 카메라 적용을 위한 기하학적 왜곡 및 광도 왜곡 보정 방법”, 한국정보과학회, 한국정보과학회 학술발표논문집 한국정보과학회 2003년도 봄 학술발표논문집, 제30권 제1호(B), pp. 205-207, 2003.
- [15] 유원필, 이형구, 정연구, “내장형 렌즈 왜곡 보정 알고리즘 구현을 위한 이미지 워핑 방법”, 제18회 한국정보처리학회 추계학술대회 논문집, 제9권 제2호, pp. 673-676.
- [16] 김형중, 장재완, 김상준, “축구로봇을 위한 비전 처리”, 2000 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp. 147-158, 2000.
- [17] 이동훈, “MIROSOT의 영상 시스템을 위한 새로운 칼라 패치”, 2005 로봇축구 공학 학술대회 논문집, FIRA, pp. 49-59, 2005.
- [18] 이병주, 이성오, 이관수, 박귀태 “로봇 축구 시스템과 게임 전략”, 제 1회 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp. 77-100, 1998.
- [19] 김종환, 심현식, 김성호, 김홍수, 정명진, 김동한, 김용재, 박귀홍, 장준수, “로봇축구공학 (Robot Soccer Engineering)”, KAIST PRESS, pp.130-131, 2002.
- [20] 김종환, 심현식, 김성호, 김홍수, 정명진, 김동한, 김용재, 박귀홍, 장준수, “로봇축구공학 (Robot Soccer Engineering)”, KAIST PRESS, pp.128-129, 2002.

저 자 소 개

고 창 건 (Chang-Gun Ko)



2008년 영남대학교 전자공학과 학사.

2008년-현재 : 삼성전자 근무.

관심분야 : 로봇, 임베디드 시스템 등.

장 문 희 (Mun-Hee Chang)



2008년 영남대학교 전자공학과 학사.

2008년-현재 : 엠택비전

관심분야 : 로봇, 임베디드 시스템 등.

이 석 규 (Suk-Gyu Lee)



1979년 서울대학교 전기
공학과 학사. 1981년 서울
대학교 전기공학과 석사.

1990년 Dept. of
Electrical Eng., University
of California, Los Angeles
박사.

1982.3 - 현재 : 영남대학교 전기공학과
교수.

관심분야 : 로봇, 제어, 자동화, 임베디드
시스템 등.