

실시간 환경에서의 영상조정 및 패치 변경에 의한 축구로봇의 성능개선

(Performance Improvement of Soccer Robot by Vision Calibration and Patch Change in Real Time Environment)

최정원* · 김덕현

(Jeong-Won Choi · Duk-Hyun Kim)

요 약

본 논문에서는 카메라 렌즈에서 흔히 발생할 수 있는 렌즈의 왜곡에 의한 화상을 보정하고, 로봇 좌표를 인식하기 위해 사용하는 패치의 변경에 의한 로봇의 위치 및 각도오차를 줄여 축구로봇 시스템의 성능 개선에 대한 새로운 방법을 제시한다. 그리고 렌즈의 왜곡 중 기하학적인 왜곡을 보정하여 로봇의 위치오차를 줄여 실시간 환경인 축구로봇 시스템에 적용한다. 로봇의 인식과 로봇의 좌표 및 방향을 판별하기 위하여 사용하는 패치는 그 모양에 따라 로봇이 가지게 되는 위치오차와 각도오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 개선한 로봇패치에 따른 로봇의 위치 및 각도 오차를 줄이는 방법을 제안하고 실험을 통하여 이를 검증하였다.

Abstract

This paper proposes a new method about performance improvement of soccer robots system by the revision of lens distortion most commonly occurred in camera and the revision of position and angle error in robot patch for the realization of robot position. Among the lens distortions, we revise geometrical distortion and apply it to soccer robots system for realtime environment. Patch used in the recognition and the distinction for coordination and direction of robot occurs a position and angle error according to the figure of it. In this paper, we suggest the method of reduction for position and angle error of robot by improved patch and verify its propriety through the experiment.

Key Words : Soccer Robots, Lens distortion, Soccer Robot Patch

1. 서 론

다객체 이동로봇의 대표적인 연구 분야로 자리 잡고 있는 축구로봇 시스템은 센서와 몇 개의 시스템을 이용해 단순히 축구를 하는 로봇을 개발하는 마이크로 로봇의 응용분야를 넘어서 현재 다양한 기술

* 주저자 : 금오공과대학 전자공학부 교수
Tel : 054-478-7895, Fax : 054-478-7449
E-mail : jwchoi@kumoh.ac.kr
접수일자 : 2008년 11월 12일
1차심사 : 2008년 11월 14일
심사완료 : 2008년 12월 1일

및 이론과 함께 현대의 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. 불규칙적인 외란과 장애요소들로 인하여 예측이 어려운 환경을 가지고 있기 때문에 변화하는 환경에 시스템을 효과적으로 모델링하기란 쉬운 일이 아니다. 그리고 로봇을 정확하게 제어하기 위해서 복잡한 알고리즘 등의 사용은 시스템의 연산속도를 저하시켜 실시간 제어의 구현을 어렵게 만든다. 따라서 이러한 고속의 동적 환경에서 동작할 수 있는 강인한 로봇 이동 알고리즘의 개발과 영상처리 알고리즘의 개발이 필요하다[1-2].

1996년 처음 시작된 MiroSot(Micro-Robot World Cup Soccer Tournament)[3-7]은 표 1과 같이 150×130[cm]의 넓이에서 3대의 로봇이 협력하는 Small League MiroSot, 220×180[cm]의 넓이에서 5대의 로봇이 협력하는 Middle League MiroSot, 280×220[cm]의 넓이에서 11대의 로봇이 협력하는 Large League MiroSot으로 나눌 수 있다[8-10]. 각각의 경기장의 넓이가 다르므로 VGA급(640×480 [pixel]) 카메라를 사용하면, Small League MiroSot을 연구할 경우 약 4.27[pixel/cm](x좌표)와 3.69[pixel/cm](y좌표)의 정보를 가질 수 있다. 이에 비해 Middle League MiroSot의 경우 경기장 길이가 늘어난 만큼 2.91[pixel/cm](x좌표)와 2.67[pixel/cm](y좌표)의 정보만 가질 수 있다. 그래서 CCD 카메라 렌즈에 의해서 발생하는 렌즈의 기하학적인 왜곡에 의해서 Small League MiroSot보다 Middle League MiroSot에서 더 큰 오차를 발생하게 된다. 그리고 픽셀 정보가 상대적으로 적게 획득되므로 물체에 대한 위치 정확성이 떨어지게 된다. 그래서 렌즈의 왜곡 보정과 로봇의 패치를 변경하여 축구로봇 시스템의 성능을 개선해야 할 필요가 있다.

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

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

표 1. MiroSot 경기장 정보 및 pixel per cm
Table 1. MiroSot playground info. and pixel per cm

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

본 논문에서는 고속 처리를 위해 물체 인식 알고리즘과 로봇 이동 알고리즘을 독립적으로 설계하여 분리하는 방법을 사용했다. 여기서 물체 인식 알고리즘은 렌즈 보정을 위한 알고리즘과 패치의 변경에도 쉽게 시스템을 수정할 수 있는 계층적인 구조를 가지게 했으며, 로봇 이동 알고리즘도 각 행동 제어를 계층적으로 설계했다[1-3, 6]. 이를 이용하여 보다 효과적인 실시간 제어를 구현하고자 한다.

2. 비전처리 및 패치개선

2.1 축구로봇 시스템

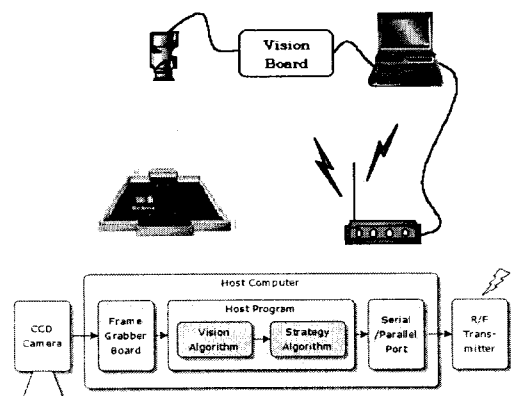


그림 1. 시스템의 구성
Fig. 1. Structure of system

축구로봇 시스템은 Vision system, 5대의 로봇, 무선 주파수(RF) 모듈 그리고 계층적 행동 제어기로 구성되어 있다.

시스템의 간소화 및 처리성능의 향상을 위해 영상 시스템(Vision system)은 독립적인 화상보드를 사용하여 실제 제어기를 처리하는 메인 PC와 분리하는 방식을 취하였다. 시스템의 구성은 크게 영상시스템, 로봇, 제어기 세 부분으로 나눌 수 있다.

2.2 이미지 처리

이미지 처리 시스템은 물체 인식 알고리즘을 포함하여 각 물체의 위치와 각도를 구하는 서브시스템이다. 본 논문에서 사용한 비전 처리 시스템은 CCD카메라로부터 영상신호를 받아 영상의 YUV값을 비교, 각 물체들의 중심좌표를 추출하여 계층적 제어기로 전송한다. 비전 처리 시스템을 구성하기 위해서는 영상의 입력에 해당하는 카메라가 구성되어야 한다. 카메라는 크게 NTSC Camera와 디지털 Camera로 나눌 수 있다.

디지털 Camera는 대부분 1394 신호를 출력하는 카메라를 많이 사용한다. 본 논문에서는 1394 신호를 출력하는 카메라를 사용했으며, 출력 해상도는 최대 780×580[pixel]을 가지며, 최대 해상도에서 30[frame/s]의 이미지를 출력한다. 이 속도는 NTSC Camera의 60[field/s]의 처리 속도에 비하면, 약 1/2의 처리 속도를 가진다고 할 수 있다. 입력되는 카메라 영상은 컴퓨터의 메모리로 입력되지 않고, 일반적으로 영상획득보드(Frame grabber)를 거치게 된다. OpenCV의 등장으로 USB카메라를 이용한 영상 처리 속도가 비약적으로 발전했다. 그러나 아직 전용보드의 속도는 극복하지 못한다. 그래서 본 논문에서는 1394 신호의 영상을 처리할 수 있는 전용 영상 Frame grabber를 사용하였다.

현재의 로봇 축구 시스템의 비전 부분에서는 카메라 렌즈에서 흔히 발견할 수 있는 렌즈계 왜곡에 의한 영상의 품질 저하 현상이 문제가 되고 있다. 이러한 렌즈계의 왜곡은 카메라의 내부와 외부 요소의 영향에 의한 복합적인 현상이다. 따라서 이러한 영상의 품질 저하를 보정하는 것은 정확한 로봇의 위치와 각도를 판단하는데 필수적이다.

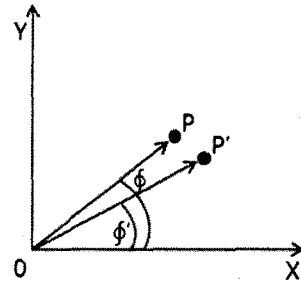


그림 2. 카메라의 오차
Fig. 2. Error of camera

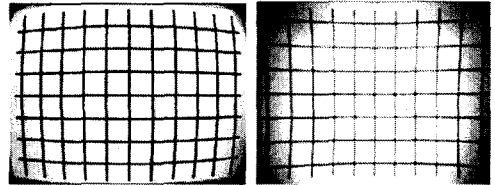


그림 3. Barrel 왜곡과 Pincushion 왜곡
Fig. 3. Barrel and pincushion distortion

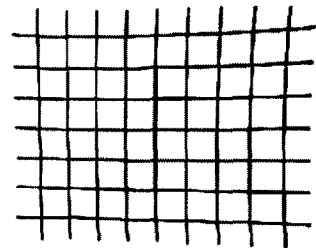


그림 4. Decentering 왜곡
Fig. 4. Decentering distortion

카메라 보정이란 카메라의 내부와 외부의 변수에 의하여 입력되는 영상을 보정하는 것을 일컫는다. 실제의 영상과 카메라를 통해서 보여지는 영상의 관계를 정의하는 것이 하나의 문제가 된다. 이때의 관계는 카메라 모델에 의해 수식화 된다. 이러한 관계를 정의하여 실제의 절대 좌표계에서 입력 영상상의 좌표로 변환하는 식을 정의 하는 것이 카메라 보정의 목적이 된다. 이러한 식에는 카메라의 내부 변수와 외부 변수들이 포함되게 된다. 내부 변수는 카메라의 특성을 나타내는 렌즈 초점거리, 픽셀 크기인자, 영상 중심의 위치, 크기요소, 렌즈 왜곡 계수 등이며 외부 변수는 카메라의 회전각, 위치이동 변수 등으로

정의된다. 하지만 이러한 변수들은 정확한 측정이 어려우므로 몇 개의 기준점으로부터 변수들을 추정하여 카메라 보정을 수행하게 된다. 그림 2는 이러한 내부와 외부 변수에 의해 생긴 오차(P')를 보여준다.

영상에 가장 많은 영향을 주게 되는 왜곡의 형태는 두 가지로 구분할 수 있다. 이는 방사 왜곡(Radial distortion)과 분산 왜곡(Decentering distortion)이다. Radial distortion은 영상의 각 점이 실제의 영상에 의해서 정의되어지는 이상적인 위치로부터 그 점의 안쪽 혹은 바깥쪽으로 변위를 일으키는 것을 말한다. 이는 방사형으로 나타나게 되며 안쪽으로 변위를 일으키는 것을 Barrel Distortion이라 하며, 바깥쪽으로 변위를 일으키게 되는 것을 Pincushion Distortion이라 한다. 또한 이들은 렌즈의 광학축에 대하여 대칭이다. 그림 3에서 이러한 왜곡의 영상을 보여주고 있다. 현재의 시스템에서 나타나게 되는 왜곡은 Barrel distortion임을 알 수 있다.

Decentering distortion은 광학축에 대하여 렌즈 성분이 직교하지 않음으로 인해 발생하는 것으로 렌즈 제작에 문제가 있을 때 나타난다. 이것은 방사와 접선성분을 함께 가지고 있다.

위에서 제시한 두 가지의 왜곡 중 모든 카메라에 나타나게 되는 것은 Radial distortion이다. 따라서 본 논문에서는 Radial distortion만을 다루었다.

$$x_u = x_d(1 + kr_d) \tag{1}$$

$$y_u = y_d(1 + kr_d) \tag{2}$$

여기서(x_d, y_d)는 왜곡된 영상에서의 좌표를 나타내며, (x_u, y_u)는 실제의 영상에서의 좌표를 나타낸다. 그리고 r_d 는 원점에서 (x_d, y_d)까지의 거리, k 는 왜곡 계수이다.

식 (1)과 식 (2)를 기초로 하여 실제 영상에 대한 원점에서 (x_u, y_u)까지의 거리 r_u 는 아래의 식 3과 같이 표현 할 수 있다.

$$r_u = r_d \times (1 + kr_d) \tag{3}$$

식 (3)에서 r_u 를 구하기 위해서 왜곡계수 k 를 먼저 구하여야 하므로 가로 16개, 세로 12개의 정사각

형의 칸을 가진 격자무늬를 제작하여 각각의 교차점을 추출하여 실제의 점과 왜곡된 영상에서의 점과의 차이를 조사하였다. 그 결과 2차식으로 모델링 되는 왜곡변수 k 에 대한 식 (4)를 구하였다.

$$k = \frac{1}{100000} \left(-1150 \frac{1}{r_d^2} - 350000 \frac{1}{r_d} + 100 \right) \tag{4}$$

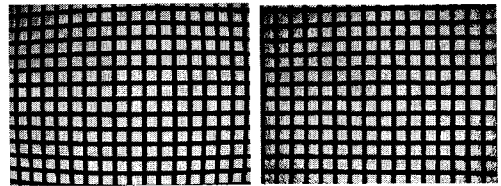


그림 5. 보정전과 보정후의 영상
Fig. 5. Image before and after calibration

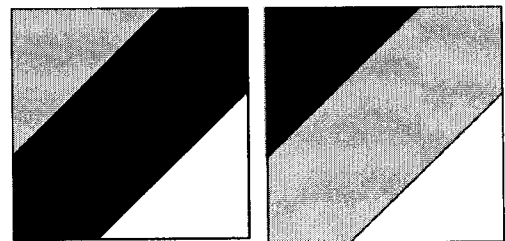


그림 6. 기존의 패치
Fig. 6. Older patch

이렇게 계산된 k 를 식 (3)에 대입하여 실제의 영상에서의 원점에서 임의의 점까지의 거리인 r_u 를 얻게 된다. 이러한 과정을 통하여 구현한 왜곡 보정 알고리즘의 결과는 위의 그림 5에서 확인할 수 있다.

2.3 패치의 개선

그림 6에서 보는 패치는 로봇축구를 개발하는 대부분의 팀들이 사용하고 있는 패치의 형태이다.

이 패치는 중앙의 대각선 모양의 팀 패치를 통해 비전처리에서 우리 팀의 물체를 찾아내는데 사용되며, 최소자승법을 통해 물체의 각도도 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 무게중심법에 의해 각 물체별로 중심좌표를 쉽게 구할 수 있다. 하지만 이 패치의 단점은 검색해야할 물체가 증가할수록 대각선 모양의 컬러 외에 삼각형 모양의 패치가 있는데, 이 패치의 개

수가 선형적으로 증가해야 한다. 즉, 실험하려는 환경인 Middle League MiroSot의 경우는 각각 5대의 로봇이 사용된다. 그러면 기존의 패치를 사용할 경우는 공, 우리 팀의 인식 컬러, 각 물체별 인식 컬러, 상대 팀의 인식 컬러를 검색해야 하므로, 비전처리를 위해서 검색해야 할 물체의 개수는 8개가 된다. 검색해야 할 컬러의 수가 증가한다는 것은 각 컬러 간의 간섭이 발생할 확률이 높아진다고도 할 수 있다[16].

이러한 문제점을 줄여서 효과적인 컬러 패치를 고안하기 위해서는 영상평면에서 많은 픽셀 수를 차지해야 하며, 적은 컬러수로 많은 로봇을 구분할 수 있어야 한다. 그리고 로봇의 번호가 잘 구분되어야 하며, 로봇이 인접했을 경우 잘 구분할 수 있어야 한다 [17]. 본 논문에서 비전처리의 성능을 개선하고자 고안한 패치는 그림 7과 같다. 비전처리를 위해서, 공 컬러, 상대 팀의 컬러, 우리 팀의 컬러, 각도를 구하기 위해 사용되는 컬러, 우리 팀의 로봇번호를 인식

하기 위해 사용되는 컬러, 이렇게 총 5개의 컬러만으로 비전처리가 가능하게 된다.

그림 7에서 보는 바와 같이 중앙의 팀 컬러를 통해 각 물체의 중심점을 찾을 수 있으며, 그림 위치상에서 좌측 상단 컬러의 중심을 구해서 물체의 중심점과 연결하면 로봇의 각도를 구할 수 있게 된다. 그리고 왼쪽 아래에 위치한 로봇번호를 판별하기 위한 색깔은 중심점의 위치에 따라서 로봇의 번호를 판별할 수 있다. 그림 8에서 왼쪽 아래의 색의 위치에 따라서 1번 로봇부터 5번 로봇까지 인식할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

렌즈에 의한 왜곡 보정을 적용하기 전과 보정 후의 위치오차 보정에 대한 실험 결과는 표 2와 같다. 실험 결과 영상의 모든 영역에서 보정 전에 비하여 보정 후에 오차가 개선되었다는 것을 알 수 있다. 이로서 보다 정확한 로봇의 위치 추출이 가능해졌으며 축구로봇 시스템에서 더욱 정밀한 로봇의 제어가 가능해졌다.

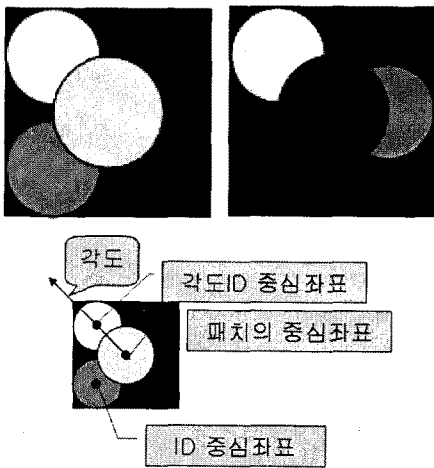


그림 7. 개선된 패치
Fig. 7. Improved patch

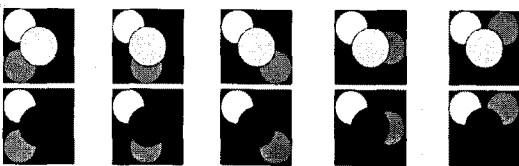


그림 8. 개선된 패치의 종류
Fig. 8. A type of Improved patch

표 2. 보정전후의 위치오차
Table 2. Position error of before and after calibration

실측 (cm)		무보정(cm)		오차		보정(cm)		오차	
X	Y	Xd	Yd	x	y	Xu	Yu	x	y
50.	40.	51.3	42.5	1.3	2.5	50.6	40.1	0.6	0.1
100.	80.	101.5	82.8	1.5	2.8	101.2	82.0	1.2	2.0
150.	125.	151.8	125.8	1.8	0.8	151.5	125.4	1.5	0.4
190.	140.	191.9	143.4	1.9	3.4	190.5	142.1	0.5	2.1
220.	170.	219.2	168.2	0.8	1.8	220.5	170.5	0.5	0.5

표 3. 패치의 성능 비교
Table 3. Compare older patch with new patch

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

로봇의 컬러 패치를 개선함으로 비전 처리 시스템에서의 성능을 평가했다. 실험 결과는 표 3과 같다. 기존 패치를 사용할 때의 위치오차는 ± 5 [pixel]이었

으나 개선한 패치를 사용하여 $\pm 2[\text{pixel}]$ 로 성능이 개선되었다. 그리고 각도오차의 경우에도 $\pm 7[\text{degree}]$ 에서 개선한 패치를 사용하여 $\pm 2.5[\text{degree}]$ 로 정밀도가 상당히 개선되었다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

다객체 이동로봇의 대표적인 연구 분야로 자리 잡고 있는 축구로봇 시스템은 11개(로봇 10대, 공 1개)의 객체가 매우 빠르고 불규칙적으로 변화하는 실시간 시스템이므로 각 계층별로 설계된 제어기나 서브시스템이 고속 처리 능력과 고 신뢰성을 가져야 한다. 전체 시스템의 고속 처리를 위해 물체 인식 알고리즘과 로봇 이동 알고리즘을 독립적으로 설계하여 분리하는 방법을 사용했다. 여기서 물체 인식 알고리즘을 렌즈 보정을 위한 알고리즘과 패치의 변경에도 쉽게 시스템을 수정할 수 있는 계층적인 구조를 가지게 했으며, 로봇 이동 알고리즘도 각 행동 제어를 계층적으로 설계했다.

본 논문에서는 축구 로봇 시스템의 특성을 파악하고 이에 맞게 렌즈의 왜곡을 보정하고, 보다 정확한 로봇의 상태를 파악하기 위해 새로운 패치를 제안했다. 제안한 방법을 통하여 위치오차와 각도오차를 줄여서 정확한 로봇 제어가 가능해졌다. 비전 처리 시스템에서는 위치오차와 각도오차가 줄었지만 전체적인 이미지 처리 시간은 종전의 4[ms]에서 12[ms]로 증가하여 시스템 부하가 증가했지만 전체 시스템의 동작에는 문제가 되지 않았다. 차후 시스템의 부하를 줄이기 위하여 이미지 처리의 고속화에 대한 연구가 필요하다.

References

[1] 심현식, 정명진, 김홍수, 김중환, “비전 기반 축구 로봇 시스템을 위한 혼합형 제어 구조의 역할 계층 설계”, 제 1회 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 다개체 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, 김동환, 김용재, 김중환, “축구로봇을 위한 제어기 설계”, 한국자동제어 학술회의 논문집, 1권, pp. 612-616, 1998.
 [8] http://www.krso.org/championship/soccer/mirosot_small_rule.html
 [9] http://www.krso.org/championship/soccer/mirosot_middle_rule.html
 [10] http://www.krso.org/championship/soccer/mirosot_large_rule.html
 [11] 신동민, 강민구, 전성제, 김남근, “MASKAROT의 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(Wonpil Yu), 정연구(Yunkoo Chung), “저가형 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. 4.
 [15] 유원필, 이형구, 정연구, “내장형 렌즈 왜곡 보정 알고리즘 구현을 위한 이미지 워핑 방법”, 제18회 한국정보처리학회 추계학술대회 논문집, 제9권 제2호, pp. 673-676, 2002.
 [16] 김형중, 장재완, 김상준, “축구로봇을 위한 비전처리”, 2000 로봇축구 공학 워크샵 논문집, FIRA, pp. 147-158, 2000.
 [17] 이동훈, “MIROSOT의 영상 시스템을 위한 새로운 컬러 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.

◇ 저자소개 ◇

최정원 (崔丁元)

1971년 5월 6일생. 1995년 영남대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003~2006년 (주) STX중공업, 연구소 과장. 현재 금오공과대학교 전자공학부 교수.

김덕현 (金德顯)

1966년 7월 10일생. 1992년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1996년 창원대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991~1996년 (주)한화기계 자동화사업부. 1997년~현재 건동대학교 전기공학과 교수.