

웹캠을 이용한 골프공 인식 및 위치추정 시스템

Jiaqi Zhu* · Jiang Chong* · 김강철**

The Recognition and Distance Estimation of a Golf Ball using a WebCam

Jiaqi Zhu* · Jiang Chong* · Kang-Chul Kim**

요 약

골프 연습장에서 골프공 수거 시에 인간보다는 로봇이 사고의 염려가 없고 경제적이어서 골프공 수거 로봇과 골프공 인식 및 위치추정 시스템 개발의 요구가 증가되고 있다. 본 논문에서는 실내 골프 연습장에서 골프공을 수거하는 로봇이 골프공을 인식하고, 위치를 추정할 수 있는 영상처리 알고리즘과 시스템을 OpenCV를 사용하여 개발하였다. 30-180cm 거리에 위치하는 골프공을 대상으로 실험을 수행하였으며, 120cm 이내에서는 87% 이상의 높은 인식률을 얻었으며, 골프공은 실제 거리의 85% 이내에 위치하였다.

ABSTRACT

A golf ball collecting robot in a golf ball driving range has been recently required because it is safer and more economic than a human being. In this paper, the golf ball recognition and distance estimation system based on a neural network and OpenCV is developed for the robot. The simulation results show that the recognition ratio is over 87% for the distance of less than 120cm and accurate rate for distance estimation is over 85% for golf balls in 30-180cm from a webcam.

키워드

Invariant Moment, OpenCV, Pattern Recognition, Distance Estimation
불변 모멘트, OpenCV, 패턴 인식, 거리 예측

1. 서 론

IT 기술과 기계공학의 발달로 가까운 미래에 인간의 지능과 비슷한 능력을 보유한 로봇의 실용화가 가능해질 것이다. 현재는 세밀하고 정교함을 요구하는 임무나 힘들고 어려운 3D 업종에서 인간의 업무를 대신할 수 있는 로봇의 개발에 대한 요구가 증대하고 있다. 특히 위험하거나 많은 노동력을 필요로 하는 산업 현장에서는 경제적이고, 사고의 위험으로부터 부담이 적은 로봇의 수요가 증가하고 있다[1-3].

골프는 현재 우리나라 국민의 가장 대중성 있는 스포츠가 되고 있으며, 동호인들이 꾸준히 늘고 있는 추세이다. 그러나 현실적으로 비싼 그린피와 도심에서 멀리 떨어져 긴 이동 시간 때문에 많은 동호인들이 골프 연습장과 스크린 골프장에서 운동을 하고 있다. 골프 연습장에서는 좁은 공간에서 단시간에 많은 골프공이 사용되므로 골프공을 수거하는 데 소요되는 시간과 비용이 골프연습장 운영의 대부분을 차지하고 있다. 그리고 골프공을 수거하는 과정에서 위험요소가 있어 사람보다는 로봇이 사고의 염려가 없으며, 경제

* 전남대학교 대학원 컴퓨터공학과(zhujiaqi@live.com)

** 교신저자(corresponding author) : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(kkc@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2013. 10. 31

심사(수정)일자 : 2013. 11. 25

게재확정일자 : 2013. 12. 16

적이어서 골프공 수거 로봇과 경제적인 골프공 인식 및 위치추적 시스템의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 실내 골프 연습장에서 골프공을 수거하는 로봇이 골프공을 인식하고, 위치를 추정할 수 있는 영상처리 알고리즘과 시스템을 개발하여, 영상처리 공개 라이브러리인 OpenCV를 사용하여 시스템을 구현한다. 개발된 시스템은 골프공이 가지는 색깔, 거리에 따른 골프공의 크기, 골프공의 모양 등의 특징을 추출하여 골프공을 인식하고, 로봇의 위치에서 골프공까지의 거리를 추정한다. 2장에서는 국내외에서 개발되고 있는 골프공 수거 로봇 개발 동향을 기술하고, 3장에서는 골프공을 인식하고 위치를 추정하는 영상처리 알고리즘과 프로그램 개발과정을 기술한다. 4장에서는 골프공의 위치에 따른 인식과 위치추정 실험결과를 설명하고, 5장에서 결론을 기술한다.

II. 국내외 골프공 수거 로봇 기술개발 현황

집적회로 설계기술의 발전으로 마이크로프로세서가 많은 데이터 처리 능력이 필요한 패턴인식에도 적용되고 있으며, 이러한 기술을 바탕으로 최근에는 공을 정확하게 인식하고 추적하는 로봇이 개발되고 있다 [4-6].

(주)레드윈에서는 양안식 카메라를 이용한 골프공 인식 및 자율 수거 알고리즘 개발하였다[7]. RGB 칼라공간은 영상의 전체적인 밝기 값의 변화에 매우 민감한 반응을 보이기 때문에 YCbCr 칼라공간으로 변환하여 영역분리를 수행한다. 적절한 임계값을 적용하여 영상을 이진화하고, 이진화된 결과를 하나의 동일한 영역으로 할당하기 위해 경계추적에 의한 레이블링 알고리즘을 사용한다. 각 영역에 레이블이 할당되면 골프공 영역을 추출하고, 추출한 골프공 영역에 속하는 화소의 중심점을 구한다. 그리고 골프공으로 판명된 영역의 좌표를 모두 더한 후 픽셀수로 나누어 무게 중심을 구하여 중심점을 찾을 수 있다. 그러나 이러한 방법은 골프공의 특징을 판별하기 어려워 정확한 골프공의 인식이 어렵고, 골프공이 군집되어 있는 곳의 위치를 판별하게 되어 골프공이 흩어져 있는 경우에 위치를 판별하는 것이 어려운 단점을 가지고 있다.

벨기에의 Belrobotics 사에서 개발한 골프공 자동 회수 로봇 시스템 Ballpicker는 상업화에 성공한 모델로 현재 유럽권을 비롯한 캐나다에 수출이 진행 중이다[8]. 초음파 센서를 이용한 장애물 회피를 통하여 필드를 주행하며 골프공 흡입구를 통하여 필드상의 골프공을 회수하는 구조를 가지고 있다. 상용화 중이지만 골프공의 인식과 위치를 판별하는 방법은 알려진 것이 없다.

전북대학교에서 개발한 골프공 자동 회수기 시스템은 기존 골프 연습장에서 사용되던 골프공 회수기와 달리 블루투스 통신을 기반으로 실내에서 조종을 통한 골프공 회수 구조를 가지고 있다[9]. 자율 주행 및 자율 골프공 회수에 대한 기능이 없으며, 로봇 조작을 위한 인력이 필요하므로 기존 골프 연습장의 골프공 회수기가 갖는 동일한 문제점 내포하고 있다.

따라서 골프 연습장이 꾸준히 증가하고 있는 한국에서는 골프 연습장에서 골프공 수거 로봇에 사용이 가능한 골프공 인식 및 위치 판별 시스템의 개발이 필요하다.

III. 골프공 인식 및 위치 추정 시스템

본 연구에서는 골프 연습장에서 사용가능한 골프공 수거 로봇을 위한 시스템을 개발한다. 골프 연습장에서 흰색의 골프공은 주위의 색생과 대조되므로 색분포를 기반으로 높은 채도 영역을 사용하여 카메라로부터 대상 영상을 획득하고, 수거로봇의 방향에 대한 각도를 입력받는다 그리고 획득한 영상에 대해서 골프공 가능성이 있는 밝은 영역을 추출하여 추출된 객체들에 대해서 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 영상에 대해서 엣지를 추출하여 모멘트를 계산하고 또 대상 영상을 레이블링 한다. 그리고 크기와 비율 등의 특징 값을 측정하고, 인공신경망을 이용하여 학습모델을 구성하고 화면의 영상으로부터 골프공의 유무를 판별한다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 전체 영상처리 알고리즘을 보여준다.

영상 내에서 그레이 스케일 값에 해당하는 픽셀의 개수를 함수형태로 나타내는 히스토그램은 색 정보를 이용해 물체를 인식하는 방법으로 계산이 쉽고 물체의 회전과 작은 이동에 민감하지 않다는 장점이 있다

[10]. 그러나 빛의 밝기와 영상 물체의 크기에 민감하고 전혀 다른 영상도 같은 색 분포를 가질 수 있다는 단점이 있어 실외 환경에서 적용이 어렵다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 색 분포를 기반으로 객체를 추출하고 모멘트를 이용하여 골프공을 분류하는 방법을 사용한다.

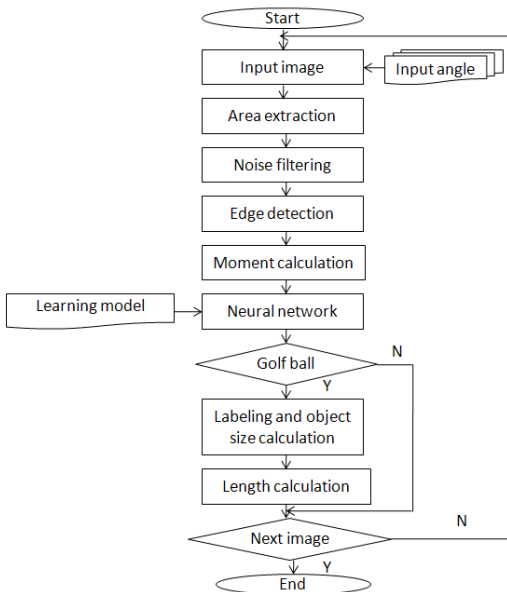


그림 1. 골프공 인식 알고리즘
Fig. 1 The recognition algorithm of a golf ball

RGB 컬러모델은 각 색을 혼합할수록 색상이 밝아지는 특징이 있으므로 R, G, B를 같은 비율로 혼합할수록 가장 밝은 색이 된다. 실내골프장 또는 실외골프장의 특성을 이용하여 RGB 컬러공간의 높은 색상 값을 가진 영역을 추출하는 방법을 적용한다. 골프 연습장에서 골프공의 색상이 주위와 쉽게 구별되는 특성을 고려하여 높은 명암을 가진 영역을 선택하도록 B 영역의 값이 200 이상인 영역만을 선택한다. RGB 속성에서 어느 한 속성이라도 높게 되면 전체적인 밝기가 올라가는 특징을 이용하여 주어진 조건하에서 대상이 되는 영역이 모두 추출되어야 한다.

RGB 컬러모델에서 추출된 결과로부터 모폴로지 변환(morphological transformation)의 닫기 연산을 적용하여 추출한 영역에 포함된 잡음을 제거한다. 잡음 제거에서 얻어진 바이너리 영상에 대해 영역을 구분

하고 같은 영역에 대해서는 병합하는 레이블링을 실시한다. 이때 레이블링된 영역 중 면적의 크기가 일정 크기 이하인 영역은 제외한다.

객체의 모양을 기술하는 방법에는 객체의 외곽선 정보를 이용하여 모양을 기술하는 푸리에 기술자와 객체의 모든 영역 정보를 이용하여 모양을 기술하는 불변 모멘트 방법이 있다.

본 논문에서는 골프공의 모양을 특징짓는 방법으로 후의 7 불변 모트[11]와 구의 가로와 세로의 비율을 사용한다. 객체로부터 추출된 7가지 후의 불변모멘트 결과에 의해서 골프공의 형태를 판별하게 된다. 골프공 판별에 가장 중요한 요소로 모멘트 속성을 사용하고, 보조적으로 판별에 도움을 줄 요소로 골프공이 원형에 가까운 형태로 보이는 것을 이용하여 획득한 객체의 가로와 세로의 비율을 학습에 보조적으로 사용한다.

7개의 모멘트 속성과 1개의 객체비율 값을 이용하여 8개의 입력과 9개의 히든 노드, 한 개의 출력력을 갖는 OpenCV의 다층 퍼셉트론 신경망을 사용하고[12], 역전파 알고리즘을 이용하여 학습한다.

V. 시스템 구현 및 실험 결과

본 연구에서 개발된 시스템은 골프 연습장에서 골프공 수거용으로 사용되는 로봇에 장착되어 사용될 예정이므로 인식율과 거리 측정의 정확성 보다는 가격 경쟁력이 있는 제품의 개발이 중요하다. 그러므로 로봇의 단가를 낮추기 위하여 해상도 640x480, 8비트 RGB 작동모드, 30 Fps인 저가의 웹캠을 사용한다.

그림 2 (a)와 같은 입력 영상에서 하얀색 영역을 추출할 수 있도록 B영역이 200 이상인 영역을 추출한다. 추출된 바이너리 영역은 색 수준에 의해 추출되기 때문에 잡음 영역이 많이 포함되어 있으므로 잡음영역을 제거하기 위해서 모폴로지 열기 연산을 적용한다. 모폴로지 잡음제거로 얻어진 바이너리 영상에 대해 영역을 구분하고 같은 영역에 대해 아이디를 병합하는 레이블링을 실시한다. 그림 2 (b)와 같이 이진영상 객체에 대해서 하나씩 라벨을 설정하고 동일한 객체에 대해서 서로 다른 라벨을 병합하여 그림 2 (c)와 같이 레이블링 영상을 얻는다. 이때 레이블링된 영역 중에서 면적이 일정 크기 이하인 영역은 제외한다.

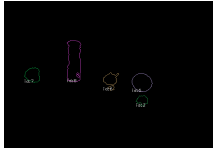
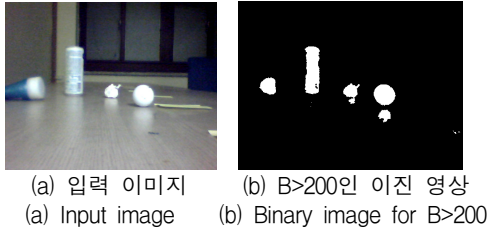


그림 2. 입력, 이진영상과 객체추출 영상
Fig. 2 Input, binary image and object extraction image

학습을 위하여 캠으로부터 입력받는 영상에 대해 그림 2 (c)에서와 같이 임의로 부여된 id번호를 바탕으로 거리 2m 이내에서 인식되는 객체 중에서 골프공인 것에 대해 별도로 마킹하고, 인식되는 모든 객체의 특징정보를 파일로 출력을 하는 방식으로 자료를 수집하였다.

본 연구에서는 한 프레임 내에 다양한 객체를 등장하게 하고, 2m 전후에 있는 골프공 객체와 골프공이 아닌 객체를 각각 500개씩 수집하여 휴의 불변모멘트 H1~H7을 구하였다. 그림 3은 불변모멘트 H1~H7의 크기를 보여준다.

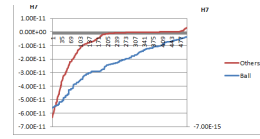
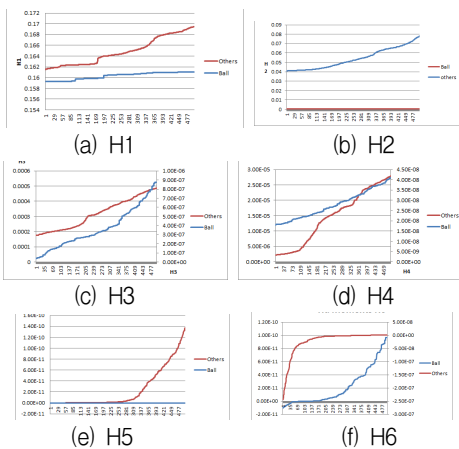


그림 3. 골프공과 다른 객체에 대한 휴의 불변모멘트
Fig. 3 Hu's invariant moments for golfball and other objects

그림 3 (a)-(g)까지의 그래프를 보면 몇몇 모멘트 수치는 비교값과의 차이가 아주 커서 그래프로 나타낼 수가 없었고, (c), (d), (f), (g)는 각각 골프공에 대한 수치를 보조축에 나타내었다. 골프공에 해당하는 불변 모멘트 값이 다른 객체와 비교하여 뚜렷하게 차이가 난다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 휴의 불변 모멘트 값을 골프공을 인식하는 구체의 특성으로 사용할 수 있다.

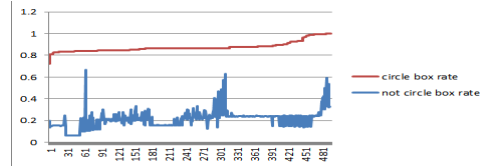


그림 4. 골프공과 다른 객체의 가로와 세로의 비율의 분포
Fig. 4 The distribution for the ratio of vertical and horizontal length

본 논문에서는 불변모멘트 외에 객체의 세로와 가로 비율을 골프공과 다른 객체를 구분하는 특징의 하나로 사용하여 다층 퍼셉트론의 입력으로 사용한다. 골프 연습장에서 커피캔, 화장지 등을 흔히 볼 수 있으며 이들은 대부분 구형이 아니므로 가로와 세로의 비율이 같지 않다. 그러나 골프공은 구형이므로 가로와 세로의 비율이 거의 같아 다른 객체들과 구별되는 요소의 하나로 사용될 수 있다. 그림 4는 골프공과 골프공이 아닌 객체 각각 500개에 대한 가로 세로 비율에 대한 분포도를 보여준다. 골프공의 비율은 대부분 0.8~1 사이에 존재하고, 다른 객체는 0.1~0.7 사이에 존재하여 골프공과 구별된다.

표 1. 샘플 테스트와 학습 모델 테스트 결과
Table 1. Test results for sample and learning model

	Learning data	Test data	Results for Test data	
			Golf(%)	Other object(%)
Golfball	1987	664	656(98.80%)	8(1.2%)
Other objects	2980	993	23(2.32%)	970(97.68%)
Total	4967	1657	1626(98.13%)	31(1.87%)

본 논문에서 훈련 집합에 사용한 총 데이터의 숫자가 4967 개이고, 그 중에서 골프공이 1987, 다른 객체가 2980 개다. 학습한 모델의 검증을 위해 테스트 데이터는 1657 개로, 골프공이 663, 다른 객체는 993 개이다. 테스트 데이터에 대한 인식 결과는 표 1과 같은 혼동행렬(confusion matrix)을 얻었으며, 626(98.13%)개가 성공하였고, 31개(1.87%)를 실패하였다. 골프공이 아닌데 골프공이라고 분류한 데이터의 수는 23 개고, 골프공인데 골프공이 아니라고 분류한 데이터 수는 8개로 나타났다. 이는 인공지능경망 결과값에 대해 임계값을 0.8로 놓았을 때의 결과이다.

표 2. 거리별 골프공 인식률
Table 2. Recognition ratio as distance

Distance	30cm	60cm	90cm	120cm	150cm	180cm	Total
Num.	30	30	30	30	30	30	180
Success	25	30	24	22	16	10	127
Fail	5	0	6	8	14	20	53
Success ratio	83%	100%	80%	73%	53%	33%	70%

표 2는 본 연구에서 개발한 시스템으로 30cm 부터 180cm까지 30cm 간격으로 골프공을 배치하여 거리별 인식률을 계산한 것이다. 30 - 90cm 이내에서 성공률이 높으며 거리가 멀어질수록 성공률이 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 일반적으로 웹캠의 정밀도가 거리가 멀어지면 급속하게 떨어져서 나타나는 현상으로 추정된다.

객체의 크기 정보를 거리 추정의 자료로 활용한다. 각 거리에 따라서 객체가 어떤 크기를 갖게 되는지에 대한 정보를 누적하여 골프공 크기와 거리에 대한 그래프를 작성하였다.

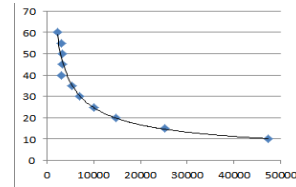


그림 5. 객체의 크기에 대한 거리 측정
Fig. 5 Distance estimation as object size

그림 5는 객체의 크기에 대하여 거리를 나타낸 것으로 curve fitting 방법을 사용하여 거리를 예측하는 식 (1)을 얻었다. 골프공을 인식한 후 식 (1)을 사용하여 로봇의 현재 위치에서 골프공까지의 거리를 계산하였다.

$$y = 4647.9 x^{-0.568} \tag{1}$$

표 3. 거리 추정 실험 결과

Table 3. Simulation results for distance estimation

	30cm	60cm	90cm	120cm	150cm	180cm
Average(cm)	22.27	54.05	101.25	137.46	164.03	198.13
Error(cm)	7.73	5.95	-11.25	-17.46	-14.03	-18.13
Ratio(%)	74%	90%	87%	85%	91%	90%

표 3은 골프공이 인식된 후 객체 크기를 사용하여 식 (1)로부터 거리를 계산한 결과를 보여준다. 평균 85% 이상의 정밀도를 나타내었고, 이 결과는 골프 연습장에서 골프공 수거에 충분하다. 그리고 이 방법은 연산시간을 줄일 수 있어 실시간으로 거리 측정이 가능하고, 정밀도가 낮은 저가의 웹캠을 사용할 수 있어 골프공 수거로봇의 단가를 낮출 수 있다. 골프공의 좌표가 필요할 경우는 로봇의 현재 위치에서 원점을 중심으로 각도를 구할 수 있고, 거리를 사용하여 좌표를 계산할 수 있다.

그림 6은 본 논문에서 구현한 시스템을 사용하여 입력 프레임에 포함된 골프공의 인식과 거리 계산 결과를 보여준다. 골프공과 비슷한 하얀색으로 뭉쳐진 화장지, 하얀색 캔, 하얀색 플라스틱 뚜껑 등은 제외하고 골프공만을 인식하였으며, 거리가 51cm 떨어져 있음을 보여준다.



그림 6. 골프공 인식 및 거리 계산

Fig. 6 Simulation result for a golf ball recognition and distance estimation

VI. 결 론

본 연구에서는 골프공 수거용 로봇에서 골프공을 인식하고 거리를 측정하는 시스템을 OpenCV를 사용하여 개발하였다. 개발된 시스템은 골프공의 색깔, 위치, 크기, 모양 등의 특징을 추출하여 골프공을 인식하고, 로봇의 위치에서 골프공까지의 거리를 추정한다. 30-180cm 거리에 위치하는 골프공을 대상으로 실험을 수행하였으며, 90cm 이내에서는 높은 인식률을 얻었다. 그리고 골프공은 실제 거리의 평균 85% 이내에 위치하였다. 그러나 카메라의 해상도가 낮아 거리가 멀어짐에 따라 인식률이 감소하는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] Jong-hee Lee, Jin-whan Kim, "Recognition of a New Car Plate using Color Information and Error Back-propagation Neural Network Algorithms", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 5, pp. 471-476, 2010.

[2] Kwang-baek Kim, Young-woon Woo, "Content-based Image Retrieval Using HSI Color Space and Neural Networks", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 152-157, 2010.

[3] Dong-Jin Seo, Sung-Woo Noh, Nak-Yong Ko, "Moving Object Following Control for Diffe-

rential Drive Robot Based on Two Distance", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 765-774, 2011.

[4] David Budden, Shannon Fenn, Josiah Walker and Alexandre Mendes, "A Novel Approach to Ball Detection for Humanoid Robot Soccer", AI2012, LNCS 7691, pp. 827-838, 2012.

[5] Daniel A. Martins, Ant´onio J. R. Neves and Armando J. Pinho "Real-time generic ball recognition in RoboCup domain", Proc. of the 3rd International Workshop on Intelligent Robotics, IROBOT, pp. 37-48, 2008.

[6] Sara Mitri, Simone Frintrop, Kai Perv´olz, Hartmut Surmann "Robust Object Detection at Regions of Interest with an Application in Ball Recognition" Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 126-127, Barcelona, Spain, April. 2005.

[7] RedOne, "Development of a platform for a Golf ball Collecting Robot", Final report in Technology Development for Regional Industry, 2013. 3.

[8] Belrobotics, <http://www.belrobotics.com/en/products/ballpicker>

[9] 2008 Industry-University Collaboration Expo, www.uicexpo.org.

[10] O Il Seok "Pattern Recognition", Kyobomongo, 2008.

[11] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods., "Digital image processing", 3rd ed., Prentice Hall, 2010.

[12] Gary Rost Bradski, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media; 1st edition, 2008.

저자 소개



Zhu Jiaqi

2008년~2012년 Beijing Institute of Petrochemical Technology 졸업
2012~현재 전남대학교 대학원 컴퓨터공학과 재학

※관심분야 : 패턴인식, NoC, 임베디드시스템



Jiang Chong

2009년~2013년 Beijing Institute of Petrochemical Technology 졸업

2013년~현재 전남대학교 대학원 컴퓨터공학과 재학

※ 관심분야 : NoC, 임베디드시스템



김강철(Kang-Chul Kim)

1981년 서강대학교 전자공학과 학사

1983년 서강대학교 전자공학과 석사

1996년 경상대학교 전자공학과 박사

현재 전남대학교 전기전자통신컴

퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : 임베디드시스템, NoC, 패턴인식

