

스테레오 비전 센서를 이용한 실내 모바일 로봇 충돌 회피

권기현¹, 남시병^{1*}, 이세현¹
¹강원대학교 전자정보통신공학과

Collision Avoidance for Indoor Mobile Robotics using Stereo Vision Sensor

Ki-Hyeon Kwon¹, Si-Byung Nam^{1*} and Se-Hun Lee¹

¹Dept of Electronic, Information & Communication Eng., Kangwon National University

요 약 본 연구에서는 스테레오비전 센서의 거리 정보와 컬러이미지를 합성하여 일정 거리 안에 있는 장애물을 탐색하는 방법을 제시하였다. 스테레오 비전 센서로부터 취득한 깊이이미지(depth image)를 이용하여 거리 정보를 구하고 컬러 이미지와의 합성을 통해 모바일로봇 이동에 방해되는 장애물을 검출하였다. 검출된 장애물 정보는 모바일 로봇에 송신되어 무인이동장치로써 지역을 탐색하게 하여 깊이이미지 응용에 적용가능성을 평가하였다. 스테레오 비전 센서를 이용하는 무인이동장치의 성능을 평가하기 위해 장애물간의 거리에 대한 성능 평가를 하고 컬러이미지, 깊이 이미지 그리고 합성이미지 유형에 따른 성능과 취득된 이미지 프레임의 수에 따른 성능도 살펴보았다. 처리 결과 깊이 이미지에 비해 합성된 이미지가 개선된 성능을 보였다.

Abstract We detect the obstacle for the UGV(unmanned ground vehicle) from the compound image which is generated by stereo vision sensor masking the depth image and color image. Stereo vision sensor can gathers the distance information by stereo camera. The obstacle information from the depth compound image can be send to mobile robot and the robot can localize the indoor area. And, we test the performance of the mobile robot in terms of distance between the obstacle and the robot's position and also test the color, depth and compound image respectively. Moreover, we test the performance in terms of number of frame per second which is processed by operating machine. From the result, compound image shows the improved performance in distance and number of frames.

Key Words : Stereo Vision, Depth Image, UGV

1. 서론

최근 무인이동장치에 대한 연구가 여러 분야의 산업 현장에서 주목 받고 있다. 무인이동장치에서 가장 중요한 기능은 장애물 정보를 확보하여 이동 경로를 탐색하는 능력이며 불안정한 상태에서 벗어나기 위해 지속적인 피드백 또한 중요 고려사항이다.

이러한 기능을 제공하기 위해 레이저, 초음파, 자외선, 영상 등 다양한 센서[1-3]들을 사용한 연구가 진행되어 왔으며 [4]에서 스테레오 비전 카메라인 마이크로소프트

Kinect[5] 센서가 이동장치에 적용 가능함을 보였다.

Kinect 센서는 적외선 레이저 방출기, 2개의 적외선카메라 그리고 RGB카메라를 가지고 있어서 깊이 이미지와 컬러 이미지를 초당 30프레임의 속도로 취득할 수 있다. 스테레오 비전 카메라를 사용하는 장점은 별도의 거리 측정 센서 없이도 물체와의 깊이 정보를 제공할 수 있다는 데 있다.

본 연구에서는 Kinect 센서를 사용하여 깊이 이미지와 컬러 이미지를 취득하고 합성된 깊이 이미지 기반으로 장애물 정보를 획득하여 충돌을 회피하는 방법을 제시한다.

*Corresponding Author : Si-Byung Nam(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-570-6407 email: sbnam@kangwon.ac.kr

Received March 11, 2013

Revised (1st March 29, 2013 2nd April 17, 2013)

Accepted May 9, 2013

영상에서 장애물 정보 획득은 일반적으로 다음과 같은 순서를 따른다.

1) 라벨링(labeling) 또는 그룹핑(grouping)을 통해 물체들을 원하는 정보 단위로 분리한다. 2) 이 정보를 바탕으로 윤곽(contour, edge)을 얻어낸다. 3) 얻어낸 윤곽을 바탕으로 물체의 정보를 얻어낸다.

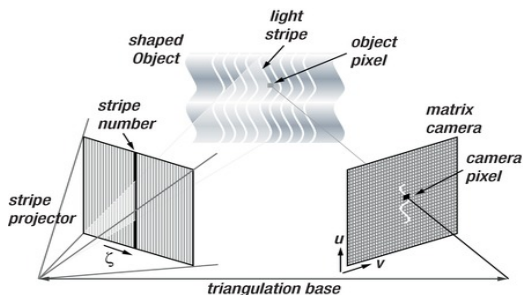
본 논문의 구성은 2장에서 깊이 이미지 검출에 대해 살펴보고, 3장에서 알고리즘을 소개하며, 4장에서는 결과 및 평가를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 깊이 이미지 및 장애물 검출

2.1 깊이 이미지

마이크로소프트 Kinect 센서[5]는 적외선 레이저 방출기, 2개의 적외선카메라 그리고 RGB카메라를 가지고 있어서 깊이 이미지와 컬러 이미지를 초당 30프레임의 속도로 취득할 수 있다.

Kinect 센서의 깊이 이미지는 Fig. 1과 같이 삼각법에 의해 측정된다. 레이저는 빔을 방출하고 이것이 회절간섭으로 인해 여러 빔으로 쪼개지게 되며 장면에 투사된 망점은 일정한 패턴을 생성하게 된다. 이 패턴이 적외선 카메라에 의해 잡히고, 정한 거리에 있는 참조 패턴에 따라 디스패리티(disparity)가 보정이 되어 깊이 이미지가 구해진다[6].

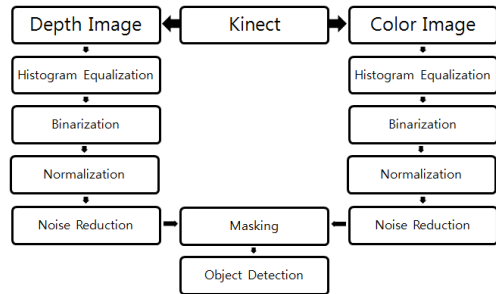


[Fig. 1] Triangulation principles for structured-light 3D scanning

2.2 장애물 검출

깊이 이미지 전처리 및 장애물 검출 과정은 Fig. 2의 처리흐름과 같다. Kinect에서 구해진 컬러 이미지와 깊이 이미지는 [7]의 방법에 따라 이진 이미지로 변환되고, 히스토그램 평활화 그리고 정규화 등을 거친 다음, 개선된 Median 필터를 사용하여 노이즈를 제거하고 컬러 이미지와 깊이 이미지를 마스킹 하여 장애물을 검출한다. 최종

이미지 크기는 640×480 픽셀이다.

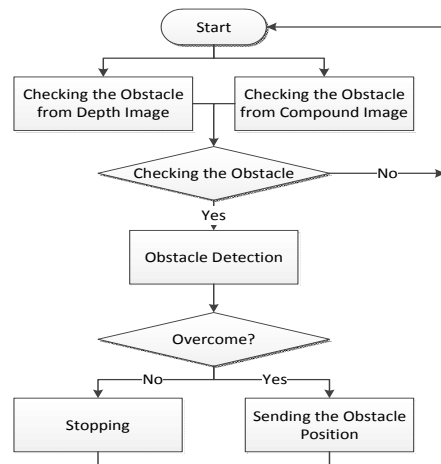


[Fig. 2] Processing flow of depth image

3. 장애물 검출 알고리즘

3.1 장애물 검출

컬러 이미지에서 장애물을 인식할 때 흰색 물체에 대한 경계점 구분이 까다로우며, 깊이 이미지는 빛이 있는 경우 오류가 발생할 수 있다는 단점이 있다.



[Fig. 3] Obstacle detection algorithm

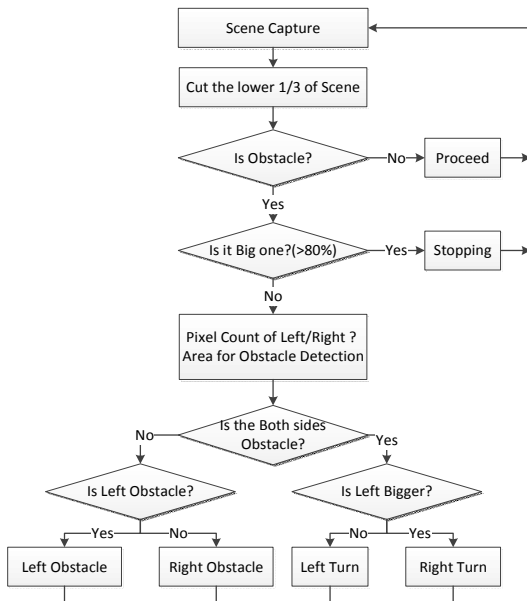
이러한 단점을 극복하기 위해 Fig. 3과 같이 컬러 이미지와 깊이 이미지 마스킹(masking) 연산하여 이미지를 합성하면 깊이 이미지에서 생긴 빛에 의한 오류를 감소시킬 수 있다. 따라서 컬러 이미지와 깊이 이미지 마스킹 연산을 통해 생성된 합성 이미지로 장애물을 검출하면 한 가지의 영상을 이용할 경우보다 정확하게 장애물을 검출할 수 있다.

컬러 이미지와 깊이 이미지 중 한 쪽에서만 장애물이

검출되면 그 위치를 장애물이 검출된 위치로 인식하며 두 이미지 모두에서 장애물이 검출되면 합성 이미지에서 결정된 장애물 위치를 우선하였다.

3.2 장애물 방향 탐색

장애물은 무인이동장치가 이동하는데 방해가 되는 물체를 의미하며 피할 수 없는 큰 장애물과 돌아서 갈 수 있는 장애물 두 가지로 구분하였다.

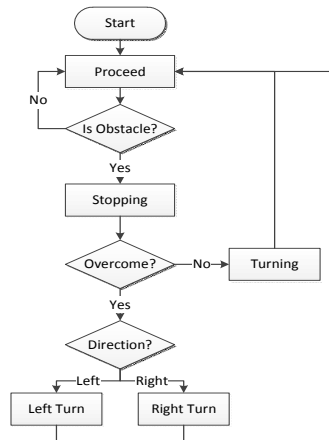


[Fig. 4] Direction decision algorithm

장애물 위치에 따른 회전 및 진행 방향을 탐색하는 알고리즘은 Fig. 4와 같이 구성하였다. 로봇에 장착된 카메라 센서의 높이에 대한 고려와 근접 장애물 탐지를 용이하게 하기 위하여 장면 이미지의 하위 1/3영역을 분할하여 흰 픽셀수(장애물 영역)를 카운트한다. 이후 분할된 하위 1/3영역에 대해 좌우 3/4씩 분할하여 흰 픽셀수를 카운트하여 진행 공간을 탐색하고 회전 및 진행 방향을 결정하게 된다.

3.3 장애물 회피

장애물에 따른 무인이동장치 회피 제어는 Fig. 5와 같이 큰 장애물일 경우 무인이동장치를 일단 정지시키고 제자리 회전을 통해 주행 방향을 탐색하며 주행 가능한 장애물일 경우 검출 반대 방향으로 돌아서 장애물을 회피하게 된다.



[Fig. 5] Obstacle avoidance algorithm

3.4 침식 알고리즘

깊이 이미지와 컬러 이미지를 합성한 깊이 이미지의 잡음을 제거하기 위해, Median 필터에 침식 알고리즘(Erosion Algorithm)[8]을 적용한 개선된 Median 필터를 사용하였다. 이진 침식 알고리즘 $A \ominus B$ 는 B 에 의한 A 의 침식으로, $A \ominus B = \{z | B_z \subseteq A\}$ 으로 정의하며 픽셀 위치 z 의 집합이 된다.

일반적으로 $B(x, y)$ 에 의한 $A(x, y)$ 의 그레이 스케일 침식은 다음과 같이 정의된다.

$$(A \ominus B)(x, y) = \min \{ A(x+x', y+y') - B(x', y') | (x', y') \in D_B \}$$

이때, D_B 는 B 요소의 도메인이고, $A(x, y)$ 는 이미지 영역바깥 $+\infty$ 로 간주한다.

4. 구현 및 성능평가

4.1 구현 환경

구현을 위해 스테레오 비전 센서, 모바일 로봇, 운영시스템이 사용되었으며 각 사양은 Table 1과 같다.

[Table 1] Hardware Specification

Item	Specification
Stereo Vision Sensor	Microsoft Kinect for Xbox360
Mobile Robot	CRX10 Mobile Robot
Operating H/W	Intel Core i3 - 2130M / 4G Memory
Operating System	Microsoft .NET Framework 4.0, Windows XP
Kinect Interface	Ethernet 15M bps
Mobile Robot Interface	Bluetooth 2.1

4.2 구현

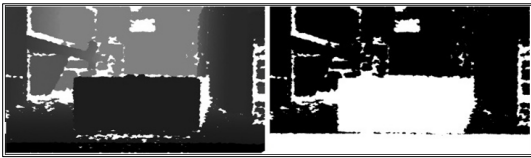
스테레오 비전 센서를 통해 컬러 및 깊이 이미지 데이터를 입력 받는다. 입력받은 이미지는 운영시스템에서 분석되어 장애물을 검출하여 장애물 종류와 위치를 인식한다.

스테레오 비전 센서와 운영 시스템과 간에는 전용 데이터 선을 사용하여 15M/bps로 통신하며 운영 시스템과 로봇 간에는 블루투스를 사용하여 통신 한다.

Fig. 2의 순서에 따라 장애물 검출을 위해 이미지 처리되는 과정은 다음과 같다.



[Fig. 6] Color image binarization

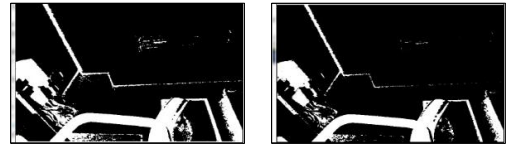


[Fig. 7] Depth image binarization

물체 식별을 위해 컬러 이미지와 깊이 이미지를 이진화 후 반전 시킨 결과는 Fig. 6, 7에서 보여주고 있다. 이진화된 컬러 이미지는 전체 주변 환경의 물체를 표현하고, 이진화된 깊이 이미지는 특정 거리 내의 물체만 표시할 수 있다. 컬러 이미지는 거리 표현을 할 수 없고, 깊이 이미지는 빛 때문에 물체가 정확하게 표현되지 않는 단점을 극복하기 위해 두 영상을 마스크 연산하면 특정 거리 내의 물체가 정확하게 표시된다. Fig. 8에서 특정 거리 내의 물체가 정확하게 표시된 것을 확인 할 수 있었다.



[Fig. 8] Color and depth masking



(a) Median Filter (b) Improved Median Filter

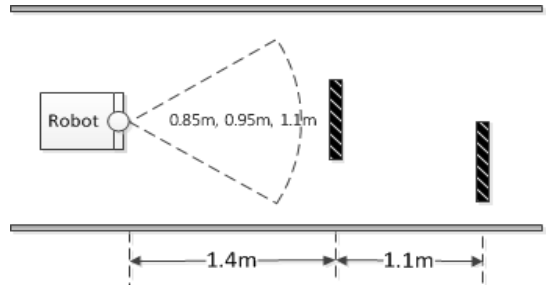
[Fig. 9] Noise reduction

컬러 이미지와 깊이 이미지를 합성한 이미지에 잡음을 제거하기 위해 침식 알고리즘을 적용한 개선된 Median 필터를 사용하여 0인 픽셀수가 기준치(하나) 이상 검출되면 해당 위치 픽셀 값을 0으로 만드는 필터를 구현하여 사용하였다. Fig. 9를 통해 잡음이 개선되었음을 알 수 있다.

4.3 성능 평가

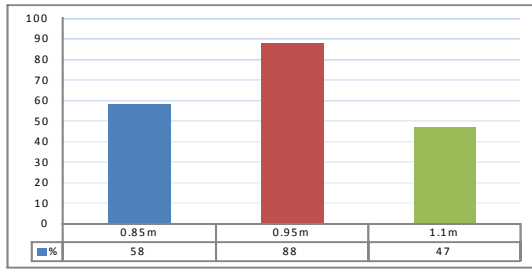
(1) 인식거리 실험

무인이동장치 이동 중에 깊이 이미지 인식거리를 실험하기 위해 실험 환경을 고려하여 Fig. 10과 같이 무인이동장치와 첫 번째 장애물과 거리는 1.4m, 두 번째 장애물과 거리는 1.1m로 정하였다. 무인이동장치 주행 중 Kinect 센서가 장애물을 인식하는 인식거리는 0.85m, 0.95m, 1.1m로 정하고, 초당 3프레임 설정으로 각각 100회씩 회피 테스트를 하였다. 장애물을 피하지 못하면 0%, 한 개를 피하면 50% 그리고 두 개를 피하면 100%로 표시하였다.



[Fig. 10] Illustration of experimental environment

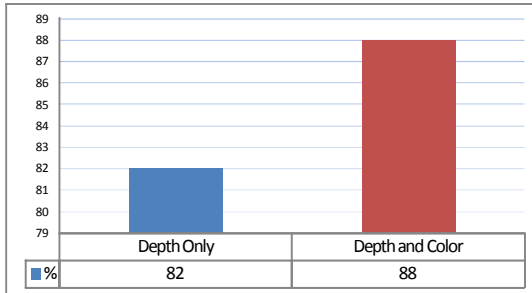
Fig. 11은 장애물 회피 성능 분석 결과이며, 거리가 0.85m인 경우 평균 성공률은 58%였으며 장애물 회피에 성공하는 경우에도 대부분 장애물을 스치면서 지나갔다. 0.95m인 경우 평균 성공률이 88%로 가장 높았다. 1.1m 이 경우에 평균 성공률은 47%였다. 첫 번째 장애물을 회피하는 도중 두 번째 장애물을 인식하고 다시 회전하는 바람에 첫 번째 장애물에 부딪히는 횟수가 많았다.



[Fig. 11] Avoidance ratio by detection distance

(2) 영상 선택에 따른 장애물 회피 실험

무인이동장치를 주행시키면서 깊이 이미지와 깊이, 컬러 이미지를 합성한 이미지에서 장애물을 검출하고 회피하는 테스트를 수행하였다.



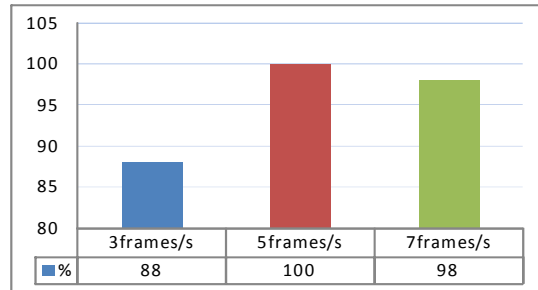
[Fig. 12] Avoidance ratio by image type

Fig. 12는 깊이 이미지만 사용한 경우와 합성 이미지를 이용한 경우 장애물 회피 성공률을 보여주고 있다. 전자의 경우 82%의 성공률, 후자의 경우 88%의 성공률을 보여 합성 이미지가 깊이이미지만을 사용한 경우에 비해 성능이 개선됨을 보였다.

(3) 프레임별 장애물 회피 실험

Fig. 13에서는 무인이동장치를 주행시켜 이미지 프레임별 장애물 회피 성능을 살펴보았다. 초당 이미지 프레임 수를 3, 5, 7 프레임으로 변화시켜 가면서 실험을 진행하였다. 이때 장애물 식별 거리는 0.95m로 지정하였으며, 깊이 이미지와 합성 이미지 모두를 이용해 장애물을 검출 하였다.

기존의 실험이 3프레임으로 진행되었으며, 5프레임의 경우 100회의 실험 모두 두 개의 장애물 회피에 성공하였으며 다른 경우와 다르게 부드럽게 진행되었다. 7프레임의 경우는 초당 계산 량이 증가하여 운영 시스템이 응답하지 못하는 경우가 발생하였다.



[Fig. 13] Avoidance ratio by the number of frames

무인이동장치에 스테레오비전 센서를 탑재하여 실험한 결과 깊이 이미지와 컬러 이미지를 함께 사용하는 경우 장애물 탐색 성능이 개선됨을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

무인이동장치에 스테레오비전 센서를 이용하여 장애물 탐색 성능이 어느 정도 향상되는지 살펴보았다. 스테레오비전 센서는 컬러 이미지 외에 깊이 이미지도 취득할 수 있기 때문에 거리계산이 가능하다는 장점이 있다. 컬러이미지 기반 영상처리 경우 특징 점을 찾는 데 어려움이 많고 알고리즘도 복잡하다. 그러나 스테레오비전 센서의 깊이 정보를 활용하면 특징점 또는 장애물 검출이 용이해진다. 본 연구에서는 스테레오비전 센서의 거리 정보와 컬러이미지를 합성하여 일정 거리 안에 있는 장애물을 탐색하는 방법을 제시하였다.

성능을 평가하기 위해 장애물과의 거리, 이미지 유형, 그리고 초당 프레임 수에 따라 어떤 성능을 보이는지 결과를 제시하였다. 깊이, 컬러 합성이미지가 더 개선된 결과를 보였으며 거리 0.95m, 초당 5프레임 조건에서 가장 좋은 결과를 보였다.

향후 연구로 컬러이미지와 깊이이미지 합성 알고리즘을 개선과 3D 모델링연구를 통해 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)을 구현하는 것이 필요하다.

References

[1] Pravitra, C.; Chowdhary, G.; Johnson, E.; , "A compact exploration strategy for indoor flight vehicles," Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC), 2011 50th IEEE Conference on , vol., no., pp.3572-3577, 12-15 Dec. 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CDC.2011.6161200>

[2] Ruijie He; Prentice, S.; Roy, N.; , "Planning in info space for a quad rotor helicopter in a GPS-denied environment," Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on, vol., no., pp.1814-1820, 19-23 May 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543471>

[3] Grzonka, S.; Grisetti, G.; Burgard, W.; , "Towards a navigation system for autonomous indoor flying," Robotics and Automation, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference on, vol., no., pp.2878-2883, 12-17 May 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2009.5152446>

[4] Stowers, J.; Hayes, M.; Bainbridge-Smith, A.; , "Altitude control of a quadrotor helicopter using depth map from MS Kinect sensor," Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on, vol., no., pp.358-362, 13-15 April 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICMECH.2011.5971311>

[5] Kinect. <http://www.xbox.com/en-us/kinect/> March 2011.

[6] Freedman, B., Shpunt, A., Machline, M., Arieli, Y., "Depth mapping using projected patterns", Prime Sense Ltd, United States 2010.

[7] D. S. Bolme, J. R. Beveridge, M. Teixeira, and B. A. Draper, "The CSU Face Identification Evaluation System: Its Purpose, Features, and Structure", in ICVS Graz, Austria, 2003.

[8] van den Boomgard, R, and R. van Balen, "Methods for Fast Morphological Image Transforms Using Bitmapped Images," Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing, vol. 54, no 3, pp.254-258, May 1992.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/1049-9652\(92\)90055-3](http://dx.doi.org/10.1016/1049-9652(92)90055-3)

남 시 병(Si-Byung Nam)

[정회원]



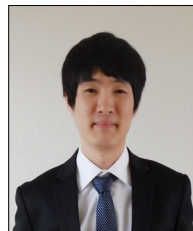
- 1982년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>

임베디드시스템, 센서네트워크, 인터페이스, 패턴인식

이 세 현(Se-Hun Lee)

[학생회원]



- 2012년 8월 : 강원대학교 전자정보통신공학부 (공학사)
- 2012년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 대학원 전자정보통신공학과 석사과정

<관심분야>

영상처리, 증강현실

권 기 현(Ki-Hyeon Kwon)

[정회원]



- 1995년 2월 : 강원대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
- 2000년 8월 : 강원대학교 대학원 컴퓨터학과 (이학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>

임베디드시스템, 패턴인식, HCI