초점정보를 이용한 패턴간의 상대적 깊이 추정 알고리즘 개발

A Relative Depth Estimation Algorithm Using Focus Measure

정지석*, 이대종* · 신용녀** · 전명근*

Ji-Seok Jeong*, Dae-Jong Lee*, Yong-Nyuo Shin**, and Myung-Geun Chun*

*충북대학교 전자정보대학 전자공학부 컴퓨터정보통신연구소

**한양사이버대학교 컴퓨터공학과

* College of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University
Computer Engineering, Hanyang Cyber University

요 약

깊이 추정은 로봇 비전, 3차원 영상, 모션 제어를 위해 사용되는 매우 중요한 인자이다. 깊이 추정은 렌즈와 물체 사이의 거리를 변화시켜가면서 취득된 일련의 영상에서 계산된 초점 정보에 기반을 둔다. 본 논문에서는 다양한 초점정보를 이용한 패턴간의 상대적 깊이 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 거리별로 취득된 영상의 초점값 정보를 이용하여 구현하였으며, 깊이는 두 패턴의 상대적 거리를 고려함으로써 추정하였다. 다양한 영상정보를 이용하여 깊이 추정을 수행한 결과 효과적인 추정이 가능함을 알 수 있었다.

키워드 : 초점 척도, 자동 초점, 상대 깊이, 깊이 추정, 영상처리

Abstract

Depth estimation is an essential factor for robot vision, 3D scene modeling, and motion control. The depth estimation method is based on focusing values calculated in a series of images by a single camera at different distance between lens and object. In this paper, we proposed a relative depth estimation method using focus measure. The proposed method is implemented by focus value calculated for each image obtained at different lens position and then depth is finally estimated by considering relative distance of two patterns. We performed various experiments on the effective focus measures for depth estimation by using various patterns and their usefulness.

Key Word : Focus measures, Autofocus, Relative depth, Depth estimation, Image processing

1. 서 론

물체의 깊이(depth) 정보는 로봇 비전, 3차원 영상, 모션 등을 위해 사용되는 매우 중요한 인자이다[1-3]. 영상의 깊이를 계산하는 방법은 적외선, 초음파, 레이저, 빛의 산란 특성 등의 신호를 이용하는 방법과 영상 정보를 분석하여 초점 거리를 측정하는 방식이 있다[4]. 전자의 방식 중에서 적외선과 초음파를 이용하여 거리를 측정하는 방식은 투명

판 너머에 피사체가 위치한다거나 피사체가 굴곡이 심할 경우 등 피사체의 상태에 따라 반사되어 돌아오는 신호가 영향을 받을 수 있어서 정확한 초점 계산이 어렵다. 정밀한 측정을 하기 위해서는 레이저 등의 신호를 이용하는데, 이 방식을 사용하기 위해서는 고가의 부가장치를 사용해야 하는 단점이 있다.

영상을 이용하여 물체의 깊이를 추정하기 위해서 우선 렌즈와 물체 사이의 거리를 변화시켜가면서 영상들을 취득한다. 그런 다음에 거리별로 취득된 각각의 영상에 대해 초점값을 계산하고, 초점값이 최대가 되는 위치를 계산하여 영상의 깊이를 추정한다. 따라서 물체의 깊이 정보를 얻기 위해서는 렌즈의 위치에 따라 취득된 영상의 초점값 계산이 매우 중요한 요소이다. 이러한 초점 값을 계산하기 위한 방법으로는 고역 통과 필터를 사용하여 영상에서 고주파 성분들을 추출하여 그 합을 초점 값으로 이용하는 방식에 기반을 두고 있다.

상술한 바와 같이 영상을 이용하여 깊이를 추정하기 위해서는 렌즈와 물체간의 거리를 이동하면서 취득한 영상의 초점정보를 검출하기 위해 사용될 초점 계산 방법이 매우 중요하다. 초점 계산을 위해 최근에 다양한 방법들이 제안

접수일자: 2013년 10월 10일

심사(수정)일자: 2013년 10월 28일

게재확정일자: 2013년 11월 12일

† Corresponding author

이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

되고 있으며 대표적인 방법을 살펴보면, 커널 회귀법을 이용하는 방법[5], 뉴로-퍼지 모델과 초점 정보를 융합한 방법 [6], 유전자 알고리즘과 초점 정보를 융합한 방법[7], 이산 커브렛 변환을 이용하는 방법[8], 적응적 윈도우 선택 방법[9] 등이 있다. 그러나 대부분의 연구는 3차원 영상의 모델링에 초점을 맞추고 있다. 영상을 이용하여 깊이를 추정하는 방식은 2차원 영상정보를 이용하여 3차원 영상의 모델링 분야 뿐만 아니라 PCB(Printed Circuit Board) 패턴의 양품/불량 판정에도 널리 적용될 수 있다.

본 논문에서는 두 물체간의 상대적 깊이가 $30\mu\text{m}$ 이내인 PCB 기판의 깊이 추정 방법을 분석하였다. 기존의 연구에서는 주로 3차원 모델링에 초점을 둔 방식으로, 깊이 추정 분해능이 대부분 $30\mu\text{m}$ 로 고집적회로인 PCB 패턴내의 두 물체간의 깊이 추정에는 효과적이지 못하다. 본 논문에서는 $1\mu\text{m}$ 의 분해능을 갖는 장치를 이용하여 영상을 취득하고, 다양한 초점 계산방법을 적용하여, 초점 계산방법에 따른 신뢰성을 평가하고자 한다. 본 연구에서 고려한 초점계산방법은 Tenengrad 방법, SMD(Sum-module difference) 방법, GRAE (Energy of the image gradient), LAPE(Energy of laplacian of the image), TENV(Tenengrad variance)를 고려하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 깊이 추정알고리즘을 설명하고, 3장에서는 실험 방법 및 실험결과를 분석한다. 마지막 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 패턴간의 상대적 깊이 추정 알고리즘

2.1 제안된 깊이 추정 시스템

그림 1에서는 제안된 깊이 추정을 위한 시스템 구성도를 나타냈다. 그림 1에서 보는 바와 같이 CCD 카메라를 z축으로 이동시키면서 영상을 취득한 후 취득된 영상정보를 이용하여 초점값을 계산한다. Z축에 따른 영상을 모두 취득한 후에는 Z축에 따른 초점값 정보를 이용하여 깊이를 추정하게 된다.

그림 1. 제안된 깊이 추정 시스템 구성도
Fig. 1. Configuration of the depth estimation system

본 논문에서는 취득된 영상내에 깊이 차이가 있는 두 패턴간의 상대적 차이를 구하는데 목적이 있다. 따라서 초점값의 변곡점은 두 곳으로 나타날 수 있다. 즉, 초점이 하단에 위치에 있는 패턴에 맞추어져 있을 때와 초점이 상단에 위치에 있는 패턴에 맞추어져 있을 때 초점값의 변곡 특성이 나타날 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고려 영역의 영상을 모두 취득한 후 취득된 영상의 변곡 특성을 고려하여

상대적 깊이를 추정하였다. 즉, 현재 초점값과 이전 초점값의 차이를 계산한 후, 그 차이값이 양에서 음으로 변화는 시점을 정초점으로 판단하고, 두 개의 정초점의 차이를 이용하여 상대적 깊이를 추정한다.

2.2 초점값 계산 알고리즘

상대적 깊이를 추정하기 위해서는 취득한 영상의 초점 계산 방법이 매우 중요하다. 본 논문에서는 대표적인 초점값 계산 알고리즘[10-13]을 적용한 후, 고려 대상의 PCB 패턴에 효과적인 초점값 계산 방법에 대해 논의하고자 한다.

(1) Tenengrad 알고리즘

Tenenbaum이 제안한 Tenengrad는 초점의 정도가 에지의 선명도에 영향을 미친다는 점을 이용하여 영상의 에지 기울기 크기의 총 누적치가 최대가 되는 곳을 최적의 초점 위치로 결정하는 방법이다. 에지 기울기 크기는 소벨 연산자[14]를 적용하여 계산한다.

소벨 연산자를 사용하는 Tenengrad 초점 값 계산은 다음과 같이 영상 전역에 걸친 기울기 값의 합으로 결정된다.

$$E_{Tenengrad} = \sum_x \sum_y G(x,y)^2, \quad G(x,y)^2 > T \quad (1)$$

위식에서 T는 임계치를 나타내며 기울기의 크기가 임계치 이상의 값을 갖는 때에만 초점 값에 포함하게 된다. 측정된 값들의 합이 최대가 되는 위치가 초점이 잘 맞는 것이라고 할 수 있다.

(2) SMD(Sum-module difference) 알고리즘

소벨 연산자를 이용한 기울기 크기를 초점 값으로 사용하는 Tenengrad와 달리, Jarvis가 제안한 SMD는 아래의 식과 같이 영상의 수평 방향과 수직 방향에 대한 픽셀의 차를 각각 계산하고, 그 두 값의 합을 초점 값으로 이용하는 방법이다. 이 방법은 Tenengrad와 기본 개념은 같지만 2차원 마스크를 사용하지 않는다는 점이 다르다. Tenengrad는 초점 값을 구하기 위해 2차원 마스크 영역 내에서 에지의 방향성을 구별하지 않고 기울기 크기를 합하여 계산한다. 하지만 SMD는 초점 값을 구하기 위하여 식 (2)와 식 (3)과 같이 영상의 수평, 수직 방향에서의 기울기 크기를 각각 따로 계산하여 식 (4)와 같이 합하게 된다.

$$SMD_x = \sum_x \sum_y |f(x,y) - f(x+1,y)| \quad (2)$$

$$SMD_y = \sum_x \sum_y |f(x,y) - f(x,y+1)| \quad (3)$$

$$F_{SMD} = SMD_x + SMD_y \quad (4)$$

(3) GRAE(Energy of the image gradient) 알고리즘

아래의 식과 같이 x축과 y축의 gradient의 제곱을 통하여 에너지를 구한다.

$$GRAE = \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} (f_x^2 + f_y^2) \quad (5)$$

(4) LAPE(Energy of laplacian of the image) 알고리즘

아래의 식과 같이 x 와 y 에 대한 Laplacian의 에너지를 구한다.

$$LAPE = \sum_{x=2}^{M-1} \sum_{y=2}^{N-1} (f_{xx} + f_{yy})^2 \quad (6)$$

여기서

$$f_{xx} + f_{yy} = -I(x-1, y-1) - 4I(x-1, y) - I(x-1, y+1) \\ - 4I(x, y-1) + 20I(x, y) - 4I(x, y+1) - I(x+1, y-1) \\ - 4I(x+1, y) - I(x+1, y+1)$$

Laplacian의 경우 연산속도가 타 알고리즘에 비해 느린 단점이 있으나, 2차 미분 연산자로서 모든 방향의 에지를 검출해 내며, 다른 연산자와 비교하여 날카로운 에지를 검출한다.

(5) TENV(Tenengrad variance) 알고리즘

아래의 식과 같이 영상 기울기의 분산정보를 이용한다.

$$E_{Tenv} = \sum_x \sum_y [G(x, y) - \bar{G}]^2 \quad (7)$$

여기서 $\bar{G}$ 는 평균값을 의미한다.

3. 깊이추정 실험 및 결과

3.1 시스템 구성

초점에 따른 영상을 취득하기 위하여 그림 2에서 나타난 실험 장치를 이용하였으며, 그림 1에서 보는 바와 같이 피사체를 XY 스테이지에 위치시킨 후 Z축을 이동하여 거리별 초점 값을 계산하였다.

그림 2. 구현된 깊이추정 시스템

Fig. 2. Implemented depth estimation system

본 논문에 사용된 Z축 제어 모터는 Fastech사의 Ezi-Sevo Plus-R을 이용하였다. 이 제품은 페루프 제어 시스템으로 모터에 장착된 엔코더에 의해 항상 현재 위치를 파악하고 있기 때문에 탈조가 발생하지 않는 서보 시스템이다. 그리고 영상처리에 있어 원하는 영상을 얻기 위해 중요한 요소가 바로 조명인데 최근에는 영상 조건에 맞는 조명 설계, 조명 세기의 제어 등에 편의상으로 LED가 많이 사용되고 있으며 이 시스템 에서도 LED 측광 조명을 이용하였으며, 조명 컨트롤러를 이용해서 LED조명의 밝기를 조절할 수 있다. 영상 취득을 위해 사용된 CCD 카메라는 BASLER A101FC CCD 카메라로 해상도는 최대 1300×1030 이며, 본 논문에서는 640×480의 해상도를 갖는

영상을 취득하였다. CCD 카메라와 컴퓨터간에는 IEEE 1394 방식을 이용하여 연결하였다. 마지막으로 사용한 광학계는 Mitutoyo사의 M Plan Apo Seires중 10배율 광학계와 Nikon사의 CF Plan Seires중 5배율과 20배율 광학계를 사용하여, 배율에 따른 특성도 분석하였다.

3.2 깊이 추정을 위한 시료의 구성

그림 3에서는 동일한 PCB내에 존재하는 5개의 샘플에 대한 영상을 나타냈다. 그림 3에서 보는 바와 같이 각각의 샘플에는 상단 패턴과 하단 패턴이 존재한다. 그림 3은 하단에 초점을 맞추었을 때 취득한 영상을 나타냈다. 상단 패턴과 하단 패턴간의 상대적 깊이는 나노시스템의 고정밀도를 갖는 3차원 측정기를 이용하여 측정하였으며, 측정결과 A 샘플은 29 μ m, B 샘플은 25 μ m, C 샘플은 28 μ m, D 샘플은 30 μ m, E 샘플은 28 μ m의 상대적 깊이를 갖는 것으로 나타났다.

(a) A 샘플 (29 μ m)

(b) B 샘플 (25 μ m)

(c) C 샘플 (28 μ m)

(d) D 샘플 (30 μ m)

(e) E 샘플 (28 μ m)

그림 3. 샘플 영상

Fig. 3. Sample images

3.3 실험 결과

영상 취득은 하부 패턴의 정초점을 기준으로 z축을 -50 μ m에서 80 μ m까지 1 μ m씩 이동하면서 초점 척도별로 초점값을 계산하였다. 거리별로 측정된 초점값을 보면 두 개의 꼭지점이 존재한다. 첫 번째 꼭지점은 상부 기판이 정초점이 되었을 때를 의미하며, 두 번째 꼭지점은 하부 패턴이 정초점이 되었을 때를 의미한다. 따라서 두 꼭지점 간의 거리를 이용하여 두 패턴간의 거리정보를 추정한다. 즉 실험 방법은 크게 3단계로 볼 수 있는데, 1단계는 영상취득 단계로 CCD카메라를 이용한 PCB의 영상을 1 μ m의 단위로 취득한다. 2단계는 정초점

추정 단계로 상측인 기관과 하측인 패턴의 정초점을 찾는다. 이때 초점 값 계산 알고리즘을 이용한다. 3단계는 깊이 추정 단계로 기관과 패턴의 초점 차를 이용하여 깊이를 추정하게 된다.

표 1에서는 A 샘플에 대한 깊이 추정 결과를 나타냈다. 표 1에서 보는 바와 같이 10배율 보다는 20배율이 더 좋은 추정 결과를 나타냈다. 또한 그림 4에서 보는 바와 같이 렌즈의 위치에 따른 초점값도 20배율을 사용한 경우 초점에 따른 구분이 명확히 나타남을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 5배율, 10배율, 20배율을 사용하였다. 5배율인 경우에는 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 거리에 따라서 상단의 위치와 하단의 위치에 따른 특성이 나타나지 않음을 알 수 있다. 그림 5에서는 배율에 따른 샘플의 모양을 상단에 초점이 맞은 경우와 하단에 초점이 맞은 경우 각각 구분하여 나타냈다. 5배율인 경우에는 상단과 하단간의 초점에 따른 구분이 명확하지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 5배율에 대한 특성을 고려하지 않았다. 20배율인 경우 상단과 하단의 초점에 따라 명확히 영상이 차별화 됨을 확인할 수 있으며, 따라서 20배율을 사용한 경우가 깊이 정보를 효과적으로 제공할 수 있음을 예측할 수 있다. 20배율을 사용한 경우 SMD, GRAE, LAPE TENG 방법 모두 동일한 성능을 보였으며, TENV는 다른 척도에 비해 오차가 더 크게 나타났다.

표 1. A 샘플의 측정 오차
Table 1. Measurement error for A sample

Method	×10	×20
SMD	4 μ m	3 μ m
GRAE	4 μ m	3 μ m
LAPE	4 μ m	3 μ m
TENG	5 μ m	3 μ m
TENV	6 μ m	4 μ m

그림 4. 렌즈 위치에 따른 초점 특성 (A 샘플)

Fig. 4. Focus characteristics according to lens position

그림 5. 다양한 광학계에서 취득된 샘플

Fig. 5. Samples obtained from various optical systems

표 2에서는 B 샘플에 대한 실험결과를 나타냈다. 표 2에서 보는 바와 같이 TENG을 제외한 초점 척도에서 동일한 성능을 보였다. 또한 10배율 보다는 20배율의 광학계를 이용한 경우 성능이 매우 우수하였다. 표 3에서는 C 샘플에 대한 실험결과를 나타냈다. 표 3에서 보는 바와 같이 TENG을 제외한 초점 척도에서 동일한 성능을 보였다. 표 4에서는 D 샘플에 대한 실험결과를 나타냈다. 표 4에서 보는 바와 같이 10배율과 20배율을 사용한 경우 성능 차이는 나타나지 않았다. 다만 10배율기를 사용한 경우 GRAE와 LAPE 방법이 우수하였으며, 20배율을 사용한 경우 SMD와 LAPE 방법이 우수하였다. LAPE 방법은 10배율과 20배율 모두 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 표 5에서는 E 샘플에 대한 실험결과를 나타냈다. 표 5에서 보는 바와 같이 LAPE 방법이 10배율, 20배율에 상관없이 가장 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있다.

표 2. B 샘플의 측정 오차
Table 2. Measurement error for B sample

Method	×10	×20
SMD	13 μ m	3 μ m
GRAE	11 μ m	3 μ m
LAPE	8 μ m	3 μ m
TENG	13 μ m	3 μ m
TENV	12 μ m	5 μ m

그림 6. 렌즈 위치에 따른 초점 특성 (B 샘플)

Fig. 6. Focus characteristics according to lens position

표 3. C 샘플의 측정 오차

Table 3. Measurement error for C sample

Method	$\times 10$	$\times 20$
SMD	$5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
GRAE	$5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
LAPE	$5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
TENG	$6\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
TENV	$5\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$

그림 7. 렌즈 위치에 따른 초점 특성 (C 샘플)

Fig. 7. Focus characteristics according to lens position

표 4. D 샘플의 측정 오차

Table 4. Measurement error for D sample

Method	$\times 10$	$\times 20$
SMD	$3\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
GRAE	$1\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$
LAPE	$1\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
TENG	$3\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$
TENV	$3\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$

그림 8. 렌즈 위치에 따른 초점 특성 (D 샘플)

Fig. 8. Focus characteristics according to lens position

5. 결 론

본 논문에서는 SMD, GRAE, LAPE, TENG, TENV의 다

양한 초점 척도방법을 고려한 물체의 깊이 추정 알고리즘을 제안하였다. 10배율 광학계와 20배율 광학계의 실험에서 비교적 20배율 광학계의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 특히 B 샘플의 경우에는 10배에서 가장 성능이 우수한 LAPE 척도를 적용하였을 때 측정오차가 $8\mu\text{m}$ 나타났으나, 20배율을 적용한 경우 측정오차가 $3\mu\text{m}$ 나타나 20배율을 적용한 경우 성능이 월등히 우수하였다. 다양한 초점척도 방법중에서 LAPE 방법이 10배율과 20배율 모두 우수한 성능을 보였다. 향후 다양한 패턴이 존재하는 PCB에 대하여 적용 방법의 타당성을 분석하는 것과, 오차 성능을 개선시키기 위한 방법 연구가 진행되어야 할 것이다.

Table 5. Measurement error for E sample

표 5. E 샘플의 측정 오차

Method	$\times 10$	$\times 20$
SMD	$3\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
GRAE	$2\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
LAPE	$1\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$
TENG	wrong measurement	$2\mu\text{m}$
TENV	wrong measurement	$1\mu\text{m}$

그림 9. 렌즈 위치에 따른 초점 특성 (E 샘플)

Fig. 9. Focus characteristics according to lens position

References

- [1] Min Chae Lee, Jae Hyun Han, Chul Hoon Jang, Myoung Ho Sunwoo, "Information Fusion of Cameras and Laser Radars for Perception Systems of Autonomous Vehicles," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol.23, No.1, pp. 35-45, 2013.
- [2] Tae Jun Park, Tai Hoon Cho, "A study of cross-walk recognition for autonomous vehicles", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 20, No 2, pp. 422-424, 2010.
- [3] Quan Nguyen Van, Hyuk-Min Eum, Jeisung Lee, Chang-Ho Hyun, "Vision Sensor-Based Driving Algorithm for Indoor Automatic Guided Vehicles", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 13, No. 2, pp. 140-146, 2013.
- [4] Jong Hwan Yoon, Development of an Autofocusing System for LCD Defect Detection, Master thesis, *Chungbuk National University*, 2011.
- [5] Muhammad Tariq Mahmood, Tae-Sun Choi, "3D

shape recovery from image focus using kernel regression in eigenspace", *Image and Vision Computing*, Vol. 28, No 4, pp. 634-643, 2010.

- [6] Aamir Saeed Malik, Humaira Nisar, Tae-Sun Choi, "A Fuzzy-Neural approach for estimation of depth map using focus", *Applied Soft Computing*, Vol. 11, No. 2, pp. 1837-1850, 2011.
- [7] Muhammad Tariq Mahmood, Abdul Majid, Tae-Sun Choi, "Optimal depth estimation by combining focus measures using genetic programming", *Information Science*, Vol. 181, No. 7, pp. 1249-1263, 2011.
- [8] Rashid Minhas, Abdul Adeel Mohammed, Q.M. Jonathan Wu, "Shape from focus using fast discrete curvelet transform", *Pattern Recognition*, Vol. 44, No. 4, pp. 839-853, 2011.
- [9] Ikhyun Lee, Muhammad Tariq Mahmood, Tae-Sun Choi, "Adaptive window selection for 3D shape recovery from image focus", *Optics&Laser Technology*, Vol. 45, pp.21-31, 2013.
- [10] E. Kortkov, "Focusing," *Int. J. Comp. Vision*, Vol. 1, pp. 223-237, 1987.
- [11] K. C. Ng, A. N. Poo, and M. H. Ang Jr., "Practical Issues in Pixel-Based Autofocusing for Machine Vision," *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2791-2796, 2001.
- [12] H. Ilhan, M. Dogar, M. Ozcan, "Fast autofocus in digital holography using scaled holograms," *Optics Communications*, vol. 287, pp. 81-84, 2013.
- [13] S. Pertuz, D. Puig, and M. A. Garcia, "Analysis of focus measure operator for shape-from-focus," *Pattern Recognition*, vol. 46, no.5, pp.1415-1432, 2013.
- [14] R. Gonzalez and R. Woods, Digital Image Processing, 3rd Edition, *Prentice Hall*, 2010.

저 자 소 개

정 지 석 (Ji-Seok Jeong)

2008년: 충주대학교 전자공학과 공학사
2008~ 현재: 충북대학교 제어로봇공학과 석사과정

관심분야 : Image processing, embedded system
E-mail : jsiscool@empas.com

이대종 (Dae-Jong Lee)

1995년: 충북대학교 전기공학과 공학사
1997년: 충북대학교 전기정보공학과 공학석사
2002년: 충북대학교 전기정보공학과 공학박사
2006년~2008년: 충북대학교 충북정보기술 사업단 초빙 조교수

관심분야 : Biometrics, Recognition, Intelligent system
Phone : +82-43-261-2388
E-mail : bigbell@cbnu.ac.kr

신용녀 (Yong-Nyuo Shin)

1999년: 숭실대학교 컴퓨터학과(공학사)
2001년: 고려대학교 컴퓨터학과(이학석사)
2008년: 고려대학교 컴퓨터학과(공학박사)
2002년~2009년: 한국정보보호진흥원 보호기술부 주임연구원
2009년~2010년: 한국은행 전자금융팀 과장
2011년~현재: 한양사이버대학교 컴퓨터공학과 교수

2009년~현재: ISO/IEC SC27 정보보호 표준화 전문위원

관심분야: Biometrics, Recognition, Image processing
E-mail : ynshin@hycu.ac.kr

전명근 (Myung-Geun Chun)

1987년: 부산대학교 전자공학과 공학사
1989년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
1993년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
1993년~1996년: 삼성전자 자동화연구소 선임연구원

2000년~2001년: University of Alberta 방문 교수
1996~현재: 충북대학교 전자공학부 교수
2008~현재: TTA PG505 표준위원회 의장

관심분야 : Biometrics, Recognition, Soft Computing
Phone : +82-43-261-2388
E-mail : mgchun@cbnu.ac.kr