논문 2011-48IE-4-1

대면적 LCD 결함검출을 위한 수차량 추출 알고리즘

(Aberration Extraction Algorithm for LCD Defect Detection)

고 정 환*, 이 정 석*, 원 영 진**

(Jung-Hwan Ko, Jung-Suk Lee, and Young-Jin Won)

요 약

본 논문에서는 LCD 제조공정 상에서 발생할 수 있는 결함을 검사하고 분류할 수 있는 적응적인 LCD 표면 결함 검사 시스템을 제안하였다. 즉, 반복되는 LCD 패턴의 주기를 확정한 후에 결함 패턴을 검출하고 검출된 결함 패턴의 특징을 계산하여 결함을 분류하였다. 그리고 결함을 검출하는 과정에서 발생하는 잡음은 모폴로지 연산자를 이용하여 제거하였다. 또한, 검출된 결함 패턴에서 기하학적인 특징과 통계적 특징을 계산한 후 신경회로망 알고리즘을 이용하여 여러 종류의 결함 패턴을 적응적으로 분류하였으며, 실험 결과 92.3%의 결함 검출율 및 94.5%의 결함 분류 및 인식율을 획득함으로써, LCD 결함 검사 시스템의 실질적인 구현 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper we show the LCD simulator for defect inspection using image processing algorithm and neural network. The defect inspection algorithm of the LCD consists of preprocessing, feature extraction and defect classification. Preprocess removes noise from LCD image, using morphology operator and neural network is used for the defect classification. Sample images with scratch, pinhole, and spot from real LCD color filter image are used. From some experiments results, the proposed algorithms show that defect detected and classified in the ratio of 92.3% and 94.5 respectively. Accordingly, in this paper, a possibility of practical implementation of the LCD defect inspection system is finally suggested.

Keywords : LCD, aberration, defect, distortion, thinning

Ⅰ. 서 론

일반적으로 LCD/PDP 검사장비는 대별하여 외관성형 검사 장치와 내부 상태를 검사하는 장치로 나뉠 수 있으며, 외관 검사장치의 경우 컴퓨터 비젼 등을 이용한 비접촉식 검사를 통해 제품의 상태를 검사하고, 내부검사는 전기도통 검사를 통하여 회로 등의 결함유무를 검사하는 분야에 적용된다[1~4]. 이에 필요한 기술로는 크게 LCD/ PDP의 패턴 선폭 및 경계선 인식을 위한 광학기술 및 제품의 제작과정에서 발생된 에러를 인식할 수 있는 패턴인식 알고리즘의 개발이 요구된다. 또한, CCD 카메라로부터 디지털 신호로 변환된 영상에서 회로의 이상 유무를 자동으로 검색하기 위해서는 이에 적합한 패턴인식 알고리즘 개발이 필수적이며, LCD 제조공정 상에서 발생할 수 있는 문제점들과 각 단계별로 다른 특징을 가지는 다양한 형태의 영상에 관한 연구가 병행되어야 한다[4~6]. 또한, 검사의 대상이 되는 여러 종류의 결함들과 패턴 불량에 대하여 검출 대상에 따른 최적의 광학 시스템 조건이 다양하게 존재할 수 있으며, 이에 따라 최적의 검출 능력을 갖는 광학계의 구성이 필요하고, 특히, LCD와 같이 패턴불량이나 이물질 등을 검사하기 위한 실제 검사용 광학계 구성을 위한 기반기술이 필수적이다.

그 중 사입사 투과형 방법은 수직으로 입사되는 직접

* 정회원, 인하공업전문대학 메카트로닉스과
(Department of Mechatronics, Inha Technical College)
** 평생회원, 부천대학 전자과
(Dept. of Electronic Engineering, Bucheon University)
접수일자: 2011년9월2일, 수정완료일: 2011년12월11일

투과형 광원을 사용하는 경우 보다 S/N비 측면에서도 매우 좋은 검출감도를 갖고 있으며[7], 검출 대상의 형태와 검사 목적에 따라, 입사 각도를 달리함으로써, 구성되는 광학계에서의 S/N 비는 물론, 영상 콘트라스트까지도 분석함으로써, 결함 검출을 위한 최적의 조명 조건을 찾는 것이 가능한 방법이다. 그러나 대면적의 LCD 검사를 위해 가변초점 렌즈를 조절하여 검출 면적이 증가되는 경우에는 렌즈의 수차 영향으로 인한 영상 왜곡이 발생하게 되고, 이는 대면적 검사시 반드시 고려하여야 할 사항이다. 특히 광학계가 가지고 있는 주요 수차 중 디스토션(distortion) 수차의 경우, 상의 위치 변화가 심하게 발생되고 이로인해 획득된 영상이 찌그러져 보이게 되며, 다중 화면을 합성하여 대면적의 LCD를 검사하는 경우 반드시 이에 대한 보상작업이 이루어져야 한다[8].

따라서 본 논문에서는 대면적의 LCD 표면검사를 위해 사용되는 다중 CCD에서 발생할 수 있는 렌즈의 왜곡을 보정할 수 있는 수차 추출 알고리즘을 제안하였다. 즉, Seidel 수차이론을 기반으로 광학적 디스토션 왜곡 수차량을 분석하고, 광량 profile 분석을 통해 균일한 intensity 분포 및 calibration 작업을 통해 렌즈에 투영된 영상의 위치 이동을 보정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

Ⅱ. 제안된 수차 추출 알고리즘

1. 사입사 투과 광원을 이용한 LCD 결함검출

일반적으로, LCD 검사 대상에 존재하는 이물질들은 사입사 투과형 방법을 사용하여 검출 감도를 향상시킬 수 있다[8].

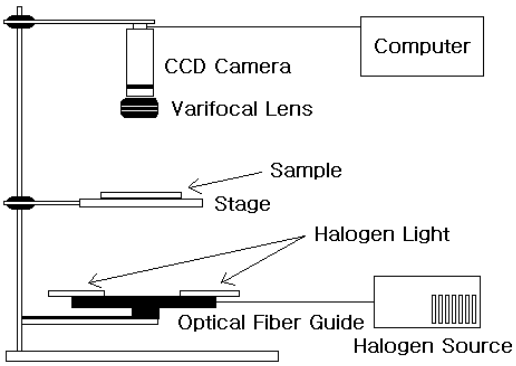


그림 1. 사입사 투과형 광학 시스템
Fig. 1. Off-axis illumination optical system.

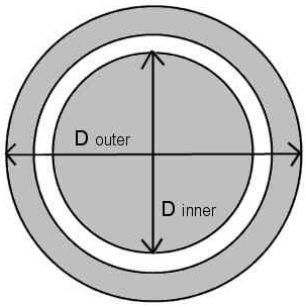


그림 2. 다크필드 링
Fig. 2. Darkfield Ring.

즉, 사입사 투과형 방법은 그림 2와 같이 투과광원 사이에 환형의 조명 형태를 두어 주 반사광이 현미경 렌즈에 직접 들어가지 않게 하고, 광학 회절이론과 동일하게 직접 투과광이 렌즈에 입사되지 않고 패턴의 경계 부분이나 미립자 부분과 같이 패턴 형태가 급격하게 변화하는 영역에서 산란광이 검출되어 결과적으로 검출 영상의 특징적인 부분들의 검출을 용이하게 해주는 높은콘트라스트(contrast)를 갖게 해준다[9].

따라서 이물질이 있는 경우 산란광만이 렌즈에 입사되므로 이물질에 대한 검출 영상의 콘트라스트를 증가시킬 수 있다. 즉, 그림 3과 4와 같이 반도체나 LCD에서 흔히 사용될 수 있는 이진 마스크 패턴(simple binary mask patter n)에 대해 격자 크기 5mm×5mm영상을 획득한 결

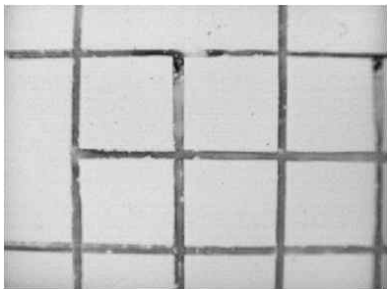


그림 3. 직접 투과형 방법
Fig. 3. Direct illumination method.

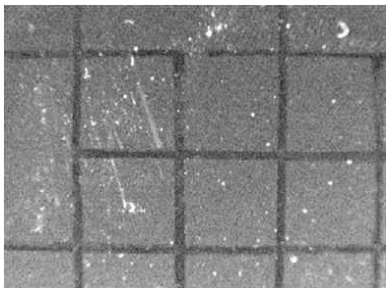
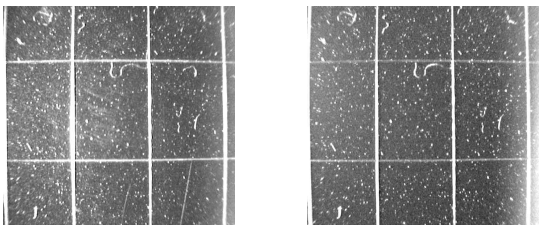


그림 4. 사입사 투과형 방법
Fig. 4. Off-axis illumination method.



(a) 사입사 각 45도 (b) 사입사 각 30도

그림 5. 투과형 방법에 의한 실험결과
Fig. 5. Experiments results by illumination method.

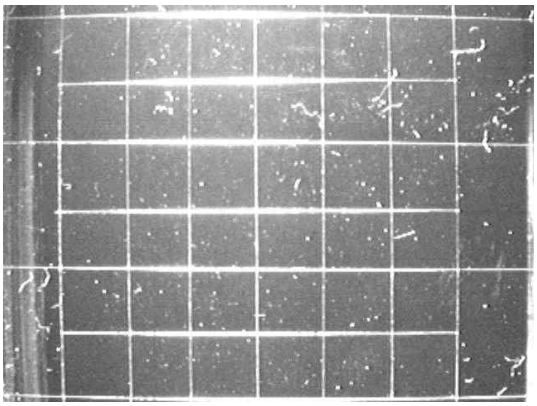


그림 6. 렌즈 왜곡
Fig. 6. Lens distortion.

과 직접 투과형 방법을 통해서는 검출할 수 없었던 결함들이 사입사 투과형 방법을 통해 검출 될 수 있다.

즉, 사입사 투과형 방법은 수직으로 입사되는 직접 투과형 광원을 사용하는 경우 보다 S/N비 측면에서도 매우 좋은 검출감도를 갖고 있으며, 그림 5와 같이 검출 대상의 형태와 검사 목적에 따라, 입사 각도를 달리함으로써, 구성되는 광학계에서의 S/N 비는 물론, 영상 콘트라스트까지도 분석함으로써, 결함 검출을 위한 최적의 조명 조건을 찾는 것이 가능한 방법이다.

그러나 대면적의 LCD 검사를 위해 가변초점 렌즈를 조절하여 검출 면적이 증가되는 경우에는 그림 6과 같이 격자 형태의 시료에 대한 면적 증가시 렌즈의 수차 영향이 나타남을 알 수 있다.

즉, 수차에 의한 상의 왜곡은 대면적 검사시 반드시 고려하여야 할 사항이며, 본 논문에서는 광학적 수차의 분석을 통해 영상의 위치 보정에 대한 알고리즘을 제안하였다.

2. 수차 추출 알고리즘

일반적으로 대면적 검사를 위하여서는 다중의 CCD를 사용하는 광학계의 구성이 필요하며, 화면 합성시의 영상 수차의 문제점과 영상 비교를 통한 반복패턴에서의 결함 검출 알고리즘이 필수적이다.

일반적으로 Seidel 수차[10]에 의한 상의 위치 이동은 식 (1)과 (2)로 주어진다.

$$\Delta^{(3)}x = x_0(2Ck^2 - Er^2 - F\rho^2) - \xi_1(B\rho^2 - Dr^2 - 2Fk^2)$$
$$\Delta^{(3)}y = y_0(2Ck^2 - Er^2 - F\rho^2) - \eta_1(B\rho^2 - Dr^2 - 2Fk^2) \quad (1)$$

$$r^2 = x_0^2 + y_0^2, \rho^2 = \xi_1^2 + \eta_1^2, k^2 = x_0\xi_1 + y_0\eta_1$$
$$\xi_1 = \rho\sin\theta, \eta_1 = \rho\cos\theta \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서, x_0, y_0은 원영상의 좌표이고, ξ_1, η_1은 카메라 조리개(aperture)의 좌표이며, 이를 광학계 조건을 통해 추출된 영상 분석 및 보정을 위한 알고리즘을 제안하였다.

또한, 영상 합성시 광학의 기본 수차 중에 Varifocal Lens를 사용하여 넓은 면적영상을 취할 경우 디스토션(distortion)과 같은 렌즈의 수차에 의한 영상 왜곡이 발생하게 되며. 왜곡 수차량은 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\Delta^{(3)} = -E(x_0^3 + x_0y_0^2)$$
$$\Delta^{(3)} = -E(y_0^3 + y_0x_0^2) \quad (3)$$

또한, 시스템 구축시 CCD 렌즈부의 광량 조절량이 일정하도록 광량 profile 분석을 통해 균일한 intensity분포 및 calibration 작업 추가가 필수적이다.

따라서, 실제 영상의 위치가 어느정도인지를 분석하기 위해 그림 7과 같이 알고리즘을 제안하였으며, CCD 영상

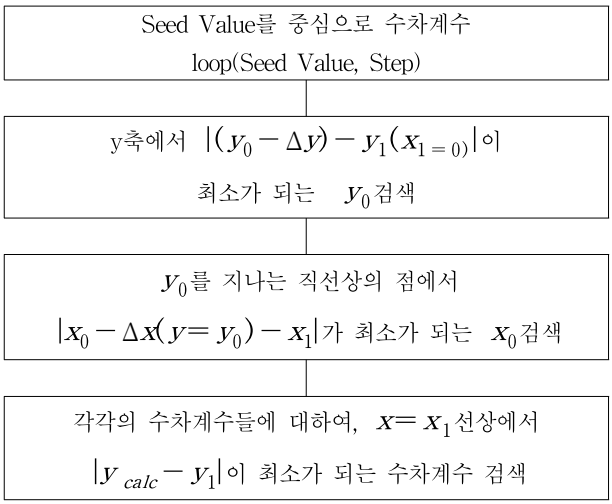


그림 7. 수차량 추출 알고리즘
Fig. 7. Aberration extraction algorithm.

으로부터 얻어진 점의 위치 데이터로부터 수차량을 역추출하였고, 이때 다른 수차는 보정된 CCD lens라고 가정하였다.

Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 그림 8과 같이 두 영역을 두 대의 CCD 카메라로 측정하기 위해, 중간에 빔분할기와 프리즘으로 구성된 광학계를 삽입하였으며, 두 영역의 영상을 두 대의 CCD로 검출한 후, 추출된 영상 데이터를 영상처리 알고리즘을 통해 분석하였다.

이를 위해, 검출용 CCD로는 B/W CCD 및 H2Z4515CS (f:4.5-10mm)[11]의 CCD 렌즈를 사용하였으며, 영상 캡쳐보드로는 Meteor2 FrameGrabber를 사용하였고, Halogen 150W의 광원 소스와 Simple Binary Mask Pattern의 검사시료를 이용하여 실험하였다.

그림 9는 2대의 가변초점 렌즈(varifocal lens)를 이용하여 CCD에 획득된 44 pattern의 좌, 우 영상 및 대면적을 잡기 위해 두 영상을 합성한 영상을 나타낸 것이다.

그림 10은 수차량을 다르게 함으로써 왜곡 수차만이 있는 광학계를 가정하고 평면의 물체가 CCD 화면에서 위치이동을 하게 되는 현상을 시뮬레이션으로 나타낸 것이며, 수차에 의해 검출 영상의 상당한 왜곡 현상이 발생함을 알 수 있다.

또한, 실제의 영상을 정량적으로 분석하기 위해서, 4배율 현미경 렌즈를 사용하여, 왜곡 수차에 의한 상의 위치 변화를 분석하였다. 그림 11은 각각의 반복되는 패턴들의

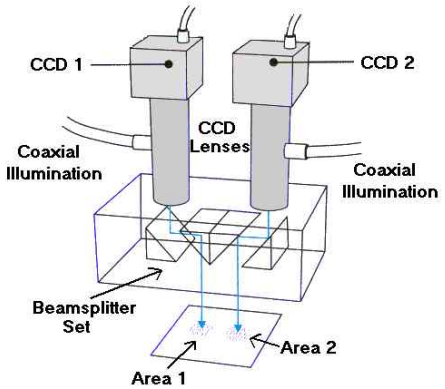
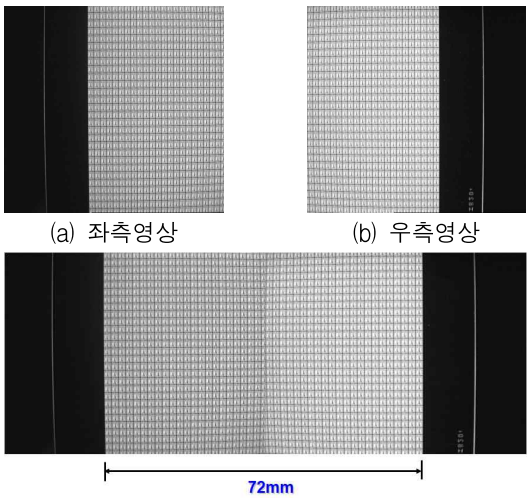


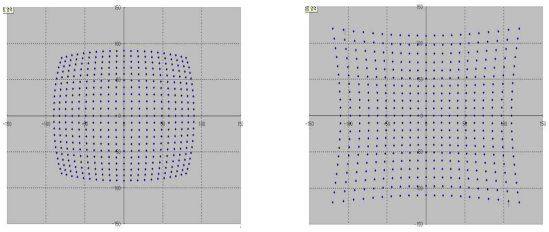
그림 8. 듀얼 형태의 CCD 시스템
Fig. 8. Dual CCD System



(a) 좌측영상 (b) 우측영상

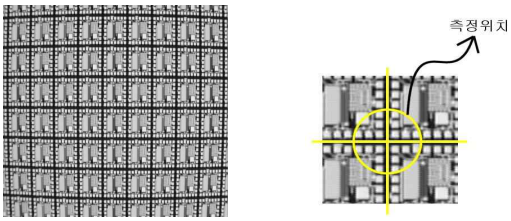
(c) 두 영상의 합성영상

그림 9. CCD를 통해 획득된 영상
Fig. 9. Captured images through CCD.



(a) Barrel Distortion (b) Pincusion Distortion

그림 10. Simulation을 통한 distortion map
Fig. 10. Distortion map through simulation.



(a) 전체 영상 (b) 측정 위치

그림 11. Distortion 분석을 위한 영상
Fig. 11. Images for distortion analysis.

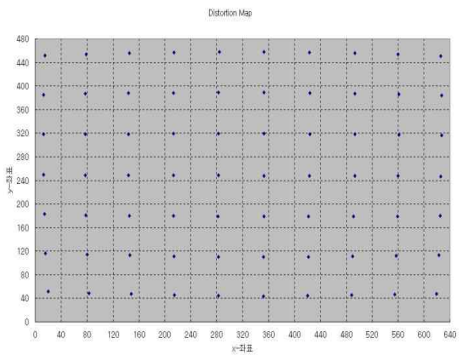


그림 12. 디스토션 맵
Fig. 12. Distortion Map.

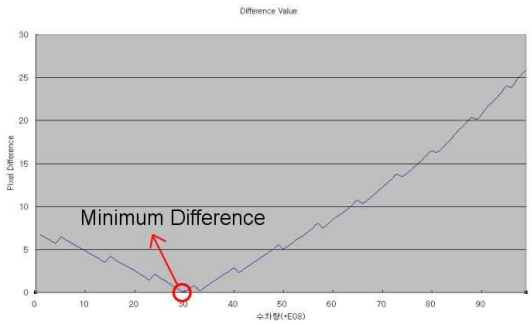


그림 13. 수차 계수 추출
Fig. 13. Difference Value extraction.

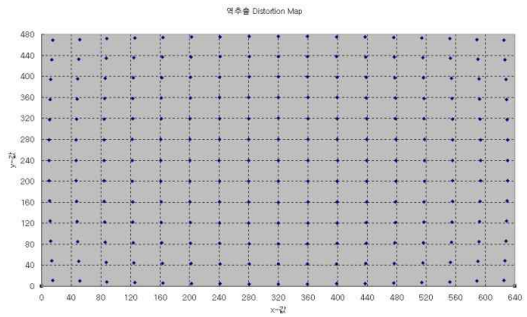


그림 14. 역으로 계산된 디스토션 맵
Fig. 14. Inversely calculated distortion map.

경계부분의 중심좌표 위치를 기준으로 디스토션 맵(distortion map)을 작성한 화면을 나타낸 것이다.

그림 12는 그림 10의 측정 좌표들에 대한 디스토션 맵을 작성한 결과를 나타낸 것이며, 상이 상당한 영상 왜곡이 이루어져 있음을 알 수 있다.

그림 13은 최적의 distortion 수차 계수 추출을 위해 영상의 절대 좌표값을 기준으로 최소의 minimum difference값으로 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이며, 약 3×10^{-7}으로 분석되었다.

또한, 그림 14는 계산된 그림 12의 디스토션 맵과 수차 계수를 역으로 작성한 디스토션 맵을 나타낸 것이다.

따라서 본 논문에서 제안한 수차량 분석 알고리즘을 화상처리 알고리즘에 도입함으로써 패턴과 결함부의 정확한 위치 판단이 가능하며, 결함검출을 위한 광학 시스템 구성시 스테이지 구동을 위한 정확한 위치 판단에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 예상된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 LCD 제조공정 상에서 발생할 수 있는 결함을 검사하고 분류할 수 있는 적응적인 LCD 표면 결함 검사 시스템을 구현하였다. 실험결과, 앞서 제시한 디스토션 맵에 비해 상의 왜곡이 상당히 개선된 것을 알 수 있다. 대면적 LCD/PDP 기판 검사를 위해서는 다수의 CCD 시스템을 사용하고 있으며, dual type CCD 시스템에서 연구된 시스템 기술을 통하여, 차후에 다수의 CCD 시스템 구현에 필요한 제반 기술을 확보 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Haruo Yoda, Yozo Ohuchi, Yuzo Taniguchi andMasakzu Ejiri, “An automatic wafer inspection system using pipelined image processing techni ques”, *IEEE T-PAMI*, vol. 10pp. 4-15, 1988.
[2] 오종환, 박길흠, “인간 시각시스템의 주파수 감도를 이용한 TFT-LCD 결함 강조”, *전자공학회 논문지,* 제44권, 20-27쪽, 2007년.
[3] 고민석, 최두현, 박길흠, 김우섭, 송영철, “LCD 표면 검사를 위한 라인스캔 영상의 재구성”, *전자공학회 논문지,* 제41권, pp.497-502, 2004.
[4] 고정환, “BEP기반의 신경회로망을 이용한 LCD 패널 결함 검출”, *전자공학회 논문지,* 제48권, 26-31쪽, 2011년.
[5] J. R. Parker, “Gray level thresholding in badly illuminated images”, *IEEE T-PAMI*, vol. 13, pp 813-819, 1991.
[6] F. Torres, J.M. Sebastian, R. Aracil, L.M. Jime nez and O. Reinoso, “Automated real-time visual inspection for high-resolution super imposed printings”, *Image and vision computing* vol. 16, pp. 947-958, 1998.
[7] J. R. Parker, Practical Computer Vision, Addison-Wesley, 1992.
[8] Davide Dazzia, Francesco Taddeib, Alessandra Gavarinib, Enzo Uggerib, Roberto Negroa, Antonio Pezzarossaa, “The control of blood glucose in the critical diabetic patient: a neuro-fuzzy method”, *Journal of Diabetes and Its Complications*, vol.15, pp. 813-819, 2001.
[9] 이용우, 권명회, 김용후, 권명희, “극자외선 영역에서 곡면 DOEs에 관한 연구”, *한국광학회지*, vol, 16, no.4, pp.304-312, 2005.
[10] Zhong, Qiyuan, Huang, Xianxiang, Tan, Lilong,Zhang, Zhili, “A method of speedy north-seeking of gyro-theodolite by detecting gyro-moment based on magnetic suspension bearing”, *2010 ICICIP*, pp.666-670, 2010.
[11] *www.sourcesecurity.com*

저 자 소 개

고 정 환(정회원)
현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 조교수
대한전자공학회논문지 제48권 IE편 제2호 참조

이 정 석(정회원)
현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수
대한전자공학회논문지 제48권 IE편 제3호 참조

원 영 진(평생회원)
현재 부천대학 전자과 교수
대한전자공학회논문지 제47권 IE편 제4호 참조