

MMTF 와 인간지각 특성을 이용한 결함성분 추출기법

Defect Detection Method using Human Visual System and MMTF

허 경 무, 주 영 복*

(Kyung-Moo Huh¹ and Young-Bok Joo^{2,*})

¹Department of Electronic Engineering, Dankook University

²Department of Computer Science & Engineering, Korea University of Technology & Education

Abstract: AVI (Automatic Vision Inspection) systems automatically detect defect features and measure their sizes via camera vision. Defect detection is not an easy process because of noises from various sources and optical distortion. In this paper the acquired images from a TFT panel are enhanced with the adoption of an HVS (Human Visual System). A human visual system is more sensitive on the defect area than the illumination components because it has greater sensitivity to variations of intensity. In this paper we modified an MTF (Modulation Transfer Function) in the Wavelet domain and utilized the characteristics of an HVS. The proposed algorithm flattens the inner illumination components while preserving the defect information intact.

Keywords: automatic inspection, defect, detection, modulated transfer function, HVS

I. 서론

미신 비전 기술은 영상을 기반으로 하는 자동결합 검사시스템 분야에서 생산성 향상과 품질 관리 자동화에 기여해 왔다[1]. 일반적으로 시각적 검사와 품질 제어는 전문적인 목시검사자들에 의해 수행되어 왔다. 하지만 목시 검사는 검사가 정확한 반면에 쉽게 지치고 검사 속도가 느리며 당일의 기분과 컨디션에 따라 검사 품질에 일관성이 떨어 질 수 있으며 인건비가 들어가므로 비용이 많이 듦다. 이러한 점을 개선하기 위해 자동 결합 검사 시스템(automatic vision inspection system)이 도입되었다. 이 시스템은 인간의 시각 및 인지 시스템을 모방하여 비전 센서(camera)를 탑재하여 실시간으로 영상을 획득하여 영상 분석을 통해 결합을 자동으로 탐지하여 그 위치나 크기, 모양 혹은 배경과의 명암차 등 그 결합에 대한 정보를 추출하고 자동으로 보고하는 시스템이다. 최근 수십 년 동안 자동결합 검사시스템은 그 활용도가 뛰어나 많은 응용 분야에서 활발히 연구가 되어 왔다[2]. 특히 영상 처리 및 분석과 프로세서의 기술이 발전함에 따라 신속 정확한 검사가 가능하게 되었다. 특히 영상 처리 및 분석 기술은 검사 성능을 좌우하는 매우 중요한 기술로서 다양한 결합 추출 알고리듬이 개발되어 왔다[3,4,7,8,9]. 하지만 영상 획득 과정에서의 다양한 원인의 잡음과 광학적 왜곡으로 인해 Field에서 요구하는 신뢰성 있는 결합 검출은 그리 쉬운 문제가 아니다. 본 연구에서는 TFT-LCD 표면 영상에 대하여 실제 인간 시각이 인지하는 특성을 반영한 영상 개선을 수행하였다. 인간 시각은 TFT-LCD 표면 영상의 내부 조명성분보다는 결합 정보에 더 민감하게 반응하는데, 이는 인간 시각이 고주파 상에서 일어나는 변화보다 TFT-LCD 영상 내

휘도 흐름 (불균일도)과 같은 저주파 상에서의 휘도 변화에 대한 감지력이 더 뛰어나기 때문이다. 이에 본 연구에서는 이러한 인간 시각의 특성을 함수화 한 MTF (Modulation Transfer Function)를 웨이브렛 도메인에 적합하게 수정하고, 이를 통해 내부 조명을 평탄하게 모델링하면서 결합정보는 보존하는 알고리즘을 설계하였다.

II 장에서는 수정된 MTF (Modulation Transfer Function)에 대해서 설명하고 III 장에서는 HVS (Human Visual System, 인간지각시스템)에 대해 간단히 설명한다. IV 장에서는 MMTF 와 HVS를 이용한 결합 추출 방법에 대해 설명하고 V 장에서는 실험 결과를 분석하였다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. MODIFIED MODULATION TRANSFER FUNCTION

식 (1)은 주파수 f 에 대한 MTF의 특성을 수식화 한 것이다.

$$H(f) = 2.6(0.192 + 0.114f)\exp(-(0.114f)^{1.1}) \quad (1)$$

여기서 f 는 주파수를 의미하며 그 단위는 [Cycles/Degree]이다. 그럼 1과 그림 2에 MTF를 도출하기 위해 사용한 실험 영상과 실험 영상과 실험자와의 거리를 나타내었다. 주파수에 따라 차이를 인지하는 문턱값을 찾아내기 위하여 그림 1에 나타낸 것과 같이 싸인파 함수의 주파수를 증가시켜 가며 실험하였다. 그리고 실험자의 시야각(visual angle)에 들어오는 화

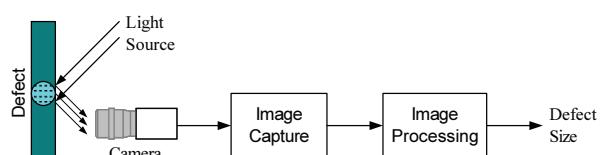


그림 1. 영상기반 자동검사 시스템의 흐름도.

Fig. 1. Typical automated vision inspection system.

* Corresponding Author
Manuscript received August 20, 2013 / revised September 15, 2013 / accepted October 4, 2013

허경무: 단국대학교 전자공학과(huhkm@dku.edu)
주영복: 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부(ybjoo@koreatech.ac.kr)



그림 2. MTF 실험을 위한 Sine wave grating.

Fig. 2. Sine wave grating for MTF experiments.

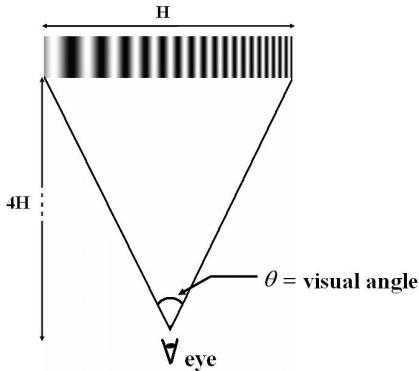


그림 3. MTF 도출을 위한 실험 환경.

Fig. 3. Experimental environments for MTF extraction.

소의 크기는 그림 2과 같이 물체와 실험자의 거리의 1/4이다.

그림 3은 MTF의 1차원 그래프를 나타낸 것으로서, 함수값은 밝기차를 인지하는 문턱값의 역수가 되며, MTF값이 클수록 밝기 변화를 쉽게 인지함을 의미하고 있다.

그림 3에서 알 수 있듯이, 인간 시각은 8[Cycles/Degree]주변에서 밝기 변화를 가장 잘 인지하고 주파수가 올라갈수록 밝기 변화를 잘 인지하지 못한다. 즉 내부 조명 성분과 같이 상대적으로 저주파수에서 일어나는 변화는 잘 감지하는 반면 노이즈 성분 등의 고주파에서 일어나는 변화는 잘 감지하지 못함을 알 수 있다.

III. HVS (Human Visual System - 인간 지각 시스템)의 특성

인간 시각이 지각하는 방식은 여러 실험으로 증명되었듯이 우리가 이미지 센서로 획득하는 영상의 단순한 분석과는 많이 다르다. 이를 영상 분석에 감안을 하면 인간이 하는 결합 유무 판정에 더욱 가까워 질 수 있다. 이는 검사 알고리듬 분야에서 활발히 연구가 되어지고 있다.

HVS의 특성에는 여러 가지가 있으나 중요한 것으로는 다음 두 가지 사항이다.

1. 웨버의 비율(Weber's Ratio)

같은 밝기라도 그 Gray 차이는 배경에 따라 달라지며 선형이 아닌 로그 함수 분포를 갖는다. 즉 배경이 밝을수록 인간이 지각하는 Gray 차는 줄어든다.

2. 마하 밴드 효과(Mach Band Effect)

강한 에지가 있는 경계부분에서 지각되는 밝기 차이는 일정하지 않고 변한다. 즉 명암의 차이가 있는 경계부분의 프로파일은 단순한 계단형이 아니고 경계 부분이 더 강조 되는 방식으로 지각된다.

IV. MMFT와 HVS를 이용한 결합성분 추출 방법

이에 착안하여 본 연구에서는 웨이브렛 도메인 상에서 조명 성분을 평탄하게 모델링하면서 조명 성분 외 영역, 즉 결

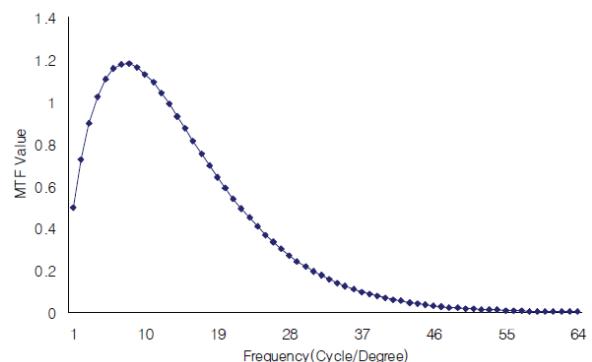


그림 4. 1차원 MTF그래프.

Fig. 4. 1 Dimensional MTF graph.

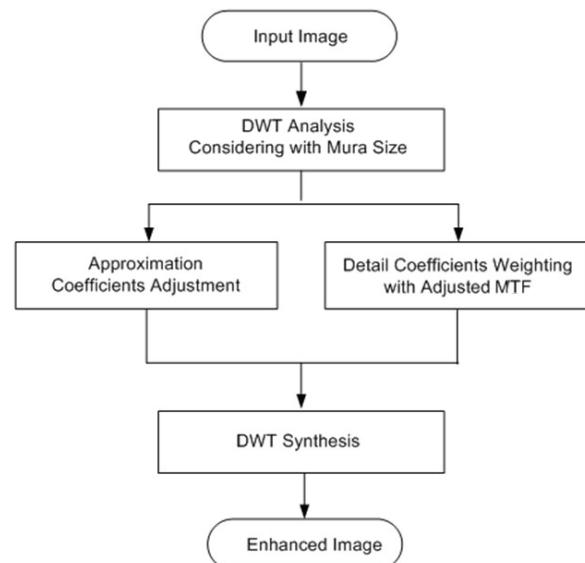


그림 5. 제안한 방법의 흐름도.

Fig. 5. Flow chart of the proposed method.

함은 보존할 수 있는 방법을 그림 4의 흐름도에 따라 제안하였다. 제안한 방법은 결함의 크기를 고려하여 웨이브렛 분해 레벨을 결정하는 과정, 웨이브렛 근사계수(approximation coefficients)처리, 웨이브렛 상세계수(detail coefficients)처리로 이루어져 있다.

먼저 영상을 웨이브렛 변환을 수행한 뒤 웨이브렛 근사계수(approximation coefficients)와 상세계수(detail coefficients) 재조정을 통하여 입력 영상을 개선한다. 이 때 웨이브렛 분해 레벨은 입력 영상의 결함 사이즈를 고려하여 결정한다. 예를 들어 영상 내 결함의 공간 사이즈의 최대값이 16*16 이하일 때 분해 레벨을 5로 정하여 결함의 정보가 최대한 흩어지는 분해 레벨을 웨이브렛 분해 레벨로 정한다. 또한 웨이브렛 근사 계수와 상세 계수를 다른 목적으로 처리 한다. 즉 근사 계수는 전체적인 흐름 변화를 보정하기 위한 처리를 하며, 상세계수는 각 대역별로 재조정한 MTF의 대역 평균값을 곱해준다.

평균계수는 식 (2)와 같이 모든 웨이브렛 근사계수 $W_{AC}^T(x, y)$ 를 웨이브렛 분해된 근사계수 $f(x, y)$ 의 평균값으로 치환한다.

$$W_{AC}^T(x, y) = \frac{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N f(x, y)}{MN} \quad (2)$$

상세 계수값을 처리하기 위해 먼저 그림 5에 나타난 재조정된 MTF를 생성한다. 재조정된 MTF 필터는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$MMTF(f_{nor}) = \frac{H\left(\frac{\pi f}{64}\right)}{H(0)} \quad (3)$$

여기서 $H(0)$ 은 약 0.499이며, $f \leq \frac{\pi}{2}$ 에서는 Low-boost 필터

형태를 가지며, $f > \frac{\pi}{2}$ 에서는 고주파를 상대적으로 억제하는 모양을 가진다.

이를 웨이브렛 각 서브 밴드에 적용하기 위해서 식 (4)를 이용하였다. 즉 웨이브렛 상세 계수에 곱하는 가중치 값 $W_{DC}^T(x, y)$ 은 정규화된 $MMTF(f_{nor})$ 를 각 서브밴드의 평균

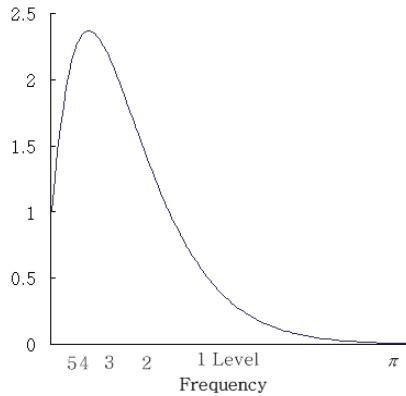


그림 6. 재조정된 MTF 필터.

Fig. 6. Adjusted MTF filter.

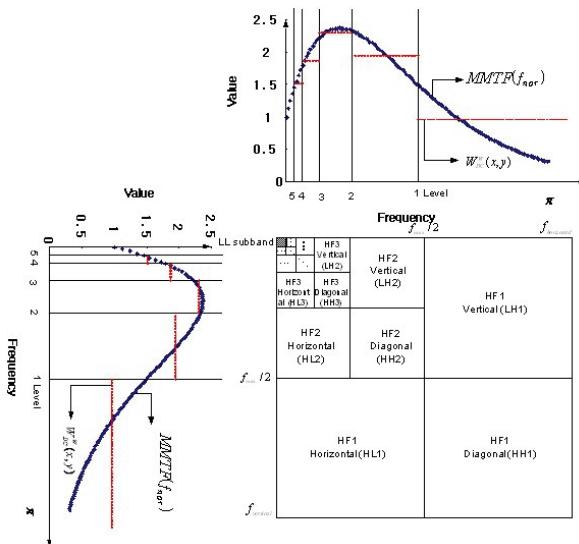


그림 7. 웨이브렛 영역에서의 상세계수 가중치.

Fig. 7. Detailed weight values in Wavelet domain.

값으로 나눈 값이다. 여기서 I 은 분해 레벨을 나타낸다.

$$W^{W_{DC}}(x, y) = \frac{\int_{B_l} MMTF(f_{nor})}{\int_{B_l} dw}, \quad B_l = \left(\frac{\pi}{2^l}, \frac{\pi}{2^{l-1}} \right), \quad (4)$$

따라서 인간 시각을 고려하여 마스킹된 상세계수 $W_{DC}^T(x, y)$ 은 원래의 상세계수 $w_{dc}^O(x, y)$ 에 가중치 $W_{DC}^W(x, y)$ 을 곱한 값으로 식 (5)과 같이 표현된다.

$$W_{DC}^T(x, y) = W_{DC}^W(x, y) w_{dc}^O(x, y) \quad (5)$$

제안한 방법은 5레벨 Daubechies (9,7)tap을 이용하여 웨이브렛 분해하였다.

V. 실험 및 분석

웨이브렛을 이용하여 MTF를 구현한 경우의 실험을 위해 다음의 그림 8과 같은 예제 영상을 사용하였으며, CSF를 적용하여 평탄화 된 조명 성분의 라인 프로파일을 다음의 그림 9~그림 11에 나타내었다. 1차원 라인 프로파일을 통하여 제안한 방법이 조명 성분을 평탄화되고, 조명 성분 외의 영역인 결함 영역은 보존하거나 다소 강조됨을 알 수 있다.

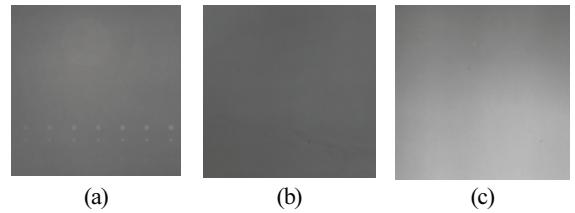


그림 8. 실험을 위한 저해상도 TFT-LCD 원영상.

Fig. 8. Original row resolution TFT-CD images for experiments.

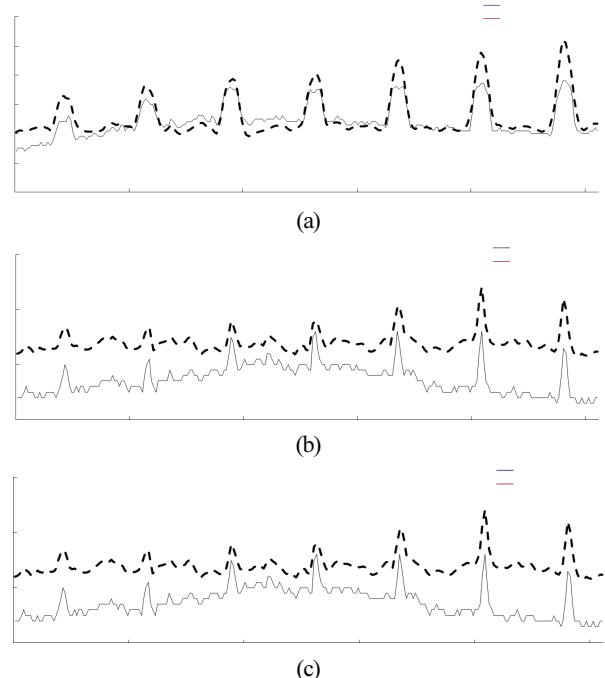


그림 9. 그림 8(a)의 MMTF 적용 전 후의 라인 프로파일.

Fig. 9. Line profiles before MMTF filtering in 8(a).

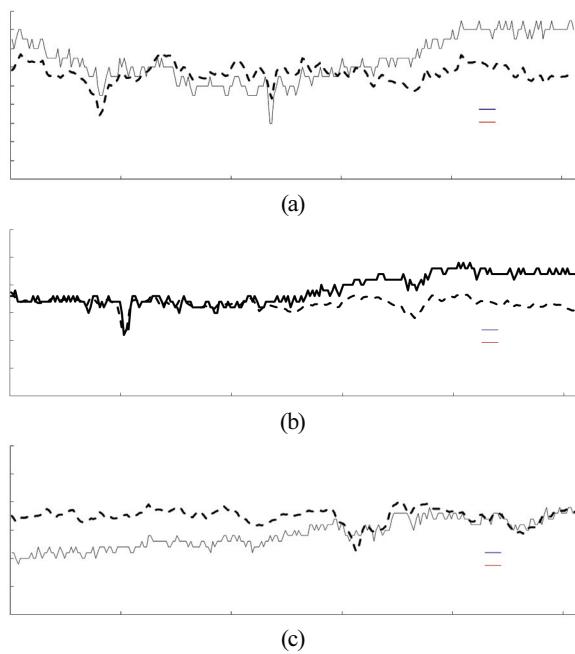


그림 10. 그림 8(b)의 MMTF 적용 전 후의 라인 프로파일.

Fig. 10. Line profiles before MMTF filtering in 8(b).

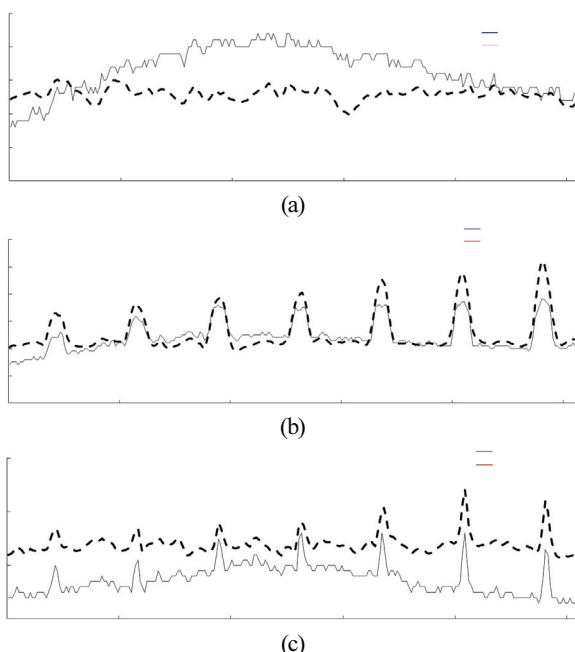


그림 11. 그림 8(c)의 MMTF 적용 전 후의 라인 프로파일.

Fig. 11. Line profiles after MMTF filtering in 8(c).

실험 결과 그림 9-11에서 보이는 바와 같이 MMTF 적용 전의 굴곡진 배경 프로파일이 MMTF 적용 후 보다 균등하게 개선되었으며 이에 따라 결함 부분의 정보도 더 변별력이 향상 되었음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 본 연구에서는 TFT-LCD 표면 영상에 대하여 실제 인간 시각이 인지하는 특성을 반영한 영상 개선을 수행하였다. 인간 시각은 내 회도 흐름 (불균일도)과 같은 저

주파 상에서의 회도 변화에 대한 감지력이 더 뛰어나다는 특성을 이용하였다. 이러한 인간 시각의 특성을 함수화 한 MTF (Modulation Transfer Function)를 웨이브렛 도메인에 적합하게 수정하고, 이를 통해 내부 조명을 평탄하게 모델링하면서 결함정보는 보존하는 알고리즘을 설계하였다. 실험 결과 굴곡진 배경 프로파일이 균등하게 개선되었으며 이에 따라 결함 부분의 정보도 증폭되어 결함 추출을 더욱 신뢰성 있게 처리 할 수 있다.

REFERENCES

- [1] E. N. Malamas, E. G. M. Patrakis, M. Zervakis, L. Petit, and J. D. Legat, "A survey on industrial vision systems, applications and tools," *Image and Vision Computing*, vol. 21, no. 2, pp. 171-188, Feb. 2003.
- [2] R. Sablatnig, "A flexible concept for automatic visual inspection," *Czech Pattern Recognition Workshop'97, Proc. of (CPRW'97)*, 1997.
- [3] J. H. N. Mattick, R. W. Kelsall, and R. E. Miles, "Improved critical area prediction by application of pattern recognition techniques," *Microelectronics Robustness*, vol. 36, no. 11-12, pp. 1815-1818, Dec. 1996.
- [4] H. F. Ng, "Automatic thresholding for defect detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 14, pp. 1644-1649, Oct. 2006.
- [5] G. A. Allan and A. J. Walton, "Efficient critical area estimation for arbitrary defect shapes," *Workshop on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems (DFT '97)*, vol. 7, no. 3, pp. 284-292, Aug. 1994.
- [6] W. Zhu, Q. L. Cao, J. Rhodes, and Z. M. Hijazi, "Measurement atrial septal defect size: a comparative study between three-dimensional transesophageal echocardiography and the standard balloonsizing methods," *Pediatric Cardiology*, vol. 21, no. 5, pp. 465-469, Sep. 2000.
- [7] S.-H. Kim, I.-K. Jung, C.W. Park, and J.-H. Hwang, "Efficient object tracking system using the fusion of a CCD camera and an infrared camera," *Journals of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 3, pp. 229-235, Mar. 2011.
- [8] D. W. Lee, J. H. Kim, and H. J. Kim, "Depth estimation for image-based visual servoing of an under-actuated system," *Journals of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 1, pp. 42-46, Jan. 2012.
- [9] G. S. Kim, S. Lee, J.-S. Park, and J.-S. Cho, "Study on effective visual surveillance system using dual-mode (Fixed+Pan/Tilt/Zoom) camera," *Journals of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 7, pp. 650-657, Jul. 2012.

허 경 무

1979년 서울대학교 전자공학과 학사졸업. 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업. 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업. 2005년 2월~2011년 6월 단국대 전자부품 검사자동화 지역혁신센터(RIC) 소장.

20011년 1월~2012년 12월 대한전자공학회 시스템및제어 소사이어티 회장. 1993년~현재 단국대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어.





주 영 복

1991년 연세대학교 전산과학과 석사.
1997년 UNSW 컴퓨터공학과 석사. 2001
년 UNSW 컴퓨터공학과 박사. 2008년
경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 BK
연구교수. 2009년 연세대학교 BK 연구
교수. 현재 한국기술교육대학교 조교수.

관심분야는 영상 신호 분석, 자동결합 검사시스템 등.