

스크린골프를 위한 다중노출 이미지 촬영 시스템 연구

정재욱*, 김진솔**, 한민수*

요약

한국에서 스크린골프 산업은 빠르게 성장하고 있는 산업 분야 중 하나로서, 2009년 전체 사업규모는 1조원에 달하고 있다. 스크린 골프는 공 운동 정보 측정 센서, 컴퓨터 그래픽 게임 등으로 구성이 되는데, 이 중 가장 핵심적이고 기본이 되는 것이 골프공의 속력, 방향각, 발사각 등의 운동 정보를 측정하는 센서이다. 골프공의 운동 정보 측정을 위한 센서의 종류로는 적외선, 레이저, 레이다, 초고속 카메라 방식 등이 존재하는데, 초고속카메라를 이용하는 방식이 성능이 가장 우수한 것으로 평가 받고 있다. 그러나 초고속카메라 방식은 고가라는 단점이 있어서 스크린 골프용 센서로는 각광 받고 있지 못 하다. 본 연구에서는 초고속 카메라 성능을 낼 수 있는 저가형의 외부 조도 변화에 강한 다중노출 이미지 촬영 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 실제 스크린 골프 매장과 동일한 환경에 설치하여서 조도에 대한 강인성 및 이미지 획득의 안정성을 검증하였다.

A Study on a Multi-Exposure Camera System for Screen Golf

Jae-Wook Jung*, Jin-Sul Kim**, Min-Soo Hahn*

ABSTRACT

Realistic sports games have been one of the growth industries of the entertainment field. In particular, screen-golf, which is played indoors with actual golf clubs and balls, has shown an outstanding growth rate in South Korea. It consists of a sensor, a computer graphics engine, an interior, and other elements. The sensor is the most essential component among them. It measures the initial conditions of a flying golf ball, the velocity, the horizontal angle, and the vertical angle. Most commercialized measuring equipments were infrared LED type, associated with relatively low accuracy and a narrow measurement range. Camera-based screen-golf sensors has better performance, but it is not broadly used expensive compared with other sensors. In this research, a multi-camera system based sensor that captures multi-exposure images is suggested with the robustness against the interference of an external lighting. The proposed system was verified in an environment equal to that of a real screen-golf store.

Key Words : Multi-exposure image, synchronization board, screen-golf

* 한국과학기술원 디지털미디어연구소

** 나사렛대학교 멀티미디어학과

· 제1저자(First Author) : 정재욱 · 교신저자(Correspondent Author) : 한민수

· 접수일(2010년 3월 24일), 수정일(1차 : 2010년 4월 26일), 게재확정일(2010년 5월 3일)

1. 서 론

건강에 대한 관심과 함께 최근 실감형 스포츠 게임이 각광을 받고 있다. 가정용 게임기로는 Nintendo Wii가 출시되었으며, 매장에 가서 즐기는 엔터테인먼트로는 스크린 골프가 있다. 스크린 골프는 사용자가 실내에서 실제 골프 클럽 및 골프공을 이용해서 샷을 하면, 타격 된 공의 운동 정보를 측정하여 예상 경로를 시뮬레이션 해서 영상으로 출력해주는 게임을 지칭한다. 한국에서는 가격적인 문제로 야외 골프장에 대한 접근성이 낮기 때문에 스크린 골프 산업이 더욱 각광을 받고 있으며, 2009년 기준 스크린 골프 전체 산업 규모는 1조원에 달하고 있다.

스크린 골프 시스템의 구성 요소로는 타격 된 골프공의 속력, 방향각, 발사각 등의 운동정보를 측정하는 센서, 측정한 운동정보를 토대로 골프공의 예상 운동 경로를 계산하는 물리 엔진, 계산된 경로에 따라서 공이 날아가는 것을 보여주는 컴퓨터 그래픽 게임, 네트 워크망 등이 있다. 이 중에서, 골프공의 운동 정보를 측정하는 센서가 가장 중요한 구성 요소이다. 기존의 골프 클럽이나 공을 제조하는 장비 업체에서도 장비 성능의 평가를 위해서 골프공의 운동 정보를 측정하기 위한 시도가 있었다 [1].

그 결과 초고속카메라 또는 레이더를 사용하는 장비가 이미 상용화되어 있으나, 스크린 골프용 센서로 사용하기에는 고가라는 단점 및 운동 정보 측정 시간이 길다는 단점이 존재하고 있다.

이런 단점을 해소하기 위해서 스크린 골프 업체에서는 스크린 골프용 센서를 자체 개발하였다. 지금까지는 적외선, 레이저 방식이 주로 사용되었으나 [2], 최근에는 정확도가 더 우수한 고속카메라 방식의 스크린골프용 센서들이 나오고 있다. 그러나 고속카메라 방식의 스크린골프용 센서는 적외선 방식의 스크린골프용 센서에 비해서 상대적으로 고가라는 단점 그리고 외부 조도에 취약하다는 단점을 가지고 있다.

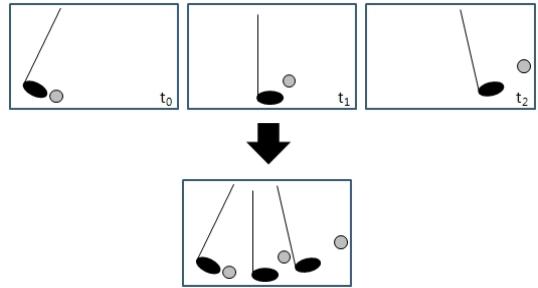


그림 1. 다중노출 이미지 원리

Fig. 1. The concept of a multi-exposure image
(1행: 초고속 카메라 방식, 2행: 다중노출 방식)

카메라를 사용해서 골프공, 축구공, 야구공 등 공의 운동 정보 측정과 관련된 연구로 한 대의 카메라로부터 획득한 영상으로부터 운동 정보를 측정[3], [4], 초고속 카메라를 사용해서 볼의 회전을 측정 [5], 다중노출 이미지를 통한 야구공의 움직임 측정 [6] 등이 있다. Theobalt의 연구는 스트로보 조명과 카메라를 사용해서 다중노출 이미지를 획득함으로써 야구공의 움직임을 측정하고 있는데, 이는 저가로 초고속 카메라의 성능을 낼 수 있는 방식이다. 그러나 상기의 시스템은 야구공을 위한 방식으로서 고속으로 움직이는 골프공의 움직임 측정을 위한 방식으로는 부적합하다. 골프공의 경우 성인 아마추어 골퍼의 구속이 약 60m/s ~ 70m/s 이며, 프로의 경우는 90m/s, 장타자의 경우는 100m/s로 야구공(41m/s, 150 km/h)에 비해 고속이다. 아울러 상기의 연구는 조명 조건을 통제된 실험실 환경에서 진행된 연구 결과이다.

본 연구에서는 골프공의 운동정보 측정을 위해, 고속으로 움직이는 골프공을 촬영하기 위한 시스템으로서 다중노출 이미지 촬영 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 한 프레임 내에서 3번 노출을 시켜서 다중노출 이미지를 획득한다. 아울러 외부 조도 변화에 의한 영향에 강인한 다중노출 이미지 획득을 위해서 카메라 내부셔터와 LED 스트로보 조명의 동기화 방식 또한 함께 제안한다.

그림 1이 제안하는 시스템을 통한 이미지 획득 방식을 설명하고 있다. 골퍼가 클럽으로 공을 타격할 때, 초고속 카메라로 촬영한다면 그림 1-(1행)과 같이 복수의 이미지로 나뉘어서 촬영이 된다. 그러나 다중노출 이미지 방식으로 촬영하면 그림 1-(2행)과 같이 한 장의 이미지에 골프공 및 클럽이 중첩이 되어서 촬영되게 된다. 그림 2는 제안하는 시스템을 통해서 획득한 실제 다중노출 이미지이다. 골프공 및 클럽이 3회 중첩되어 촬영된 것을 볼 수 있다.

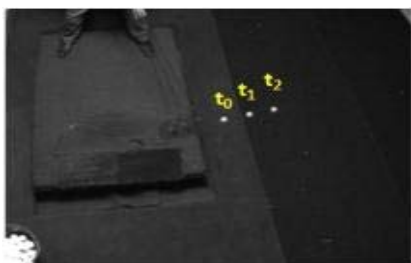


그림 2. 실제 촬영한 다중노출 이미지
Fig. 2. A captured multi-exposure image

제안하는 다중노출 이미지 촬영 시스템은 실제 스크린 골프 매장과 동일한 환경에 설치되어 외부 조도 변화에 대한 강인성 평가 및 다중노출 이미지 획득의 안정성 평가를 진행하였다.

II. 다중노출 이미지 촬영 시스템

2.1 시스템 구성

제안하는 다중노출 이미지 촬영 시스템은 2개의 CCD 카메라, 1개의 LED 스트로보 조명, 2개의 카메라 트리거 보드 그리고 1개의 동기화 보드로 이루어진다. 2개의 카메라를 사용하는 이유는 2장의 2D 이미지로부터 골프공의 3차원 운동 정보를 재구성하기 위해서이다 [7]. LED 스트로보 조명은 그림 3(c)의 LED 5개로

구성된 모듈, 20개로 이루어져 있다. 즉, LED 스트로보 조명은 총 100개의 LED를 사용하며, 순간 조도 약 2000 lx로 한 프레임 내에서 3회 발광한다. LED 스트로보 조명이 발광하는 순간에 이미지가 촬영된다. 그림 3(b)의 카메라 트리거 보드는 하드웨어적으로 카메라로 촬영 신호를 입력하기 위한 역할을 한다. 마지막으로 그림 3(a)의 동기화 보드는 2개의 카메라와 LED 스트로보 조명을 동기화시키는 역할을 한다. 2개의 카메라가 동기화 되어 같은 시점의 골프공을 촬영해야, 추후 3차원 좌표 복원을 통한 골프공 운동 정보 측정의 정확도가 높아진다.

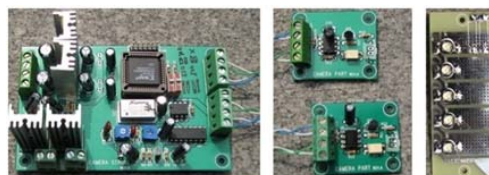


그림 3. H/W 구성
Fig. 3. H/W components
(a) 동기화 보드, (b) 트리거 보드, (c) LED 모듈

제안하는 시스템은 그림 4와 같이 실제 GolfZon의 스크린골프 매장과 동일한 환경에 설치되었다. 카메라는 공을 놓는 타격대 상단의 전방 및 우측면부에 각 1개씩을 설치하였고, LED 스트로보 조명은 타격대 상단부에 설치하였다.



그림 4. 시스템 설치 환경
Fig. 4. The system installation

2.2 다중노출 이미지 촬영 시스템 V1.0

제안하는 시스템은 2대의 카메라의 촬영 시점을 동기화 시켜서 640X480 해상도의 이미지를 75 fps로 촬영하며, 한 프레임 당 3회 다중 노출을 시키고 있다. 시스템 V1.0의 타이밍도는 그림 4와 같다. 동기화 보드는 2대의 카메라 그리고 LED 스트로보 조명으로 동시에 트리거 신호를 13.33ms (75fps) 주기로 발생시킨다. 트리거 신호가 입력되면 카메라는 셔터를 개방하고, LED 스트로보 조명은 셔터의 개방 시간동안 3.03ms 간격으로 0.1ms 동안 3회 발광한다. 이를 통해서 1장의 이미지 내에 총 3번 골프공의 움직임이 중첩되어 촬영되게 된다.

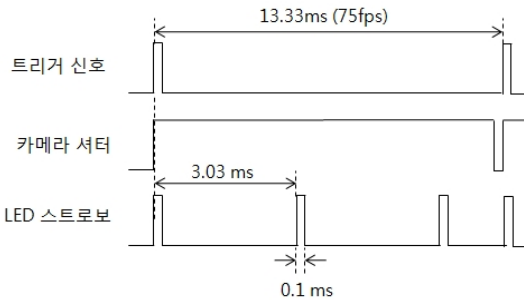


그림 5. 다중노출 이미지 촬영시스템 V1.0의 타이밍도

Fig. 5. The timing diagram of the V1.0

2.3 다중노출 이미지 촬영 시스템 V2.0

다중노출 이미지 촬영 시스템 V1.0에서는 그림 5의 방식으로 동작하였으나, 외부 조도에 의해서 그림 6과 같이 공과 공 사이에 하얗게 블러 효과가 발생하는 문제점이 발생하였다. 공과 공 사이의 블러는 추후 영상 처리를 통한 골프공의 운동 정보 측정 과정에서 정확도를 저하시킬 수 있다. 하얗게 블러가 발생하는 이유는 스트로보 조명의 발광 조도 대비 작용하는 외부 조도가 약 20%를 넘어 가면, 외부 조도 또한 마치 주조명처럼 작용하여서 운동하는 골프공의 궤적이 카메라 이미지 센서에 중첩되어 촬영되기 때문이다.

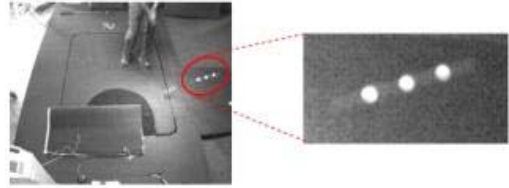


그림 6. 블러효과가 발생한 다중노출 이미지

Fig. 6. A multi-exposure image with blurring effect

외부 조명에 의한 조도의 영향의 정도를 파악하기 위해 실제 전국 47개 GolfZon의 스크린 골프 매장 조도를 측정한 결과 평균 조도는 205 lx, 가장 밝은 매장은 605 lx(LED 스트로보 대비 약 30%)의 외부 조도를 가지고 있었다. 외부 조명에 의한 블러 현상을 해결하기 위해서 다중노출 이미지 촬영 시스템 V2.0에서는 카메라 내부셔터 방식을 도입하였다. 내부셔터 방식이란 카메라 외부 셔터가 개방 되더라도, 카메라 내부 셔터가 열리는 순간에만 이미지 센서에 값이 기록되는 방식이다. 그림 7의 타이밍도에 보이듯이 카메라 외부셔터의 개방 시간 동안 LED 스트로보 조명의 발광 순간과 카메라 내부셔터를 동기화 시켜서 3번 개방한다. 카메라 내부셔터와 LED 스트로보 조명의 동기화 방식을 통해서 V2.0에서는 외부 조도에 의한 블러 현상을 해결 할 수 있다.

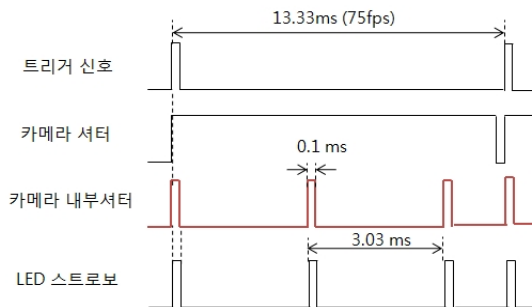


그림 7. 다중노출 이미지 촬영시스템 V2.0의 타이밍도

Fig. 7. The timing diagram of the V2.0

2.4 3차원 좌표 복원을 위한 DLT

2대의 카메라로부터 획득되는 2차원 이미지로부터 3차원 좌표를 추출하기 위한 카메라 보정 방법으로서 Direct Linear Transformation(DLT)를 사용하고 있다. DLT는 카메라 설치 과정에서 보정틀을 사용해서 미리 카메라 관련 파라미터를 추출하는 방식으로, 카메라 보정 단계가 필요하지만 3차원 복원 시 처리 속도가 빠르다는 장점이 있다.

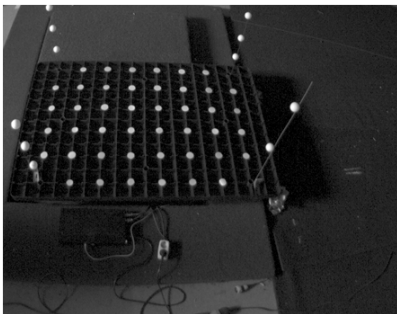


그림 8. DLT 보정 틀
Fig. 8. The frame for DLT Calibration

시스템 설치 시에 그림 8의 보정틀을 사용해서 양쪽 카메라 파라미터를 추출하게 된다. 보정틀을 총 38개의 보정점을 가지고 있으며, 보정점은 x, y, z 축으로 300 mm 간격으로 배치 되어 있다. 바닥면의 기준점은 지름 40 mm의 원판으로 구성되어 있으며, 기둥의 기준점은 지름 40 mm의 구로 이루어져있다.

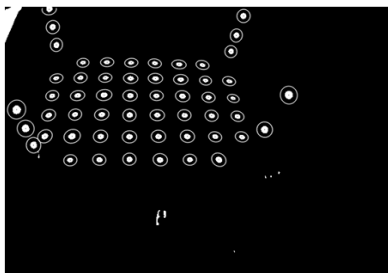


그림 9. 2차원 좌표 추출
Fig. 9. The extraction of 2D points

기준점을 타격대 위의 공간에 놓은 후, 각 카메라로부터 획득한 보정틀 이미지의 영상처리를 통해서 그림 9와 같이 2차원 보정점을 추출하여서 3차원 복원을 위한 카메라별 파라미터를 추출하게 된다.

III. 평 가

제안하는 다중노출 이미지 촬영 시스템은 실제 스크린골프 매장과 동일한 환경에서 외부 조도 변화에 대한 강인성 실험 및 다중노출 이미지 획득의 안정성에 대한 실험을 진행하였다.

3.1 외부 조명에 대한 강인성 실험

첫 번째 실험은 내부 셔터를 사용하는 다중노출 이미지 촬영 시스템 V2.0의 외부 조도 변화에 대한 강인성 평가였다. 인위적으로 외부 조명을 제공하기 위해서 그림 10에 보이듯이 13개의 할로겐램프로 구성된 외부 조명을 LED 스트로보 조명과 나란히 상단부에 설치하였다. 외부 조명의 밝기는 3단계로 조절 할 수 있다. 1단계에서는 549 lx, 2단계에서는 1125 lx, 3단계에서는 1481 lx의 외부 조도를 공급한다. 1단계의 549 lx가 실제 매장에서 측정된 최대 외부 조도인 605 lx의 90% 수준이며, 3단계인 1481 lx는 매장 최대 외부 조도의 약 2.5배 수준이다.

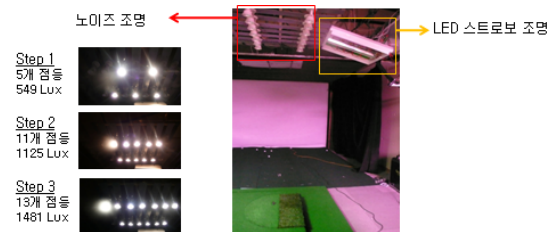


그림 10. 외부 조명에 대한 강인성 실험 환경
Fig. 10. The experiment set up for the robustness against external lighting

상기의 실험 환경에서 제안하는 다중노출 이미지 촬영 시스템 V2.0은 그림 6에서 발생한 블러효과 없이 그림2와 같은 이미지를 획득하는 것을 확인하였고, 이를 통해서 제안하는 시스템은 외부 조도 변화에 강인하게 다중노출 이미지 획득이 가능하다는 것을 검증하였다.

3.2 다중노출 이미지 획득의 안정성 실험

제안하는 시스템을 통한 다중노출 이미지 획득의 안정성 검증을 위해서 스크린골프 매장과 동일한 환경에서 3개월 동안 약 10,000회의 샷을 하였다. 1회의 샷은 카메라 별로 13장, 총 26장으로 구성된다. 즉, 총 약 260,000장의 다중노출 이미지를 촬영한 결과 99.998%의 안정도를 가지고 이미지를 획득함을 확인하였다. 260,000장 중 5장의 이미지에서 영상이 손상되어 들어오는 경우가 발생 하였는데, 이는 컴퓨터의 다른 부분에서 과부하가 걸려서 카메라로부터 컴퓨터로 이미지를 전송하는 과정에서 발생한 것으로 확인되었다. 따라서 제안하는 시스템은 다중노출 이미지를 안정적으로 획득함을 검증하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 스크린 골프용 센서를 위한 다중노출 이미지 촬영 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 75 fps로 동작하는 한 프레임 내에서 3.03ms 간격으로 총 3회의 이미지를 중첩해서 촬영가능하며, 카메라 내부셔터와 LED 스트로보가 동기화되어 동작함으로써 외부 조명에 의한 블러 효과를 방지 할 수 있다. 제안하는 시스템은 실제 스크린 골프 매장과 동일한 환경에서 외부 조명에 의한 강인성 및 다중노출 이미지 획득의 안정성을 검증하였다. 또한 추후 양쪽 카메라를 통해서 획득하는 2차원 다중 노출 이미지로부터 골프공의 중심점 추출을 통한 3차원 좌표 복원을 위한

연구를 카메라 파라미터 추출 방법을 제안하였다. DLT에 기반하는 방식으로서 38개의 보정점으로 이루어진 보정틀과 보정틀로부터 영상처리를 통해서 보정점 좌표 추출 및 카메라의 파라미터 추출까지를 포함한다.

다중노출 이미지 촬영 시스템 V2.0은 LED 스트로보 조명이 0.1ms 동안 발광하기 때문에 공은 10000fps 급의 초고속카메라로 찍은 것과 같은 형태로 다중노출 이미지가 획득된다. 따라서 촬영되는 다중노출 이미지에서 골프공의 중심점을 찾는 영상처리 알고리즘에 대한 연구를 통해서 3차원 좌표를 복원 및 비행하는 골프공의 운동 정보 측정이 가능 할 것이며, 이는 저가형의 초고속카메라 성능의 스크린골프를 위한 센서가 될 것이다.

참고 문헌

- [1] K. Masuda, K. Yataka, Y. Chujo, K. Kondo and K. Iijima, "Measurement of initial conditions of a flying golf ball," Proc. IEEE Int. Conf. Instrumentation and Measurement Technology, pp.344-347, 1994.
- [2] J.E. Bae, J.W. Kim, H.J. Kim and H. S. Park, "Estimation of 3-D Trajectory of the Golf Ball Using Dual Linear Sensor," Proc. Int. Conf. on INC, IMS and IDC, pp.2024-2030, 2009.
- [3] G. Boracchi, V. Caglioti and A. Giusti, "Ball Position and Motion Reconstruction from Blur in a Single Perspective Image," Proc. Int. Conf. on Image Analysis and Processing, pp.87-92, 2007.
- [4] V. Caglioti and A. Giusti, "Recovering ball motion from a single motion-blurred image," Computer Vision and Image Understanding, vol. 113, Issue. 5, pp.590-597, 2009.
- [5] H. Shum and T. Komura, "Tracking the translational and rotational movement of the ball using high-speed camera movies," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 3, pp.1084-1087, 2005.
- [6] C. Theobalt, I. Ibrecht, J. Haber, M. Magnor, and H.P. Scidel,

"Pitching a baseball - tracking high-speed motion with multi-exposure images," ACM Transactions on Graphics, vol. 23, Issue. 3, pp.540-547, 2004.

- [7] H. Hatzel, "High-precision three-dimensional photogrammetric calibration and object space reconstruction using a modified DLT-approach", Journal of Biomechanics, vol. 21, Issue. 7, pp.533-538, 1988.
- [8] 박구락, "가상화를 이용한 고가용성 시스템 연구", 한국지식정보기술학회 논문지, 제4권 제3호, pp.53-60, 2009.
- [9] 송성도, "CUDA를 이용한 포인터 렌더링 알고리즘", 한국지식정보기술학회 논문지, 제5권 제1호, pp.17-26, 2010.



정재욱(Jae-Wook Jung)

2004년 아주대학교 전자공학부
(공학사)

2006년 KAIST 디지털미디어전공
(공학석사)

2010년 KAIST 디지털미디어전공
박사과정 재학중

2007년 8월 ~ 2008년 2월 NICT(일본) 방문연구원

※ 관심분야: 센서 기반 인터페이스, 재미 기반의 인터랙션, 디지털 장난감, 실감형 스포츠 엔터테인먼트



김진술(Jin-Sul Kim)

2001년 Computer Science (BSCS),
University of Utah, USA

2005년 한국과학기술원 정보통신공학과
디지털미디어전공 (공학석사)

2008년 한국과학기술원 정보통신공학과
디지털미디어전공 (공학박사)

2005년 ~ 2009년 ETRI 한국전자통신연구원

2009년 ~ 현재 한국나사렛대학교 멀티미디어학과 교수

※ 관심분야: 디지털 미디어처리, 방송·통신 융합미디어처리



한민수(Min-Soo Hahn)

1979년 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 서울대학교 전자공학과(공학석사)

1989년 Electrical and Electronics
engineering, University of Florida,
USA (공학박사)

1982년~1985년: 한국표준과학연구원

1990년~1997년: 한국전자통신연구원

1998년~KAIST: KAIST 전자과 교수

※ 관심분야: VoIP, 음성 신호처리, 음성 합성, 디지털미디어등

