

---

# 실시간 환경에서 노인들을 위한 고신뢰도 낙상 검출 시스템

이영숙\* · 정완영\*\*

## A Highly Reliable Fall Detection System for The Elderly in Real-Time Environment

Young-Sook Lee\* · Wan-Young Chung\*\*

### 요 약

낙상이 탈골, 골절, 치명적인 머리 부상이나 심지어 죽음과 같은 심각한 결과를 초래하기 때문에 낙상 사건 검출은 특히 혼자 사는 노인들에 대해 가장 일반적인 문제들 중의 하나이다. 낙상이나 낙상과 관련된 부상들을 방지하기 위해서 최근 몇몇 기존 비디오 센서 기반의 방법들은 낮은 낙상 검출율을 보여주고 있다. 낮은 검출율 문제를 개선하고 시스템 성능을 높이기 위해, 본 논문은 실시간 환경에서 연속하는 차영상 간의 차와 시간적 템플릿(temporal templates)을 이용한 노인들에 대한 새로운 낙상 사건 검출 방법을 제시하였다. 제안된 알고리즘은 비록 한 대의 USB PC 카메라에 의해 획득된 낮은 질의 비디오 시퀀스임에도 불구하고 96.43 %의 성공적인 검출율과 3.125 %의 낮은 false positive rate를 얻었다. 실험 결과는 높은 검출율과 낮은 false positive rate에 관한 매우 기대되는 성능을 보여주고 있다.

### ABSTRACT

Fall event detection is one of the most common problems for elderly people, especially those living alone because falls result in serious injuries such as joint dislocations, fractures, severe head injuries or even death. In order to prevent falls or fall-related injuries, several previous methods based on video sensor showed low fall detection rates in recent years. To improve this problem and outperform the system performance, this paper presented a novel approach for fall event detection in the elderly using a subtraction between successive difference images and temporal templates in real time environment. The proposed algorithm obtained the successful detection rate of 96.43 % and the low false positive rate of 3.125% even though the low-quality video sequences are obtained by a USB PC camera sensor. The experimental results have shown very promising performance in terms of high detection rate and low false positive rate.

### 키워드

Fall detection, Health care monitoring system, Motion analysis, Object detection, Temporal templates, Video sensor

## I. 서 론

해마다 전 세계적으로 노인 인구가 증가함에 따라 2001년을 접어들면서 한국의 65세 이상의 노인 인구가 7%를 초과한 고령사회(aged society)로 진입하였다. 65

세 이상의 총인구를 차지하는 비율이 20%를 초과할 경우 최고령사회 혹은 후기고령사회(post-aged society)라 하며, UN의 추계에 따르면 2025년경에 접어들면 한국을 비롯한 일본(27.3%), 스위스(23.4%), 덴마크(23.3%), 독일(23.2%), 스웨덴(22.4%), 미국(19.8%), 영국(19.4%) 등

---

\* 동서대학교 디자인&IT전문대학원 유비쿼터스IT학과  
\*\* 동서대학교 컴퓨터정보공학부

이 초고령 사회로 접어들 것이라 예측하고 있다[1]. 인구에서 노인인구가 차지하는 비율이 높아질수록 혼자 사는 독거노인들의 수도 증가하고 있고 보호를 요하는 노인들의 건강에 대한 중요성도 높아가고 있다. 이에 독거노인들 뿐만 아니라 건강상태가 좋지 않은 사람들에 대해서도 시간과 장소에 구애됨 없이 개인의 질병예방과 진단 치료 및 다양한 의료 및 건강관리 정보서비스를 실시간으로 언제 어디서나 제공받을 수 있는 기술들이 요구되어 지고 있다. 만약 위급 상황이 발생되었을 경우 도움을 요청하거나 발생한 상태를 알 수 있는 어떠한 시스템도 갖추어져 있지 않을 경우에는 심각한 결과를 초래할 수가 있다.

주로 노인들에게 빈번히 발생하는 갑자기 쓰러져 낙상사고를 당해 무의식의 상태가 되거나 치명적인 부상을 입는 경우가 발생하는데 노인 인구 증가와 더불어 해마다 발생률이 늘어나고 있는 추세이다.

본 논문에서는 사람이 갑자기 쓰러지는 상태를 낙상(fall)이라 정의하고 노인들에게 있어 낙상은 가장 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 65세 이상 인구 중 약 1/3 정도가 부상을 입고, 골절, 탈골, 과도한 출혈 등의 심각한 부상을 입거나 죽음을 당하는 경우도 있다[2, 3]. 이러한 낙상으로 발생한 부상은 치료하기 위한 추가 의료비용을 증가시키는 주요인이 된다. 그러므로 낙상과 같은 사고가 발생한 직후의 빠른 대응과 발생 전의 예방을 위해 노약자들의 건강 상태를 체크하거나 인체 동작을 감시할 수 있는 헬스케어 서비스나 모니터링 시스템이 요구되어진다. 대부분 낙상 사고는 실내 환경에서 발생되어지고 헬스케어 모니터링 시스템은 예측이 어려운 사고 발생 시 신속한 대처 방안을 제공하며 독거노인들에게 삶의 질을 향상시키며 추가 의료비용을 줄이는데 중대한 역할을 담당한다.

외국의 경우 일반적인 방법으로 낙상과 같은 위급상황 발생 시 일반적으로 목걸이나 팔찌와 같이 착용하는 펜던트로 되어있는 커뮤니티 알람(community alarm)버튼을 눌러 가까운 응급센터에 도움을 요청하기도 한다.

현재 낙상 검출을 위해 연구되어지고 있는 방법으로는 임베디드 센서(embedded sensor)기반, 음파 센서(acoustic sensor)기반, 그리고 비디오 센서(video-sensor)기반 방법으로 분류되어질 수 있다[4, 5]. 첫 번째 방법으로 임베디드 센서의 대표적인 장비는 가속도계 장치(accelerometry device)를 이용한 웨어러블 검출기

(wearable detector)를 항상 착용을 해야 하므로 잊어버리는 경우가 잦은 노인들의 경우 불편함과 미착용 시 검출을 할 수 없다는 단점이 있다[6, 7]. 두 번째 방법인 음파 센서의 대표적인 장비로는 마이크로폰 어레이가 있으며 물체가 바닥에 부딪힐 때의 영향으로 진동이 발생하게 되는데 이 구성요소들을 이용하여 분석함으로써 낙상을 검출하는 방식이다. 그러나 이 방법은 해석이 어려운 가공하지 않는 데이터를 제공한다. 오늘날 많은 연구가 활발히 진행되고 있는 홈 헬스케어 모니터링 시스템 개발에 컴퓨터 비전 시스템은(Computer Vision System)은 이런 제약들을 보완하여 새로운 해결책을 제시해 주고 있다. 컴퓨터 비전 시스템의 주요 목적은 컴퓨터에 기반을 둔 다양한 종류의 영상 카메라 등의 시각(vision)능력을 통해서 영상 정보를 받아들인 컴퓨터가 주변 물체와 환경 속성에 대한 영상을 분석해 유용한 정보를 생성하고 추출하는데 있다. 특히 관심이 있는 물체 검출(object detection)과 물체 추적(object tracking)을 위한 분야에 활발히 사용되고 있다. 마지막 세 번째 비디오 센서 기반 방법은 카메라를 이용해 관심의 대상인 사람의 움직임을 추적하여 검출하는 방법이다. 다른 장비를 몸에 착용할 필요가 없으며 카메라로부터 획득되어진 영상 데이터를 이용해 이에 포함된 물체의 정보를 어려움 없이 해석하여 검출을 하므로 위의 언급된 단점들을 극복할 수 있는 해결책을 보여준다. 그러나 여전히 몇몇 연구되고 있는 방법들은 만족할 만한 검출율을 제공하지 못하고 있다[8, 9].

따라서 본 논문에서는 노약자에게 위급 상황이 발생 시 심각한 부상을 발생시키는 낙상 동작이 일어났을 때 검출할 수 있도록 하며, 낙상 검출에 신뢰성을 주는 효율적인 시스템 구현에 주안점을 두고 손쉽게 구입할 수 있는 USB PC 카메라에서 동영상을 캡처하여 실시간 환경에서 낙상을 검출하기 위한 비디오 센서에 기반을 둔 낙상 검출 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 시스템의 구성은 2 단계로 구분한다. 첫 번째 단계에서는 인접한 2개의 프레임 간 차영상을 구하고 차영상 간의 차에 대한 이진 영상을 구해 배경영상에서 분리된 관심 객체로 구성된 실루엣 영상(silhouette image)을 생성한다. 실루엣 영상은 물체 추적을 위한 객체의 크기와 위치정보와 같은 중요한 움직임 정보를 포함하고 있다. 이를 이용해 두 번째 단계에서 물체의 움직임을 추적하고 낙상 동작 검출을 위해 일정 시간에 대한 누적 실루엣

영상을 사용해 물체의 모션이 일어난 영역을 누적시킨 영상인 시간적 템플릿(temporal template) 영상을 생성하여 사용하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 낙상 검출 알고리즘에 대해 상세히 기술하고, III장에서는 실험 및 결과를 보인다. 마지막으로 IV장에서는 본 연구에 대한 결론을 맺도록 한다.

## II. 제안하는 낙상 검출 알고리즘

제안하는 낙상 검출 알고리즘은 캡처된 각 프레임에 대해 먼저 관심 있는 물체를 배경에서 추출하고, 물체 분할을 한 후 실루엣 영상을 생성하는 단계와 낙상 검출을 위해 물체 추적과 검출을 위해 시간적 템플릿 영상을 생성하여 물체의 모션이 일어난 영역을 누적시킨 영상을 이용해 낙상을 검출하는 내용을 설명한다.

### 2.1 실루엣 영상 생성

한 대의 고정된 USB PC 카메라에서 획득되어진 각 프레임은 RGB칼라 공간을 YCbCr 칼라공간으로 변환한 후 색채신호인 Cb 와 Cr값은 사용하지 않고 움직임 정보를 얻기 위해 충분한 휘도 성분인 Y 성분만을 고려하여 광도 프레임(intensity frame)을 생성시켜 특징들을 추출하기 위해 이용하였다.

광도 프레임에서 움직이는 객체 추출을 위해 일정 프레임 간격의 프레임들에 대해 인접한 두 프레임들 간의 각 픽셀값들의 차로 구성된 차영상(difference image)을 생성한다. 인접한 두 차영상 간의 차이 값으로 구성된 영상을 생성시킨 후 각 픽셀값이 일정 문턱치 이상이 되면 움직임이 일어난 픽셀로 판단하고, 그렇지 않을 경우 움직임이 없다고 판단한다.

객체 추출을 위해 먼저 배경영상을 생성하여야 한다. 카메라에서 획득된 일정 간격의 프레임들의 각 픽셀값들을 누적시킨 값에  $t$ 초 간격 내 프레임 수로 나눈 값들로 구성되어진 배경영상 모델을 구성하여 사용한다.

배경 영상을 기준 영상으로 저장한 후, 그다음부터는 기준영상과 비교하면서 인접하는 두 프레임 간 차영상  $DI_{(x,y)}$ 을 생성하여 구해진 차영상들 간의 차에 대해 일정한 문턱치  $T$  이상일 경우 움직임이 일어났다고 판단한다.

본 논문에서 낙상 검출에서 중요한 관심 물체의 정보

를 얻기 위해 차영상 간의 차를 특징값으로 생성하여 사용하는 주된 이유는 움직임이 일어난 픽셀값들과 움직임이 거의 일어나지 않거나 움직임이 없는 픽셀값들 간의 차를 더욱 크게 표현할 수 있어서 이러한 특징은 더욱 뚜렷한 특징을 포함하는 향상된 실루엣 영상을 생성할 수가 있다.

그러므로 영상 내 움직임이 일어난 부분에 대해 뚜렷한 특징값을 가진 향상된 값들을 얻게 됨으로써 이러한 모션 정보를 이용하여 관심 물체의 추적과 검출을 더욱 신뢰성 있게 분석할 수가 있다. 움직임이 없다고 판단되는 배경에서 움직임이 있는 물체를 추출하기 위해 먼저 차영상 간의 차에 대한 이진영상  $BDI_{(x,y)}$  생성을 위해 아래 식을 사용하였다.

$$BDI_{(x,y)} \begin{cases} 1 & |DI^i_{(x,y)} - DI^{i-1}_{(x,y)}| \geq T \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서 얻어진 이진 영상에 대해서 연결 구성 성분 분석(connected component analysis)을 사용해 물체 분할을 수행하였다[10]. 또한 분할되어진 영역에 대해 작은 홀(hole)들을 메우거나 크기가 매우 작게 분할된 고립된 픽셀들을 제거하기 위해 모폴로지 연산(morphology operation)을 수행하였다. 그 결과로 분할된 영역은 사람에 대한 템플릿 모델(template model)을 포함하는 실루엣 영상을 생성함으로써 관심 물체를 추출하였다. 여기서 시간에 따라 생성시킨 실루엣 영상들은 중요한 움직임 정보를 포함하고 있으므로 이를 이용해 물체가 이동되어진 경로 추적을 위해 사용될 수가 있다.

### 2.2 시간적 템플릿을 이용한 낙상 동작 검출

움직이는 사람과 같은 비강체(non-rigid body)인 물체를 대상으로 움직임을 추적하는 일은 특정 분석에 여러 가지 어려움을 주고 있다. 예를 들면 앉거나 일어서는 등의 동작이 카메라의 위치, 조명 조건이나 사람에 따라 같은 동작을 하였다 하더라도 다양한 동작들이 나올 수 있기 때문에 많은 제약성을 가지고 있다.

이러한 제약성들을 해결하기 위해 본 논문에서는 일정 프레임 간격의 인접한 실루엣 영상들에서 움직임이 일어난 물체 영역 위치와 크기 정보를 획득하여 시간적 템플릿 영상을 생성하였다. 생성된 시간적 템플릿 영상은 관심 물체 추적을 위한 움직임 영역들을 일정 시간 간

적으로 누적시킨 영상으로 해석되어질 수 있다.

시간적 템플릿 영상 내 움직임이 일어난 물체의 모션 영역의 크기 정보 뿐만 아니라 중심 위치를 찾기 위해 통계적 모멘트 분석(statistic moment analysis)을 이용하였다. 모멘트 특성들을 이용하여 물체의 중심위치와 물체의 폭과 높이를 얻을 수 있고 물체의 모션 영역을 포함하는 경계를 바운딩 박스(bounding box)로 표현하여 이를 이용해 물체의 동작을 추적하였다[11]. 최종적으로 물체의 바운딩 박스의 폭과 높이의 크기 변화량과 중심점 위치 변화량을 이용하여 낙상 동작을 검출하였다.

그림 1은 낙상 동작 영상 시퀀스의 예제를 보여주고 있다. 그림 1의 (a)는 낙상 동작 부분의 일부 프레임들이다. 제안하는 알고리즘은 실시간 낙상 검출 결과를 알 수 있도록 출력 시퀀스 내 프레임의 좌하단에 노란 글자로 "Fall"이 검출될 경우 "1"로 그렇지 않을 경우 "0"이 출력되어 실시간으로 결과를 볼 수 있도록 설계되었다. 그림 1의 (b)는 모폴로지 연산이나 이진화를 위한 필터가 적용되지 않은 차영상 간의 차를 이용해 일정 프레임 간 누적하여 생성된 실루엣 영상들을 보여주고 있고, 그림 1의 (c)는 일정 간격의 연속된 실루엣 영상들이 누적되어진 움직임이 많이 일어난 부분은 파란색 박스들로 표현되었으며, 노란색선으로 표시된 사각형이 추적하는 물체의 누적된 영역을 표시하는 영역 부분들이다.

### III. 실험 및 결과

본 논문의 실험 동영상은 PC 카메라에서 실시간 입력 받아 30 fps의 320×240 픽셀 해상도인 프레임 영상을 획득하였다. 개발환경은 Microsoft Visual C++ 6.0 통합개발 툴을 사용하였다. 실험 환경은 한쪽 벽 모서리의 2.2m 높이에 1대의 USB PC 카메라를 설치하였다. 사무실의 네 면의 벽 위쪽 반 부분이 유리로 되어있고 형광등 조명 아래에서 촬영하였다.

실험에 사용된 다양한 낙상 동작들은 모의실험 동작으로 걸어오면서 왼쪽으로 쓰러지기, 걸어오면서 오른쪽으로 쓰러지기, 서있다 앞으로 쓰러지기, 뒤로 쓰러지기 등으로 나눌 수 있고, 낙상 동작 이외의 나머진 일상적인 동작은 느린 동작으로 의자에 앉아있다 일어서기와 서있다 앉기, 빠른 동작으로 의자에 앉았다 일어서기와 서있다 앉기, 앉아 있기, 걸어 다니기, 서 있다 쭈그리고 앉기와 쭈그리고 앉았다 서기 동작이 있다.

표 1. 실험 영상 시퀀스에 대한 낙상 검출 알고리즘 결과.

Table. 1 Results for the fall detection algorithm on test image sequences.

	총수	낙상 발생	낙상 발생 안함
낙상 동작들	24	TP : 23	FN : 1
일상적 동작들	32	FP : 1	TN : 31

TP: true positive, FN: false negative

FP: false positive, TN: true negative

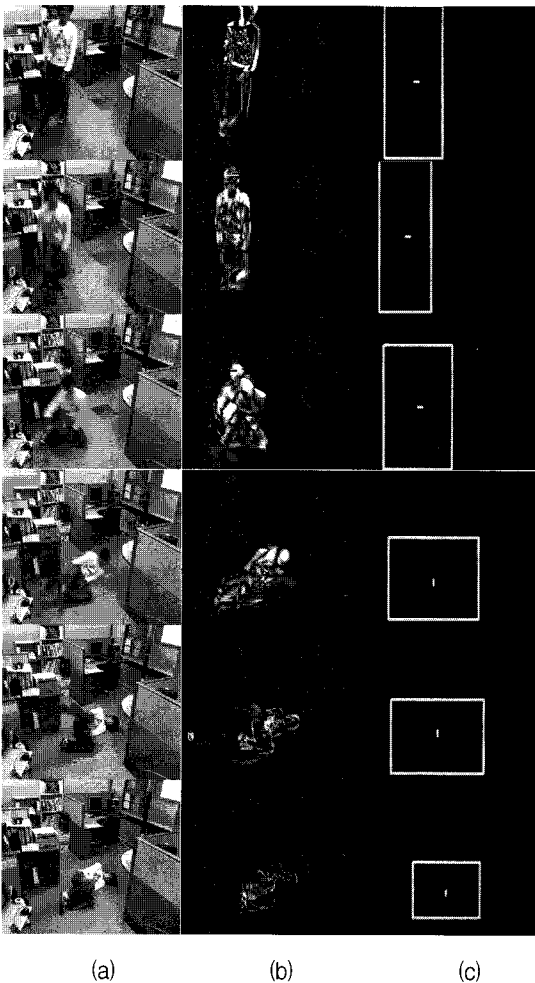


그림 1. 낙상 동작 영상 시퀀스; (a)입력 프레임, (b) 실루엣 영상, (c)시간적 템플릿.

Fig. 1. The fall event sequence: (a) input frames, (b) silhouettes, and (c) temporal templates.

표 1은 실험 영상 시퀀스들에 대한 제안하는 낙상 검출 알고리즘에 대한 결과를 보여주고 있다. 여러 가지 모의 실험된 낙상 동작에 사용된 24개의 실험 영상 시퀀스에서 23개(True Positive)가 낙상으로 정확히 검출되었고 단지 1개(False Negative)만이 검출되지 않았다. 낙상 동작에 대해서 미검출된 실험 영상 시퀀스는 서있다 뒤로 쓰러지는 동작을 함으로써 모션 누적 영상인 시간적 템플릿에서 이동 물체 크기 변화량이 크게 나타나지 않아 미검출 되었다.

본 실험은 한 대의 카메라를 이용한 2차원 영상만을 고려하여 시행되어졌기 때문에 만약 2대의 카메라에서 획득된 스테레오 영상을 이용하여 3차원 공간에서 얻을 수 있는 정보를 고려하게 되면 좋은 성능을 보여줄 것이다. 낙상 동작 이외의 동작들은 총 32중 31개(True Negative)가 맞게 검출되지 않았고, 낙상 동작으로 잘못 검출된 오검출(False Positive)수는 1개로 카메라의 위치에 매우 가깝게 촬영했을 때 앉는 동작에서 일어서면서 양손을 안경을 잡기위해 양옆으로 벌여지게 하는 동작을 한 경우로 모션 영역의 변화가 적어 오검출된 원인이 되었다.

낙상 검출율은  $(TP+TN)/(TP+TN+FN+FP)$ 로 구해줄 수 있고 false positive rate는  $FP/(TN+FP)$ 를 나타낸다. 실험결과에서 낙상 검출율은 96.43%의 좋은 성능결과를 보여주었고 false positive rate는 3.125%의 낮은 결과를 보여주고 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존 커뮤니티 알람 버튼, 임베디드 센서나 음파 센서를 이용한 방법에서 착용을 해야 하거나 획득된 데이터의 해석이 어려운 단점을 극복하기 위해 헬스케어 모니터링 시스템 구축을 위한 노약자들을 위한 비디오 센서기반 낙상 검출 알고리즘을 제안하였다.

저가로 구매할 수 있는 1대의 USB PC카메라로부터 획득되어진 영상 시퀀스에서 입력 프레임 영상을 얻고 칼라모델 변환을 통해 Y성분 만을 고려하여 연속하는 프레임 간 차를 이용해 차영상을 생성하였다. 움직임 정보를 좀 더 향상시키고 뚜렷하게 표현하기 위해 본 알고리즘에서는 차영상 간의 차를 사용해 실루엣 영상을 생

성하여 배경에서 물체를 분리하여 검출하였다. 일정 프레임 간격 내에 실루엣 영상들을 누적시켜 움직이는 물체의 위치 정보와 크기 정보를 획득해 모션 누적 영상을 생성하여 시간적 템플릿 영상을 구성하고 움직임 영역의 경계인 바운딩 박스 크기 변화량과 위치 정보를 추적하여 낙상 동작을 검출하였다.

향후 본 연구는 시스템을 좀 더 개선시키기 위해 스테레오 영상과 같은 3차원 정보를 이용하여 좀 더 세밀한 동작을 구별해 낼 수 있도록 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [ 1 ] <http://www.nso.go.kr>, 온라인간행물>한국의 사회지표: 1.인구/ 1-9. 부양비 및 고령화지수, 통계청 홈페이지.
- [ 2 ] A. Salva, I. Bolibar, G. Pera, C. Arias, "Incidence and consequences of falls among elderly people living in the community," *Med Clin*, pp. 172-176, 2004.
- [ 3 ] E.B. Hitcho, M.J. Krauss and S. Birge et al., "Characteristics and circumstances of falls in a hospital setting:a prospective analysis," *J Gen Intern Med.*, pp. 732-739, 2004.
- [ 4 ] N. Thome, S. Miguët, "A HHMM-based approach for robust fall detection," *9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1 - 8, 2006.
- [ 5 ] M. Alwan et al., "A smart and passive floor-vibration based fall detector for elderly," *Information and Communication Technologies*, 2006. *ICTTA '06. 2nd*, pp. 1003 - 1007, 2006.
- [ 6 ] N. Noury, "A smart sensor for the remote follow up of activity and fall detection of the elderly," *Microtechnologies in Medicine & Biology 2nd Annual International IEEE-EMB Special Topic Conference*, pp. 314 - 317, 2002.
- [ 7 ] A. Purwar and W-Y. Chung, "Signal processing from real-time triaxial accelerometer data for activity monitoring," *Proceeding of International Conference on Control, Automation and Systems 2007(ICCAS)*,

2007.

- [ 8 ] A. Sixsmith, N. Johnson, "A smart sensor to detect the falls of the elderly," *IEEE Pervasive Computing*, Volume 3, Issue 2, pp. 42 - 47, April-June 2004.
- [ 9 ] H. NAIT-CHARIF, S. Mckenna, "Activity summarisation and fall detection in a supportive home environment," In *International Conference on Pattern Recognition*, pp. 323-326, 2004.
- [10] Ioannis Pitas, *Digital Image Processing Algorithms and Applications*, WILEY, 2000.
- [11] I. Haritaoglu et al., "W4: Real-Time Surveillance of People and Their Activities", *PAMI(22)*, No. 8, pp. 809-830, 2000.

저자소개

이 영 숙(Young-Sook Lee)



1996년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2000년 부경대학교 전자계산학과 이학 석사

2007년 동대학원 이학 박사

2007년-현재 BK21 WSN 응용 u-헬스케어사업팀 박사후 연구원

※관심분야: 컴퓨터 비전, 머신 러닝, 컴퓨터 애니메이션, u-헬스케어

정 완 영(Wan-Young Chung)



1987년 경북대 전자공학과 졸업

1989년 동대학원 공학석사

1998년 일본 규슈대학 공학박사

1993-1999 세명대학교 전자공학과 조교수

1999년-현재 동서대학교 부교수

2004년-현재 u-IT 전문인력양성사업단(NURD)단장

2006년-현재 BK21 WSN 응용 u-헬스케어사업팀 팀장

※관심분야: 무선센서네트워크, 마이크로센서, u-헬스케어