

이종 사물인터넷 센서와 딥러닝에 기반한 독거노인 원격 모니터링 시스템의 개발 및 운영 사례 연구

윤 영^{1*}, 김현민², 이시우³, 사파 시아바시 푸리³

¹홍익대학교 컴퓨터공학과 교수, ²(주)너울리 연구원, ³홍익대학교 컴퓨터공학과 석사과정

Development and Operation of Remote Lone-Senior Monitoring System Based on Heterogeneous IoT Sensors and Deep Learning

Young Yoon^{1*}, Hyunmin Kim², Siwoo Lee³, Safa Siavash Pouri³

¹Professor, Department of Computer Engineering Hongik University

²Researcher, Neouly Inc.

³Master's Course, Department of Computer Engineering Graduate School of Hongik University

요약 본 논문은 독거노인의 복합적 행태를 이종 사물인터넷 센서들과 딥러닝 기법을 활용하여 인지하고 낙상, 잦은 기침, 수면의 질 감소, 발열 및 비정상적 생활 동선의 발생 등 위급하거나 건강이 저하되는 상황을 적시에 보호자 및 의료복지 담당자에게 알리고 적절한 후속 서비스를 추천 및 수행할 수 있는 시스템을 논한다. 독거노인들의 생활을 최대한 방해하지 않기 위하여 전면 비접촉식 상황 인식 기술을 선보인다. 본 논문은 센서 데이터의 수집 및 분석 체계의 설계와 구현 방법은 물론, 서울시 총 5개구 거주 독거노인들을 대상으로 실증한 경험을 통해 설치, 설정, 운영 및 유지 보수 측면에서의 다양한 문제점들을 서술하고 해당 시스템의 전국 확산에 대비한 향후 발전 방향을 제안한다.

주제어 : 독거노인, 원격 모니터링, 사물인터넷, 딥러닝, 센서

Abstract This paper presents a system that remotely monitors lone seniors at home and promptly alarms caregivers to recommend appropriate medical care services upon detecting abnormal behavior and critical conditions such as collapsing, excessive coughing, degradation of sleep quality, fever, and unusual indoor moving lines. Our system offers contactless monitoring techniques based on heterogeneous IoT sensors and deep learning to minimize the disruption to lone senior's daily life. In addition to the design and implementation of the sensor data collection and analysis system, we share our experience in installation, deployment, configuration, maintenance of the system through the case study conducted on the actual lone seniors living in Seoul Metropolitan. Based on our research, we recommend further development directions to prepare for the nationwide expansion of our system.

Key Words : Lone Seniors, Remote Monitoring, Internet of Things(IoT), Deep Learning, Sensors

*This research was supported by Basic Science Research Programs through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by Ministry of Education (2020R1F1A104826411), by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (Grant Number: HI19C0542020020), by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) and the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT), under Grants P0014268 Smart HVAC demonstration support and by 2021 Hongik University Research Fund.

*Corresponding Author : Young Yoon(young.yoon@hongik.ac.kr)

1. 서론

전체 노인 인구 중 독거노인이 차지하는 비율은 2000년 16.0%에서 2021년 19.6%로 증가하는 추세다 [1]. 이에 따라 노인 돌봄 서비스 등 다양한 노인 복지 서비스들이 제공되어왔다. 그러나 증가하는 노인 인구에 비해 고품질의 서비스를 안정적이며 지속적으로 제공할 수 있는 인력이 부족한 상태다[2]. 또한 지속적인 모니터링의 어려움으로 노인들의 상태, 서비스 전달의 효과성 등을 세밀하게 관찰하기 어렵다는 제한점을 보이고 있다. 또한 병원이 아닌 곳에서의 생활습관 등을 본인 진술에 의존하여 객관적인 근거를 확보하지 못하는 아쉬움이 있다. 특히 독거노인 가구가 지역에서 안정적으로 거주하기 위하여 필요한 서비스에 대한 정보는 욕구 설문과 명확한 데이터 등 객관적 근거가 부족한 실정으로 독거노인에 대한 생활실태 모니터링과 그에 따른 필요 서비스의 즉각적 조치계획이 부족한 실정이다. 이러한 문제를 극복하고자 정보 통신 기술(ICT)에 기반하여 독거노인들의 응급상황과 생활습관을 자동으로 인식할 수 있는 원격 모니터링 시스템이 연구되어왔다 [3-5]. 기존의 독거노인 모니터링 시스템들은 주로 접촉식 센서를 사용하거나 [6][7], 제한적으로 비접촉식 센서를 혼용하였다 [8]. 그러나, 기존 모니터링 시스템의 센싱 기능만으로는 다양한 독거노인의 행태를 인식하는데 한계가 있다.

단일 상황 인지에 국한한 기존 연구와는 달리, 본 논문에서는 이중 사물인터넷 센서들을 도입하여 습도, 기압, 온도 등의 거주지 환경 정보와 화장실 출입, 냉장고 개폐, 외출, 수면 정보 등의 생활 패턴 정보들을 수집한다. 또한, 딥러닝 기반 영상 분석 기술을 활용하여, 낙상 사고, 발열 및 기침 여부를 조기에 인식할 수 있도록 하였다. 비정상 상황이 포착되었을 경우, 사용자 친화적 알람 메세지들을 보호자 및 의료복지 담당자에게 전송하고 IMSAFE 시스템 [9]에 따라 적절한 후속 서비스를 추천 및 수행할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 시스템의 설계와 구현 방법의 서술에만 국한하지 않고, 서울시 독거노인들을 대상으로 실증한 경험을 통해 설치, 설정, 운영, 유지 보수 등에서의 다양한 문제점들을 공유하고 전국 확산에 대비한 향후

발전 방향을 제안한다.

2. 관련연구

독거노인은 다양한 만성질환으로 인해 원활한 일상생활이 어렵다. 또한, 독거노인은 예기치 않은 응급 상황에 신속하게 대응하기 어려워 의료 골든타임을 놓치는 경우가 많다[10]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 이성훈 등은 라즈베리파이를 활용하여 온도, 습도, 동작, 가스누출 감지 용도의 센서를 부착해 데이터를 수집하여 서버에 전송 후, 웹 기반 그래프를 통해 노인의 환경을 모니터링 할 수 있도록 하였다 [11]. 정재훈 등은 상용 스마트 밴드를 활용하여 독거노인들의 건강을 모니터링 하였다 [12]. 김남섭 등은 손목시계 형태의 장치에 가속도 센서를 부착하여 낙상과 같은 위험한 상황을 감지할 수 있는 기술을 개발하였다 [13]. 심준석 등은 웨어러블 센서를 벨트에 장착하여 착용 후 낙상을 인식하고, 스마트폰을 이용하여 실시간으로 데이터를 전송하여 수치화해 개인에 맞는 정보를 읽을 수 있도록 하였다 [14]. 동작 인식 시스템의 경우 사람의 관절마다 여러 센서를 부착하여 얻어진 좌표 값의 변화를 이용하여 행동을 인식할 수 있다 [15]. 그러나 접촉식 센서는 상시 착용을 요하며, 자가 탈부착이 어려울 수 있고, 생활 중 거동을 오히려 불편하게 하는 한계가 있다.

비접촉식 센싱 방식은 센서의 상시 착용에 대한 부담을 덜어주지만, 정확한 행태 인식에는 한계가 있을 수 있다. 비접촉식 센싱 방식의 대표적인 방식으로는 열화상 또는 깊이 측정 카메라를 이용한 영상 처리 기술을 활용하여 낙상 등의 행동을 인식하는 방법들이 존재한다 [16-18].

해외 연구 사례들 중 미국의 경우 최근 신체건강상태 모니터링을 위한 사물 인터넷 기반 헬스케어 기술이 상용화가 되어 서비스 되고 있다. 대표적으로 운동량이나 수면상태 측정을 위한 1)Fitbit 사의 핏빗포스, 식습관을 분석해주는 해피랩사의 해피포크, 당뇨병 환자의 혈당 측정을 위한 Google 사의 스마트렌즈, 아기 호흡과 피부 온도, 잠자는 자세, 활동량 수준 등의 정보를 부모의 스마트 폰으로 실시간 전송하는 2)Mimo사의 스마트 베이비 모니터 등의 제품이 인기를 끌고 있다. 또한 심장

1) www.fitbit.com

2) www.mimobaby.com

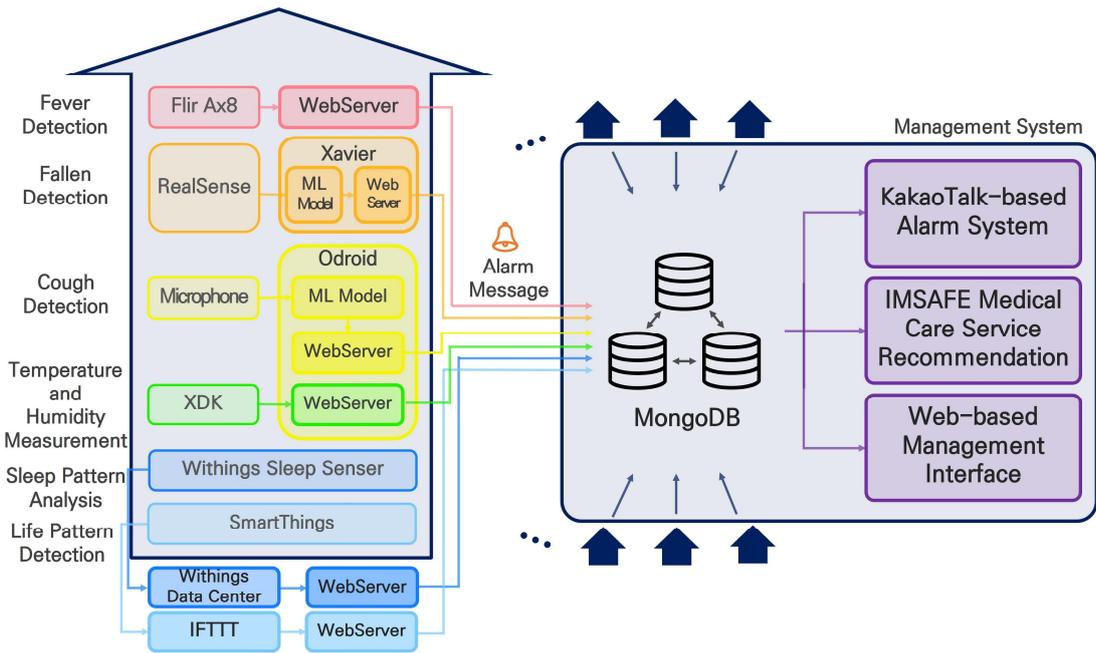


Fig. 1. Architecture of Lone-Senior Monitoring System

이상 여부를 판단하기 위한 미국 3)Coventis사의 픽스 (Piix), 정확화시간에 약복용을 도와주는 4)Vitality사의 GlowCap 등 스마트폰과 클라우드 기술을 연계한 다양한 헬스케어 서비스 디바이스들이 새롭게 출시되고 있다. 일본의 경우 건강관리와 의료서비스가 결합된 '어 디서나 My 병원' 서비스를 2013년에 시행하였다[19]. 즉, IoT 기반 초고령 사회를 스마트 플랫폼 사회로 규정하고, 이를 실현하기 위한 정책을 추진하고 있다. IoT를 활용하여 시장 수료를 파악하고 수요에 대응하는 상품 판매 등 비즈니스에 종사하게 하고 있고 의료·간호·건강분야 데이터를 공유하고 활용하기 위한 기초적 인프라를 구축하고 있다. 예를 들어, 자택에 설치한 센서가 수집한 정보를 간호·요양소·의료기관 등에 전송하도록 정보통신기술을 활용하고 있다. 일본은 정보통신기술과 로봇기술을 접목하여 노인복지서비스를 제공하기 위한 노력을 기울이고 있다. 예를 들어 간호와 간병업무 지원을 위해 보행, 재활, 식사, 독서 등을 지원하는 자립 지원형 로봇, 커뮤니케이션을 담당하는 돌봄 로봇 등을 개발하고 있다. 유럽의 경우 2008년 유럽 연합이 제정한

5)'생활환경지원 Ambient Assisted Living Joint Programme'은 정보 통신 기술 프로젝트의 자금 지원을 통해 노인들을 위한 더 나은 생활 환경을 조성하는 것을 목표로 했다. AAL JP는 '집에서, 지역 사회에서, 그리고 직장에서 건강한 노화를 위한 혁신적인 ICT 기반 제품, 서비스 및 시스템의 출현을 장려하기 위해 설립되었다. 그 중 SOFTCARE 프로젝트가 있는데 SOFTCARE 프로젝트는 홈 기반 키트를 제공하여 노인 사용자의 일상 활동에 관련되고 유용한 정보를 간병인에게 전달하여 낙상시 간병인에게 경고하는 가정 기반 키트를 제공함으로써 가정 모니터링 분야에서 크게 발전하는 것을 목표로 한다. 특히 위험한 상황과 관련 있을 수 있는 비정상적인 행동역시 감지하는 역할 및 경고하는 시스템을 갖추고 있다. 또한 SOFTCARE는 간병인과 노인 사용자에게 음성 통신 채널을 제공하였다. 이 프로젝트는 홈 모니터링 시스템의 유용성, 가속도계 정보 및 위치를 기반으로 한 활동 인식 등 위험상황을 모니터링 하는데 기여하였다.

본 논문에서는 기존의 연구와 달리 수면 정보, 온도,

3) www.coventishealth.com

4) www.vitalitygroup.com

5) www.aal-europe.eu

습도 등의 환경 정보 및 낙상, 의료서비스 등을 종합적으로 수집하여 활용한다. 또한, 전면 비접촉식 센싱 기술의 활용과 편의성을 최대한 유지하고 딥러닝에 기반하여 독거노인들의 다양한 행태를 정확하게 인식할 수 있는 기술을 선보인다. 본 논문은 시스템의 개발은 물론 운영상의 문제들도 논한다.

3. 시스템 구성

본 연구에서 시스템 구현을 위해 선정한 센서들의 선정 방식은 독거노인의 서비스 욕구 및 실태 파악을 통해서 이루어진 것이다. 독거노인의 서비스 욕구 및 실태 파악은 중앙보훈병원과 서울 강동구 내 노인종합복지관을 통해 조사시점 기준으로 누구와도 함께 거주하고 있지 않은 65세 이상인 노인들로 392명을 산출하여 개별 면담 및 설문 조사를 통해 파악하였다. 본 조사에서는 IoT 기술 개발의 관점에서 접근하여 독거독거노인에 대한 일상생활에서의 장애 및 위험요인을 파악하고 욕구 조사를 바탕으로 자택에서 생활하고자 하는 독거노인에게 제공되어야 하는 서비스를 파악하여 객관화하고자 하였다. 따라서 독거노인의 생활체계 분석을 위해 기본 정보를 포함한 경제생활, 생활환경, 일상생활, 건강, 사회심리적 관계, 여가생활, 응급상황 등이 반영되도록 구성하였다. 이러한 결과를 토대로 독거노인 모니터링 시스템은 발열, 낙상, 기침, 수면 등의 건강 상태, 온도, 습도 등의 환경 정보와 화장실 출입, 냉장고 개폐, 외출 등의 생활 패턴을 인지하는 센싱부, 데이터를 수집하고 저장할 수 있는 사물인터넷과 분산 데이터베이스 및 위급 상황 알림, 의료 복지 추천 서비스 등의 관제 시스템 등으로 구성 되어 있다. Fig. 1을 참고하여 구성 요소별 구체적인 설명은 다음과 같다.

3.1 이종 센싱부

본 연구에서는 신체에 탈부착하는 접촉 방식이 아닌 전면 비접촉식 방식을 취하여 독거노인들의 거동과 생활에 최대한 부담이 되지 않는 방식을 취한다. 또한, 사물인터넷을 통해 데이터를 전송할 수 있는 인터페이스를 제공하는 센서들을 도입하였다. 각 센싱 기술에 대한 설명은 다음과 같다.

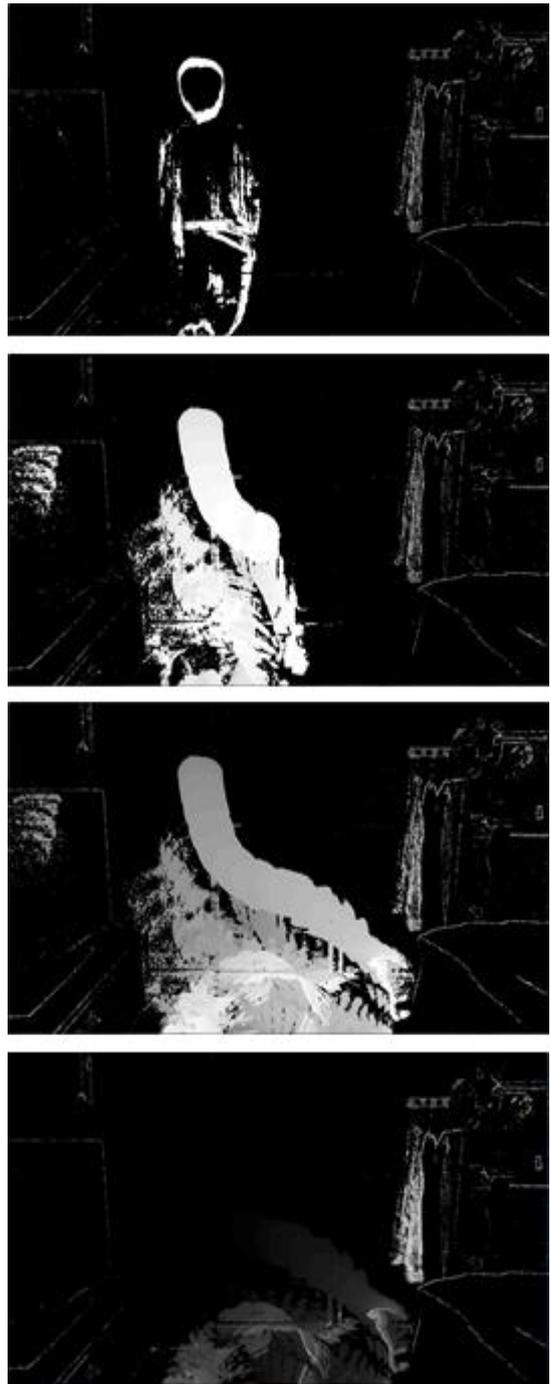


Fig. 2. Fall-down captured with MHI

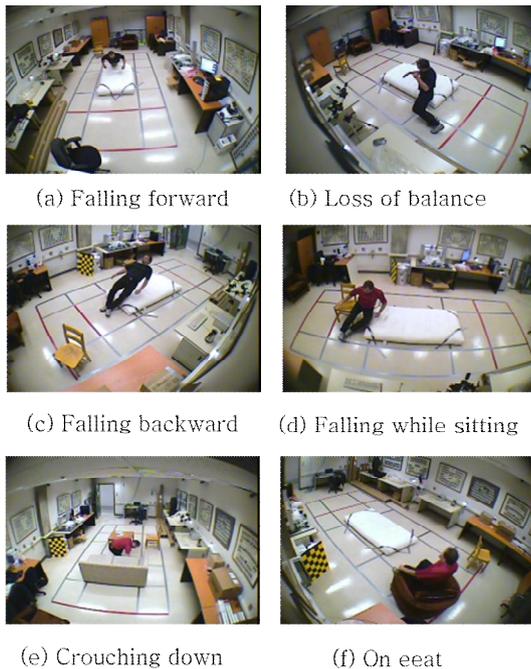


Fig. 3. FDD Samples

3.1.1 낙상 인식

여러 동작들 중 심각한 외상으로 이어질 수 있으며 특히 독거노인들이 취약한 낙상을 인식하는 데에 초점을 두었다. 본 논문에서는 카메라와 딥러닝 기반의 영상 분석 기술을 응용하여 실시간으로 낙상을 인식한다. 낙상은 주·야간을 가리지 않고 발생할 수 있으므로, 적외선 기반의 소형 TOF (Top-Of-Flight) 카메라인 Intel RealSense 카메라를 활용하고, 105 x 105 x 105 (mm) 크기를 가지고 512-core Volta GPU, 8-core ARM v8.2 64-bit CPU, 32GB DDR4 메모리 등이 탑재되었으며, Ubuntu 16.04로 구동되는 Nvidia Xavier 소형 컴퓨터에 동작 인식용 딥러닝 프로그램을 구현하였다.

본 동작 인식 프로그램은 이미지 및 영상 인식에 널리 사용되는 CNN 알고리즘을 개량한 Two-Stream CNN [19]을 사용하였다. CNN 모델의 구조는 Nvidia Xavier와 같은 소형 컴퓨터에 적용하기 위해서 MobileNetV2 [21]의 구조를 활용하였다. MobileNet [22]은 모바일 디바이스 환경에서 딥러닝 모델을 사용할

수 있도록 제안된 경량화 모델이다. MobileNetV2는 ResNet [23]에서 사용하는 Residual Block을 사용해 MobileNet보다 파라미터와 연산속도는 줄이면서 성능은 향상시킨 모델이다. 낙상의 시공간적 특징점을 추출하기 위하여 카메라 영상의 실시간 전처리를 통해 MHI (Motion History Image) [24]를 추출하였다. Optical Flow와 같이 동작의 위치 및 방향을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 [25], MHI는 흘러간 시간에 따른 움직인 영역의 명암 변화 추이 정보를 담고 있다. 공간적 특성을 파악하기 위하여 단순히 전체 영상의 RGB 이미지를 이용할 수 있으나, 생활 공간의 다양성으로 인하여 과적합 문제가 발생할 수 있으므로, 신체의 거동 순간, 움직인 부분만 확대하고 자른 Crop RGB 이미지를 활용하게 되었다. 별도의 인간 형상 인식 과정은 불필요하다고 판단하여 생략하였다. 따라서, 딥러닝 기반 객체 인식 알고리즘 등을 추가 구동할 필요가 없으므로, 전산 자원 소모를 줄일 수 있었다. 딥러닝 알고리즘의 학습을 위하여 다양한 각도에서 낙상을 촬영하여 만든 6)FDD(Fall Down Dataset)를 사용하였다.

다양한 상황에서도 낙상 인식의 정확도를 개선하고자 7)Mixamo를 통해서 낙상 애니메이션을 다각도로 증강시켜 1,000건의 영상 학습 데이터를 추가적으로 학습에 활용하는 체계를 구현하였다. 또한, 야간과 같은 상황에서도 인식이 가능하도록 조도가 낮은 상태에서의 학습 데이터를 증강하여 정확도를 높일 계획이다. 현재 모델의 성능은 직접 현장에서 모의 실험을 통해 성능을 평가하였으며, 4장 시스템 운영 실증 경험 분석에서 자세한 내용을 정리하였다.

3.1.2 기침 및 발열 인식

Covid-19 등 팬데믹 상황에 대비하여, 심한 기침, 섭씨 37.5도 이상의 체온을 비접촉식으로 실시간 인식하는 것이 필요하다. 본 논문은 수백만 건의 온라인 영상 데이터셋인 YouTube-8M으로 기학습된 VGG16 인공신경망에 기반하여 생성된 Ubioustics 음성 인식 모델을 사용하였다 [26]. Ubioustics는 물소리, 노크 소리, 애완견 짖는 소리, 드릴 소리, 웃는 소리, 애기 우는 소리 등 일상 속 다양한 소리들을 인식할 수 있다.

6) <http://www.iro.umontreal.ca/~labimage/Dataset/>

7) <https://www.mixamo.com/>

Table 1. Average daily sleep patterns, indoor activities and conditions of the lone seniors

| Seniors | Sleep Pattern | | | | Indoor Activities and Condition | | | |
|---------|--------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|--|---|-------------|--------------|
| | Total Sleep Time (hours) | Time on Bed (hours) | # of Wakes during Sleep | Light Sleep (%) | Portion of Sleep time while on Bed (%) | Refrigerator and Bathroom Door Swing Counts | Temperature | Humidity (%) |
| A | 4.96 | 8.80 | 6.1 | 80.7 | 58.7 | 10 | 29℃ | 57 |
| B | 6.70 | 8.63 | 5.1 | 43.7 | 79.3 | 15 | 30℃ | 41 |
| C | 6.78 | 8.85 | 5.3 | 91.1 | 78.6 | 7 | 30℃ | 49 |
| D | 3.68 | 6.22 | 3.8 | 46.8 | 62.9 | 8 | 31℃ | 44 |
| E | 7.06 | 8.32 | 2.6 | 13.7 | 85.3 | 11 | 30℃ | 50 |

64-bit 쿼드코어 프로세서가 탑재된 Odroid-C2 소형 IoT 보드에 Ubicoustics를 구동시켰으며, 실험적으로 기침 인식에 최적인 16 ~ 48 KHz의 샘플레이트를 가진 소형 핀 마이크를 통해 실시간으로 음성을 녹음하고 분류하였다.

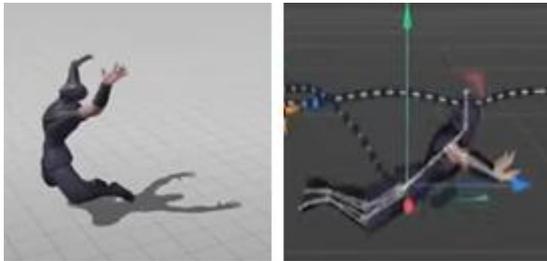


Fig. 4. Animated fall-down videos by Mixamo

체온 측정을 위하여 비접촉식 8)FLIR AX8 고해상도 발열 카메라를 사용하였다. 비용 절감 차원에서 저해상도 초소형 발열 센서를 고려하였으나, 유의미한 체온 데이터를 얻을 수 없었으므로 대상에서 제외하였다. 침대 근처 등 주 생활 공간에 발열 카메라를 설치하고, Nvidia Xavier에서 Python Selenium 모듈에 기반하여 AX8 내부 웹서버에 접속 후 발열 영상 화소들의 평균, 최대, 최소 온도를 주기적으로 불러들였다. 정밀한 발열을 측정하기 위하여 얼굴 등 피부가 드러난 부분을 인식하는 것이 이상적이지만, 노인이 카메라로부터 등지고 누워 있거나, 이불을 뒤집어쓰고 있는 경우 발열 측정이 어려우며, 피부가 드러난 부분을 인식하기 위해 객체 인식 알고리즘을 구동시킬 경우 전산 자원 소모가 커질 수 있는 우려가 있다. 따라서 신체의 형태 인식 후 체온을 측정하는 방식을 사용하지 않았다[26]. 인간은 고열 상태라고 하더라도, 절대적 상한치가 있으므로 발

열카메라가 제공하는 최고 온도를 독거노인의 체온으로 간주하였다. 또한 체온 상한치 이상으로 발열하는 전열기 또는 뜨거운 음식이 신체의 주변에 있을 경우 이상 체온으로 인식될 수가 있지만 인간의 체온은 급격하게 변하지 않기 때문에 이전 측정된 체온 값에 비해 5도 이상 체온이 급격하게 오를 경우는 따로 알람은 전송하지 않고 높은 온도가 지속적으로 유지될 경우 환경적 위험 요소가 주변에 있음을 경고할 수 있다.

3.1.3 수면 패턴 인식

독거노인의 수면 패턴의 인식을 위하여 압박과 심박 센서 정보에 기반하여 잠든 시각, 기상 시각, 수면 시간, REM 수면 등을 측정해주는 9)Withings Sleepsensor를 사용하였다. 이 센서 역시 신체와는 접촉하지 않고 매트리스 아래 혹은 요 밑에 깔아놓고 사용할 수 있다. 해당 센서는 WiFi 네트워크를 통해 하루 한번 수면 데이터를 Withings사의 데이터센터로 전송한다. 모바일 앱 뿐만 아니라, 데이터센터에 있는 수면 데이터를 조회할 수 있는 애플리케이션 프로그램 인터페이스 (API)를 제공하는 것은 Withings Sleepsensor가 유일하였다.

3.1.4 환경 정보

독거노인 거주지의 실내 기온과 습도는 Bosch XDK로 측정하였다. XDK는 WiFi, BLE 등의 무선 통신과 MQTT, LWM2M 등의 사물인터넷 통신을 지원한다. XDK를 WiFi로 연결하고 기침 인식에도 활용된 Odroid-C2에 환경 데이터를 스트리밍하도록 하였다. 데이터의 안전한 전송을 위하여 Odroid-C2에 XDK의 Datagram Transport Layer Security에 기반한 UDP 클라이언트를 구현하였다.

8) <https://www.flir.com/>

9) <https://www.withings.com/kr/en/sleep-analyzer>

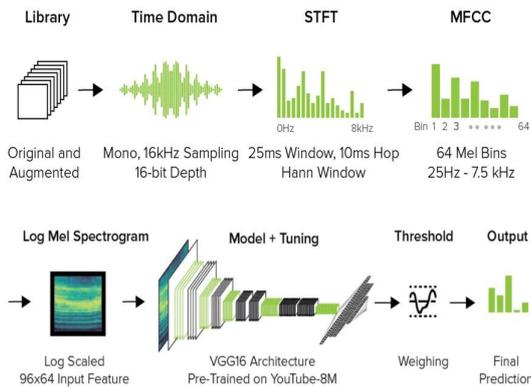


Fig. 5. Ubicoustics recognition process [26]

3.1.5 생활 패턴 정보

독거노인의 생활 패턴을 파악하기 위하여, IMU 및 자성센서가 달린 SmartThings MultiPurpose 센서를 냉장고 문과 화장실 문에 각각 부착하였다. 자성 센서에 기반한 냉장고 개폐를 통해서 음식 섭취 여부를 가능하고, 화장실 출입 횟수를 측정하고 Table 1에 기록하였다. 화장실 문의 경우 완전히 닫혀 있지 않을 경우를 대비하여, IMU를 통하여 문이 회전하는 것을 인식하여 화장실에 출입했음을 인지할 수 있도록 하였다. 또한, SmartThings Arrival 센서를 사용하여 노인의 외출 또는 귀가 여부를 인식할 수 있도록 하였다. Arrival 및 MultiPurpose 센서는 모두 WiFi 공유기에 물린 SmartThings 허브와 ZigBee로 무선 통신한다. MultiPurpose의 경우 기온도 주기적으로 측정하여 XDK가 설치된 곳 외의 기온 정보 측정이 가능하다. 전용앱 대신에 SmartThings 센서 데이터를 10)IFTTT 사물웹 애플리케이션 플랫폼에 전송하고 자체 개발한 IFTTT 서비스를 통해 이상 상황을 감지할 수 있도록 구현하였다. Withings Sleepsensor에 기반한 노인들의 하루 평균 수면 패턴을 Table 1에 정리하였다. 노인 E를 제외하면 평균 5.53 시간 수면하였고, 수면 도중 5회 이상을 깬으며, 얇은 수면은 총 수면 시간의 65%에 달할 정도로 수면의 질이 높지 않았다. 여기서 얇은 수면 시간은 총 수면에서 REM 수면과 생체 신호 및 뇌파가 느려지며 안정적으로 되는 비렘수면을 제한 시간이다.

3.2 관제 시스템

3.1장에서 다양한 센싱 기법들에 기반하여 이상 상황을 감지하고 적절하게 대응할 수 있는 시스템이 필요하다. 민감한 개인 정보 보호 차원에서 영상, 음성 등 원본 데이터의 수집은 진행하지 않았다. 이상 상황의 인지는 현장의 센싱부에서만 이루어지며, 이상 상황 알림 메시지만이 관제 센터에 전달된다. 노인의 동의를 있을 시 대량의 원본 데이터를 확장성 있게 분할 저장할 수 있도록 NoSQL 기반의 분산형 MongoDB[28]를 데이터 저장소로 활용하였다.

본 논문에서는 이상 상황을 다음과 같이 규정한다. 첫 번째 개인 편차가 있을 수 있는 취침 시각, 기상 시각, 수면 시간을 평균 대비 30% 이상의 차이가 있을 때 경고 메시지를 생성한다. 30%로 기준을 설정한 이유는 독거노인의 경우 생활 패턴이 일정하다. 또한 노인의 평균 수면시간은 7~8시간인데 평균 수면시간 보다 잠드는 시간이 30%정도 늦어지고 잠에서 깨는 시간이 빨라지면 불면증, 잠드는 시간이 30% 빨라지고 잠에서 깨는 시간이 늦어지면 수면 과다증으로 분류했기 때문이다. 또한 외출 횟수도 마찬가지로 독거노인들의 생활이 거의 일정하기 때문에 일정 생활 패턴에서 평균 대비 이동 횟수가 30% 이상의 차이가 있을 경우 건강 이상상태로 병원을 자주 간다던가 장염 등으로 화장실을 자주 들락날락 할 수 있기 때문에 경고 메시지를 생성한다. 두 번째, 발열, 기침, 낙상 등은 다음과 같은 절대적인 기준을 적용한다. 체온이 37.5도 이상인 경우, 기침은 지난 1분간 15회 이상 인식되었을 때 경고 메시지를 생성한다. 낙상의 경우는 쓰러진 이후 다른 움직임 없이 같은 상태가 1분간 지속될 경우 알람을 발송한다. 알람 메시지는 Nvidia Xavier, Odroid와 IFTTT 서비스 등을 통해 관제 센터의 MongoDB에 저장되며, 동시에 11)Kakao API를 통해서 당사자, 보호자 및 돌봄 서비스 담당자에게 전달되도록 구현하였다. 웹 기반의 관제 시스템을 통해서 노인별 알람 메시지 생성 내역은 물론, 센싱부의 정상 구동 여부를 확인할 수 있도록 구현하였다. 이상 기준이 되는 임계치를 개인별로 동적 조정할 수 있는 기술의 개발은 후속 연구로 계획하였다.

10) <https://ifttt.com/developers>

11) <https://developers.kakao.com/docs/latest/ko/message/common>

4. 시스템 운영 실증 경험 분석

2021년 6월부터 11월까지 지병이 있거나, 거동이 불편하며 경제적으로 취약한 서울시 5개구 총 5분의 독거 노인들을 대상으로 실증에 착수하였다. 실증 대상자들은 대부분 스마트폰을 소지하고 있으나, 통화 외의 기능을 활용하지 않으며, 최신 기술의 활용도 및 이해도가 낮은 상태였다. 두 가구는 방 한 개 있는 10평 미만의 아파트, 다른 두 가구는 부엌과 화장실이 딸린 단칸방, 나머지 한 가구는 전용 화장실이나 부엌이 없는 고시촌이었다. RealSense 낙상 감지용 카메라를 제외한 센서들은 무선 기기이므로 설치 위치에 대한 제약은 덜한 편이지만, 전원 연결이 필요한 Nvidia Xavier, Odroid, SmartThings Hub의 경우는 전원 포트의 위치에 따라서 긴 멀티탭이 필요하였다. 거주자들은 모두 임대된 상태로 센서 거치를 위한 벽 못질은 제한적이었기 때문에 필요한 경우 강력 테이프를 사용하여 센서를 벽에 거치해야 했다. RealSense 카메라는 노인들이 주로 생활하는 방 전체를 비출 수 있는 위치에서 1.7 미터 이상의 높이의 벽에 고정시켰다. RealSense는 Nvidia Xavier와 전용 케이블로 연결해야 하는 관계로 두 기기는 케이블 길이 내의 범위에 위치해야 했다. 모든 가구에는 케이블 텔레비전을 위한 셋톱박스가 기 설치되어 있었으나, 인터넷 사용은 제한적이어서, 인터넷 서비스를 신규 등록하면서 WiFi 무선 공유기도 설치하였다. RealSense를 제외한 무선 센서들은 코인형 건전지로 구동되어, 6개월에 한 번 정도의 교체가 필요하다.

2021년 8월 31일 한 가구에서 평소보다 50% 더 화장실 출입을 SmartThings Multi-Purpose의 문 개폐 횟수 측정을 통해서 인지하였으며, 실제 심한 복통, 설사, 구토로 인하여 다음날 응급실 방문이 있음을 확인하였다. 그 외에 실증 기간 내에 거주지 내에서의 큰 외상 사고나 비정상적 생활 패턴은 발생하지 않았다. 독거노인들의 위급상황이 발생하길 기대하며 시스템 실효성을 평가할 수는 없었기 때문에, 센서들의 정확도는 연구진들이 직접 현장에서 시뮬레이션 하여 검증하였다. Fig. 7과 같이 FDD와 유사한 낙상 동작들을 포함, 단순히 바닥에 앉거나 침대에 정상적으로 누워보는 등 낙상과 유사한 동작도 모의실험 하였다. 총 100번의 모의 실험에서 50번의 정상인 상황과 50번의 낙상 행동으로 실험을 진행하였다. 3평 내의 공간에서 진행한 낙상 실험에 대해서 F1-Score가 82.4 정도의 성능을 Table 2에 나

타내었다. 주변 선풍기의 움직임이 실제 발생했던 낙상의 인지를 방해한 경우가 있었으며, 앉거나 침대에 누는 동작들이 낙상으로 오인되는 경우가 있었다. 또한, 3평 내의 공간 밖에서 일어난 낙상 동작의 경우는 인식하지 못하는 오류가 있었다. 야간에 실증 공간에서 낙상 인식을 실험할 여건이 마련되진 않아서, 참여연구원들의 방에서 직접 시뮬레이션 한 결과 낙상 인식률이 10퍼센트 정도 저하된 F1-Score가 73.3 정도의 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 이 문제들은 영상 증강법을 통하여 다양한 원근감을 가지는 주야간 영상들을 생성하고 딥러닝을 추가 진행하는 방향으로 극복할 계획을 가지고 있다.

Table 2. Fall Test Confusion Matrix(Day)

| | Predicted 0(Not Fall) | Predicted 1(Fall) |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| Actual 0(Not Fall) | 43(TN) | 7(FP) |
| Actual 1(Fall) | 10(FN) | 40(TP) |

Table 3. Fall Test Confusion Matrix(Night)

| | Predicted 0(Not Fall) | Predicted 1(Fall) |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| Actual 0(Not Fall) | 40(TN) | 10(FP) |
| Actual 1(Fall) | 15(FN) | 35(TP) |

기침 인식의 경우 80%의 정확도로 음성 분류가 됨을 확인하였다. 다만, 사용된 마이크를 통해서 기침이 개짓음으로 오분류되는 경우가 많음을 확인하였다. 이는 더 낮은 샘플링 레이트를 가지는 마이크를 통해 해결이 가능하다, 그러나, 적정 샘플링 레이트를 가지는 마이크들은 대부분 고가인 만큼 가성비 높은 해결책이라 볼 수는 없다. 애완견이 없는 노인들이라면 현재 사용된 마이크를 그대로 사용하면서 개짓음도 기침으로 간주하는 방식으로 프로그램을 수정할 수도 있다.

낙상을 위해 얻는 MHI 정보만으로는 어떤 동작이 취해졌는지 육안으로 완전하게 파악하기 힘들다. 그럼에도 불구하고, 노인들은 탈의 등 신체 노출을 우려하여, MHI 영상 마저도 관제시스템에 저장하는 것을 거부하였다. 그러나, 현장에서의 다양한 데이터들의 추가 확보와 학습을 통해 비정상 상황의 정확도를 향상 시킬 수 있다.



Fig. 7. Out-of-range fall-down detection experiment



Fig. 8. On-site fall-down detection experiment

따라서, 행태를 파악할 수 있는 주요 특징점의 유실은 최소화하면서 비식별화하거나, 안전한 경로로 데이터를 외부 관제 시스템에 전달할 수 있는 기술의 지속적인 연구가 필요하다 [29].

사전 답사, 설치 및 유지·보수 차원에서 평균 6회 각 가구를 방문하였으며, 매 방문마다 평균 2시간 정도가 소요되었다. 노인들로부터의 피드백을 얻기 위한 인터뷰, 시스템 오류 수정, 설치 위치 재조정, 건전지 교체 등이 주로 진행되었는데, 노인들은 2시간 이상 외부인과 함께 있는 것에 대한 피로감을 토로하였다.

Table 4. Cost of the parts for the sensing system per household

| Item | costs |
|--|------------|
| Nvidia Jetson Xavier AI Computer | ₩1,000,000 |
| Flir AX8 | ₩1,800,000 |
| Odroid IoT Board + Wifi Adaptors | ₩200,000 |
| SmartThings Hub and Senosrs | ₩300,000 |
| Cables, interconnects, power adaptors, memory, batteries, home network router, device mounting kit | ₩300,000 |

방문 횟수를 최소화하기 위하여, 센싱 시스템의 프로그램들은 필요시 원격으로 수정될 수 있도록 네트워크를 설정하였다. 다만, 통신업체가 포트포워딩을 막아 놓는 경우도 있었기 때문에, 원활한 독립 원격 시스템 제어를 위하여 5G 동글 등을 통해 이원화된 망을 갖추는 방안도 향후 고려될 수 있다. 또한, 현장 방문 설정 없이, 센서들을 자동 감지하고 이들을 네트워크에 연동시킬 수 있는 plug-in-play 형태의 시스템을 통해 설치·설정의 공수를 줄이는 방안이 필요하다.

노인분들과의 인터뷰 결과에 의하면 전자 장비들의 깜빡임이 심리적 불안감을 야기하여 아예 전원을 뽑아두거나 수건 등으로 가려버리는 돌발 상황 등이 발생하기도 하였으며, 청소를 하다 무의식중에 전원을 꺼버리는 일들도 있었다. 또한 주 생활공간에 카메라가 설치되어 있어 사생활 노출에 대한 걱정과 불안감을 가지고 있었다. 따라서 노인에게 카메라가 녹화 및 감시용도가 아닌 데이터의 외부 저장 없이 바로 현장에서 삭상을 인식하기 위한 장치라는 것을 잘 설명하고, 더욱더 눈에 잘 띄지 않게 은닉시켜 안심시킬 수 있는 방안이 필요하다.

가구 당 원격 모니터링에 사용된 기기, 부품 및 전산 소모품들의 비용은 대략 총 360만원이었으며, 회당 방문 비용은 교통비와 인건비를 포함하여 25,000원 정도가 소요되었다. 본 연구에서 소요된 시스템 초기 설치 및 유지·보수 비용은 대부분의 독거노인들에게는 부담스러울 수도 있다. 또한, 의료복지 서비스 차원에서 전국 독거노인들에게 해당 시스템을 배포할 경우 본 연구의 가구당 설치 비용은 부담될 수 있다. 그러나, 본 연구는 독거노인의 다양한 상황들을 비접촉식으로 원격 모니터링하는 시스템의 개념을 검증하는 것이므로, 본 연구에서 선정된 센서와 기기들로 반드시 제한해야 하는 것은 아니다. 본 논문에서 소개한 센서들과 같이 사물인

터넷 통신 및 데이터 조회 API를 지원한다면 더욱 가성비 높은 기기들을 대량 공급받아서 제시된 체계에 따라 관계 시스템을 운영하는 방안을 얼마든지 모색할 수 있다. 이외에 전국 확산시 현장 방문 서비스 인력의 배치와 효율적인 방문 일정 수립, 유관 의료복지기관과의 연계책 등이 추후 연구될 필요가 있다. 따라서 최신 네트워킹 기술이 가미된 IoT 기반 기술을 활용하여 독거노인의 실시간 생활패턴 정보를 수집하고 필요한 서비스가 적기에 제공될 수 있는 시스템으로 고도화할 것을 제안한다. 이를 위하여 금번 연구에서 독거노인의 생활실태와 서비스 욕구를 파악하여 IoT를 활용한 통합서비스 고도화의 방향을 설정하고 근거를 마련하였다. 또한 이러한 근거를 바탕으로 독거노인의 본인 진술에 의존한 단편적인 모니터링 외 정확하고 지속적인 모니터링에 근거한 서비스를 제공할 수 있다. 선행연구에서 언급했듯이 노인들은 자신이 원하는 지역에서 거주하길 원하지만 건강문제로 돌봄이 필요한 노인의 경우 결국 지속적인 모니터링의 부재로 시설 등에서 생활을 하는 사례가 많다. 하지만 실시간 움직임 모니터링을 통한 건강 및 안전을 확인할 수 있는 서비스 제공을 통해 건강상태로 인한 불안감을 해소할 뿐만 아니라 응급상황 시 대처가 가능해지게 된다. 또한 자발적 은둔 및 우울증으로 인해 방문 확인이 어려운 경우 신체활동 모니터링을 통해 위험상황을 예방이 가능할 것으로 사료된다. 응급상황 시에는 긴급조치 등 즉각적인 서비스 제공이 가능하다. 움직임이 감지되지 않거나 안전사고 화재 등으로 인해 응급상황이 의심될 경우 긴급조치를 취하는 것이 가능하다. 서비스 욕구에서도 노인1인 가구들은 응급상황에 대한 욕구가 가장 높은 것으로 드러나 응급 관련된 센서 개발의 중요성을 확인할 수 있었다.

6. 결론

이중 사물인터넷 무선 센서 기기들과 딥러닝 등을 활용하여 독거노인들의 다양한 행태를 비접촉식으로 원격 모니터링하는 시스템을 개발하고 서울시 독거노인들을 대상으로 실증한 경험을 공유하였다. 대표적으로 낙상, 기침 등은 80%의 정확도로 정상 인식되는 것을 확인하는 등, 긍정적인 면들을 확인하였다. 그러나, 전면 비접촉식임에도 불구하고 실험실 환경에서 간과되었던 노인들의 불편 사항들도 배울 수 있었다. 전국의 독거노인들을 대상으로 시스템을 확산시켰을 시에 대비하여 가성비

비 높은 센서들의 공급책 확보와 현장 서비스 인력의 효율적인 배치 알고리즘 등에 대한 후속 연구가 필요함을 확인하였다.

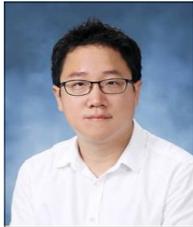
REFERENCES

- [1] Statistics Korea. (2021). *Estimating future households 2017*. Seoul : Statistics Korea.
- [2] Y. H. Chon. (2015). Study on the Social Care Service Delivery System for Older People: Focusing on the Perspectives of Public Sector Employees and Private Service Providers. *Health and Social Welfare Review*, 35(2), 347-379. DOI : 10.15709/hswr.2015.35.2.347
- [3] H. S. Jang, S. J. Kim & Y. H. Park. (2018). SilverLinker: IoT Sensor-based Alone Elderly Care Platform. *Journal of Digital Contents Society*, 19(11), 2235-2245.
- [4] M. Y. Kim, D. Seo, J. B. Byun & J. K. Kang. (2015). ICT-based living in the contact type service model for self-life support of the elderly living alone. *Journal of Digital Convergence*, 13(4), 25-38.
- [5] H. L. Hur & M. C. Park. (2020). Design of Monitoring System based on IoT sensor for Health Management of an Elderly Alone. *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 25(8), 81-87.
- [6] I. H. Jang & K. B. Sim. (2007). Ring-type Heart Rate Sensor and Monitoring system for Sensor Network Application. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 17(5), 619-625.
- [7] S. W. Lee. (2011). A Circadian Life Pattern Modeling and Anomaly Detection Method for Elders Living Alone. *Journal of KIISE*, 17(7), 399-406.
- [8] H. N. Lim, B. Lee, T. H. Cha & K. H. Kim. (2018). A study on the experience of daily life and chronic disease management of elderly living alone : Focus group interview. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(4), 111-118.
- [9] W. Kim & Y. Yoon. (2018, June). A Platform for Choreography of Heterogeneous Healthcare Services. *DEBS*. (pp 246-247).
- [10] J. Y. Ko & H. K. Kim. (2014). A Study on the Monitoring System for Emergency Recognition of Elderly People Living Alone. *JKIIT*, 12(3), 61-68.
- [11] S. H. Lee, J. Y. Lee & J. S. Kim. (2017). Monitoring System for the Elderly Living Alone Using the

- RaspberryPi Sensor. *Journal of Digital Contents Society*, 18(8), 1661-1669.
- [12] J. H. Jung, Y. E. Kim, D. E. Kwon & M. G. Ahn. (2018). Health monitoring App using a commercial smart band for elders. *Korea Institute of Information Scientists and Engineers*, 1689-1691.
- [13] N. Kim. (2010). Development of an Emergency Monitoring Device in a Wrist Watch. *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, 8(4), 9-17.
- [14] J. S. Shim, S. W. Jang, G. S. Jung, H. G. Jang, H. Y. Lee & J. I. Kim. (2020). Sensing fall detection using wearable smart belt for elderly. *Korea Institute of Information Scientists and Engineers*, 1375-1377.
- [15] O. D. Lara & M. A. Labrador. (2013). A survey on human activity recognition using wearable sensors. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 15(3), 1192-1209.
- [16] S. G. Miaou, P. H. Sung & C. Y. Huang. (2006). A Customized Human Fall Detection System Using Omni-Camera Images and Personal Information. *1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare*. Arlington, VA, USA.
DOI : 10.1109/DDHH.2006.1624792.
- [17] W. K. Wong, H. L. Lim, C. K. Loo & W. S. Lim. (2010). Home alone faint detection surveillance system using thermal camera. *Second International Conference on Computer Research and Development*. Kuala Lumpur : Malaysia.
DOI : 10.1109/ICCRD.2013.163.
- [18] G. Mastorakis & D. Makris. (2014). Fall detection system using Kinect's infrared sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4), 635-646.
- [19] J. H. Hwang. (2017). 4th Industry-based AI Artificial Intelligence/Intelligent Robot Convergence Industry Status, Market Prospects by Product Field, and Major Technology Development Trends. *TF Information Analysis Center*.
- [20] C. Feichtenhofer, A. Pinz & A. Zisserman. (2016). Convolutional two-stream network fusion for video action recognition. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (pp. 1933-1941).
- [21] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, Andre, Zhmogino & L. C. Chen. (2018). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. (pp. 4510-4520).
- [22] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto & H. Adam. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv preprint, arXiv : 1704.04861*.
- [23] K. He. (2015). Deep Residual Learning for Image Recognition. *arXiv:1512.03385*, Cornell University Library.
- [24] M. A. R. Ahad. (2012). *Motion history images for action recognition and understanding*.
- [25] D. E. Kim, B. K. Jeon & D. S. Kwon. (2018). 3D Convolutional Neural Networks based Fall Detection with Thermal Camera. *KRS Journal*, 13(1), 45-54.
- [26] G. Laput, K. Ahuja, M. Goel & C. Harrison. (2018). Ubicoustics: Plug-and-play acoustic activity recognition. *In Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 213-224.
- [27] J. H. Baek & S. H. Kim. (2017). Design of healthcare system using infrared camera. *In Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference* (pp. 1262-1263). Korea Information Processing Society.
- [28] K Chodorow. (2013). *MongoDB: the definitive guide: powerful and scalable data storage*. United States of America : O'Reilly Media, Inc.
- [29] Y. Yoon & B. Kim. (2016). Secret forwarding of events over distributed publish/subscribe overlay network *PloS one*, 11(7), e0158516

윤 영(Young Yoon)

[정회원]



- 2003년 8월 : 텍사스 오스틴 대학 컴퓨터과학 전공(학사)
- 2005년 8월 : 텍사스 오스틴 대학 컴퓨터과학 전공(석사)
- 2013년 6월 : 토론토대학 컴퓨터공학 전공(박사)

- 2015년 ~ 현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 관심분야 : 분산 시스템, 미들웨어, 인공지능
- E-mail : young.yoon@hongik.ac.kr

김 현 민(Hyunmin Kim)

[정회원]



- 2019년 2월 : 인제대학교 통계학 전공 (학사)
- 2020년 2월 : 홍익대학교 산업융합 과정 인공지능·빅데이터 전공 (석사)
- 2020년 3월 : ㈜너울리 연구원
- 관심분야 : 인공지능
- E-mail : rlagusals1232@naver.com

이 시 우(Siwoo Lee)

[학생회원]



- 2020년 2월 : 호서대학교 로봇자동화 공학 전공(학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학
- 관심분야 : 분산 시스템, 인공지능
- E-mail : ejeeny@gmail.com

사파 시아바시 푸리(Safa Siavash Pouri) [학생회원]



- 2016년 3월 : 파야메 누르대학교 정보공학 전공(학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학
- 관심분야 : 인공지능
- E-mail : ss.it.engineer@gmail.com