

보안 과제( ), 일반 과제(√ ) / 공개(√ ), 비공개( )발간등록번호()

국토교통기술촉진연구 사업 제3차 연도 최종 보고서

R&D / 19CTAP-C128499-03

# 고령자 응급 상황 및 신체적/정신적 기능 저하 식별을 위한 디바이스 프리 스마트홈 헬스케어 시스템 개발

최종보고서

2020.03.06.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단  
공동연구기관 / Texas A&M University

국토교통부  
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

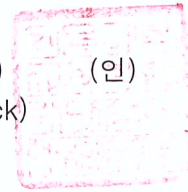
## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘고령자 응급 상황 및 신체적/정신적 기능 저하 식별을 위한 디바이스 프리 스마트홈 헬스케어 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2017.04.05 ~ 2019.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 03. 06.

주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 (윤 의 준) (인)  
공동연구기관명: Texas A&M University (Baldauf Jack)



주관연구기관책임자: 이 현 수  
공동연구기관책임자: Changbum R. Ahn

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서 요약서

|                   |                       |                                                           |                               |                                    |                                                |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호          | 19CTAP-C128<br>499-01 | 해당 단계<br>연구 기간                                            | 2019. 01. 01~<br>2019. 12. 31 | 단계구분                               | 3/3                                            |
| 연구사업명             | 중사업명                  | 국토교통기술촉진연구사업                                              |                               |                                    |                                                |
|                   | 세부사업명                 | 글로벌 기술협력                                                  |                               |                                    |                                                |
| 연구과제명             | 대과제명                  | -                                                         |                               |                                    |                                                |
|                   | 세부과제명                 | 고령자 응급 상황 및 신체적/정신적 기능 저하 식별을 위한 디바이스 프리 스마트홈 헬스케어 시스템 개발 |                               |                                    |                                                |
| 연구책임자             | 이 현 수                 | 해당단계<br>참여연구원 수                                           | 총: 명<br>내부: 명<br>외부: 명        | 해당단계<br>연구비                        | 정부: 550,000천원<br>상대국: 36,000천원<br>계: 586,000천원 |
|                   |                       | 총 연구기간<br>참여연구원 수                                         | 총: 명<br>내부: 명<br>외부: 명        | 총 연구비                              | 정부: 550,000천원<br>상대국: 36,000천원<br>계: 586,000천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명 | 서울대학교 산학협력단           |                                                           |                               | 참여기업명                              |                                                |
| 국제공동연구            | 상대국명:<br>미국           |                                                           |                               | 상대국 연구기관명:<br>Texas A&M University |                                                |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                         |                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및<br>사유 | 일반<br>국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제24조의 4 제 1항에 해당하지 않음 |
|-------------------------|---------------------------------------------------|

### 9대 성과 등록·기탁번호

| 구분           | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|--------------|----|----|-----------|--------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|              |    |    |           |              |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기<br>탁 번호 |    |    |           |              |            |           |     |          |          |     |    |

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설<br>· 장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | NTIS<br>등록번호 |
|------|---------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>요약</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구는 급속히 진행되고 있는 고령화 문제에 대응하여 고령자의 일상생활 활동을 지속적으로 모니터링하고, 이를 통해 고령자의 일상생활 활동을 평가하며 사고의 발생 및 신체적·정신적 기능저하를 식별함으로써, 그들의 건강한 삶을 지원하는 스마트 홈 헬스케어 시스템을 개발하는 것을 그 목적으로 함.</li> <li>이를 위해 본 연구에서는 고령자의 선호(비침습적 센싱-비부착적 방법: Non-intrusive Sensing)를 반영한 1) Fine-grained Wifi 및 에너지 사용 모니터링을 활용한 일상생활 활동을 식별할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 2) 일상생활에서 나타날 수 있는 이상활동 및 그 정도를 분석할 수 있는 모델을 개발함.</li> </ul> | 보고서 면수 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|

## 요약문

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |             |                                      |                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|--------------------------------------|----------------------|
| 연구의<br>목적 및 내용            | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구는 급속히 진행되고 있는 고령화 문제에 대응하여 고령자의 일상생활 활동을 지속적으로 모니터링하고, 이를 통해 고령자의 일상생활 활동을 평가하며 사고의 발생 및 신체적·정신적 기능저하를 식별함으로써, 그들의 건강한 삶을 지원하는 스마트 홈 헬스케어 시스템을 개발하는 것을 그 목적으로 함.</li> <li>이를 위해 본 연구에서는 고령자의 선호(비침습적 센싱-비부착적 방법: Non-intrusive Sensing)를 반영한 1) Fine-grained Wifi 및 에너지 사용 모니터링을 활용한 일상생활 활동을 식별할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 2) 일상생활에서 나타날 수 있는 이상활동 및 그 정도를 분석할 수 있는 모델을 개발할 것임.</li> <li>본 연구의 최종 목적을 달성하기 위한 세부 연구내용 및 범위는 다음과 같이 구성됨.               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 고령자 일상생활 행동 정보 수집을 위한 디바이스 프리 (Device Free) 센싱 기술 분석</li> <li>(2) 디바이스 프리 (Device Free) 행동식별 알고리즘 개발</li> <li>(3) 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동식별 방법 개발 Short-term Anomaly Detection)</li> <li>(4) 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 (Long-term Anomaly Detection)</li> <li>(5) 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 및 네트워크 구축 계획</li> <li>(6) 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 파일럿 테스트 및 시스템 검증</li> </ol> </li> </ul> |               |             |                                      |                      |
| 연구개발성과                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구의 핵심성과는 다음과 같이 요약됨.               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 디바이스 프리 행동식별 알고리즘 기술</li> <li>(2) 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동 식별 시스템</li> <li>(3) 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 시스템</li> <li>(4) 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 및 네트워크 구축 계획</li> </ol> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |               |             |                                      |                      |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구의 최종 성과물인 ‘고령자를 위한 스마트 홈 헬스케어 시스템’은 1) 낙상, 의식상실 등의 응급상황 발생 시 이를 식별하여 신속한 대응이 가능하도록 하고, 2) 장기적 모니터링을 통해 이상행동 (잦은 균형상실, 배회, 단기 기억 상실 등) 발생 시 이를 식별하여 노인성 치매 등의 뇌 질환을 조기에 진단하는 데 도움을 줄 수 있음.</li> <li>고령자의 신체적 능력 저하 및 지병으로 인한 응급상황 발생 시 동반되는 급격한 균형 상실 등이 감지되면 즉시 보호자 또는 인근 병원, 소방서 등에 자동적으로 연락하여 당사자의 추가적인 노력 없이 대응이 가능하도록 함.</li> <li>본 시스템을 활용한 장기적인 모니터링을 통해 고령자의 주거공간 내 공간사용 패턴, 일상생활 활동에 대한 패턴을 파악하고, 이와 크게 벗어나는 행동이 발견되거나 비정상적 행동이 발견되는 경우 해당 결과를 보호자, 노인돌보미, 의료 기관 등에 알릴 수 있도록 함.</li> <li>직접적인 관찰 없이도 고령자의 일상생활 활동 추적이 가능하며, 이는 우울증이나 치매와 같은 정신질환의 조기 진단에 도움을 주는 근거자료로 활용될 수 있음.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |                                      |                      |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)          | 스마트 홈<br>헬스케어                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 고령화 사회        | 디바이스 프리     | 행동패턴 식별                              | 이상행동 식별              |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)          | Smart-home<br>Healthcare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Aging Society | Device-free | Behavioral<br>Pattern<br>Recognition | Anomaly<br>Detection |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## 〈 목 차 〉

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....         | 5  |
| 가. 연구개발의 목적 .....           | 5  |
| 나. 연구개발의 필요성 및 범위 .....     | 5  |
| 2. 연구수행내용 및 성과 .....        | 15 |
| 가. 연구개발 추진 전략 및 방법 .....    | 15 |
| 나. 연구 수행 방법 .....           | 21 |
| 다. 연구개발 추진 체계 .....         | 50 |
| 라. 연구개발 추진 일정 .....         | 51 |
| 마. 연구개발 성과 .....            | 53 |
| 바. 연구 결과 .....              | 57 |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... | 59 |
| 가. 연구개발의 최종 목표 .....        | 59 |
| 나. 연차별 연구개발 목표 및 결과 .....   | 59 |
| 다. 성과 목표에 대한 자체 평가 .....    | 64 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 .....      | 75 |
| 가. 연구개발성과의 활용 방안 .....      | 75 |
| 나. 추가 연구의 필요성 .....         | 77 |
| 다. 타 연구에의 응용 .....          | 78 |
| 붙임. 참고 문헌 .....             | 79 |

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발의 목적

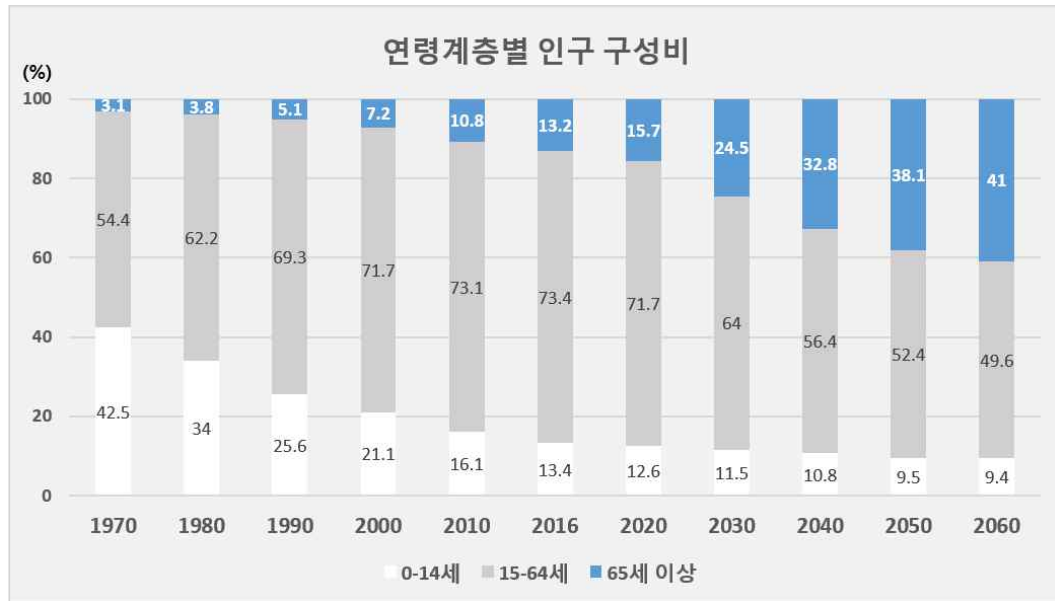
- 본 연구는 급속히 진행되고 있는 고령화 문제에 대응하여, 고령자의 일상생활 활동을 지속적으로 모니터링하고, 이를 통해 고령자의 일상생활 활동을 평가하여 사고의 발생 및 신체적·정신적 기능저하를 식별함으로써, 그들의 건강한 삶을 지원하는 스마트 홈 헬스케어 시스템을 개발하는 것을 그 목적으로 함.
- 이를 위해 본 연구에서는 고령자의 선호(비침습적 센싱-비부착적 방법: Non-intrusive Sensing)를 반영한 1) Fine-grained Wifi 및 에너지 사용 모니터링을 활용한 일상생활 활동을 식별할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 2) 일상생활에서 나타날 수 있는 이상활동 및 그 정도를 분석할 수 있는 모델을 개발함.
- 본 연구의 결과로 고령자의 주거공간 내에서의 1) 사고(예: 낙상 등의 응급상황) 및 그 가능성(예: 아차사고(Near-miss Accident) 빈도)과 2) 장기적 관점에서의 이상활동 변화 정도를 통한 신체적/정신적 기능저하에 대한 지속적 모니터링 시스템을 도출할 것이며, 이 결과를 보호자 및 복지담당자에게 전송할 수 있는 네트워크 구축을 통해 신속하고 지속적인 고령자 스마트 홈 헬스케어를 구축하는데 도움을 줄 것으로 예상 됨.

## 나. 연구개발의 필요성 및 범위

### (1) 연구개발의 필요성

#### (가) 한국 고령화 사회로의 전환 특성

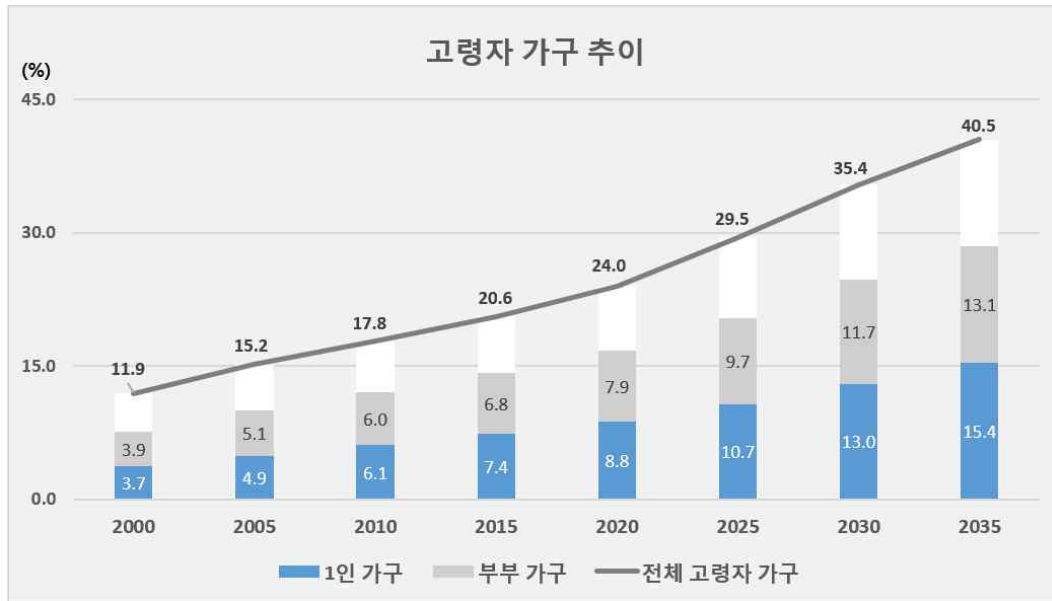
- 급속한 고령화는 21세기 한국사회의 모습을 변화시킬 핵심요인의 하나가 될 것으로 예측됨. 보건의료기술의 발달, 영양상태의 개선, 소득수준의 향상 등에 따라 1970년 61.9세에 불과하던 평균수명이 2012년 81.4세로 늘어났으며, 2040년에는 89.4세로 예상됨. 이와 더불어 1980년대 이후 세계최저수준의 낮은 합계출산율이 지속되어, 1970년 4.53이던 합계출산율이 2000년 1.47, 2013년 1.19로 하락하여 고령화 문제가 대두됨.
- 고령화는 자연스러운 현상으로 이해할 수 있으나, 문제는 급증하는 고령 인구로 인해 발생할 수 있는 경제활동 가능 인구의 감소, 사회 부양비용 증가 등과 같은 사회문제에 대한 국가차원에서의 대응 준비가 충분치 않은 상태에서 지나치게 빠른 속도로 고령화가 진행되고 있다는 것임. [그림 1]을 살펴보면, 한국은 2000년 고령화 사회(7% 이상의 고령층 인구)가 된 이후 2017년 말 경에 고령사회에 진입할 예정이며, 27년만인 2027년에는 초고령 사회로 진입할 것으로 예측 (프랑스 115년, 영국 91년, 미국 88년, 일본 36년 소요 예측).



[그림 1] 연도별 연령계층별 인구 구성비 (통계청 2016)

#### (나) 고령자를 대상으로 한 신속하고 지속적인 건강 모니터링의 중요성

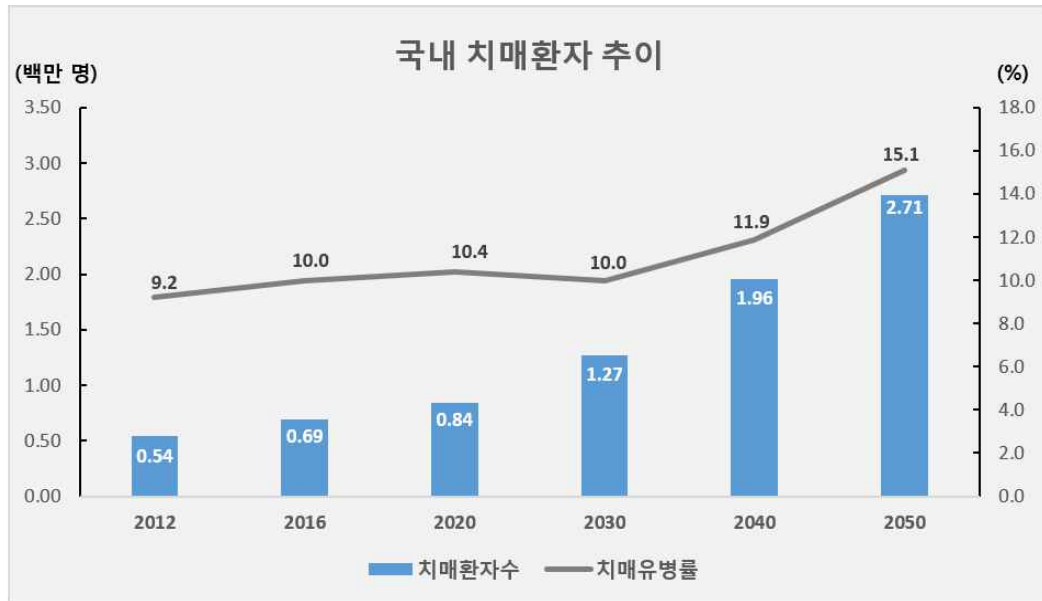
- 수명 연장과 출산율의 감소로 인한 인구 고령화 현상은 노동력의 부족과 함께 의료보험, 장기요양, 의료비 등의 정부의 사회보장 지출 증대를 야기함.
- 인구의 고령화는 정부복지정책과 경제성장에 위협요인으로 대두되었으나 주요국은 인식 변화를 통해 새로운 기회를 모색 중임. EU에서는 실버경제의 관점에서 접근하고 있으며, 미국은 건강한 노화, 은퇴 후 사회 보장 등의 다양한 논의를 수렴하고 있으며 인구의 고령화 현상과 그에 따른 과제를 새로운 도전과 기회로 여기고, 이에 대한 대비를 하고 있음.
- 인구의 고령화에 따른 사회적 비용을 줄이고 사회 구성원 개인의 행복을 고취하기 위해서는 고령자가 스스로 건강한 일상생활을 영위할 수 있도록 지원하는 것이 중요함. 이를 위해서는 고령자의 안전사고 및 노인성 기능저하 질환(치매, 경도인지장애 등)을 예방하거나 응급 상황에 적절히 대처할 수 있도록 하는 등의 건강관련 모니터링이 필요함.
- 또한 65세 이상의 고령자가 가구주인 '고령자 가구'는 2015년 기준 전체 가구의 20.6%를 차지하며 20년 후인 2035년에는 약 두 배인 40.5%까지 증가할 것으로 예상됨. [그림 2]에 따르면 고령자가 혼자 살거나 (1인 가구) 고령자끼리만 거주하는 비율 (부부 가구) 역시 급증하고 있는데, 이들 가구는 비고령자 가구에 비해 응급 상황 발생 시 신속한 대응이나 신체적 기능저하에 따른 증상의 조기 발견이 어려울 수 있음. 따라서 고령자 가구에서 발생하는 응급 상황 및 건강 모니터링이 자발적으로 가능하도록 하는 스마트 홈 헬스케어 시스템이 필요함.
- 특히 고령자의 경우 젊은 사람들과 달리 응급 상황에 스스로 대응하거나 사고 및 질병을 예방할 수 있는 환경을 조성하는 능력이 떨어지기 때문에 고령자 건강관리에 대한 사회적 관심 및 물리적 시스템 도입을 통해 이를 보완할 필요가 있음.



[그림 2] 고령자 가구 추이 (통계청 2015)

#### (다) 고령자 대상 건강관리의 특수성

- 고령자가 생활 중 가장 많은 시간을 보내는 공간은 ‘가정’ 이므로, 가정에서 발생하는 안전사고가 높은 비율을 차지함 (이현심과 신지현, 2014).
- 고령자가 겪을 가능성이 있는 응급상황 중 빈번하게 발생하는 것으로 낙상, 이물질 삼킴 등이 있는데 이러한 상황 발생 시 고령자가 직접 신속한 대응을 취하기 어렵기 때문에 별도의 절차 없이 자동적으로 상황을 판단하고 이를 소방서나 병원 등에 알리는 시스템이 필요함.
- 주거공간에서 대부분의 일상생활 활동 (ADL, Activities of Daily Life)이 발생하므로 (Lehrner et al. 1999) 주거공간에서의 고령자의 행동을 장기적으로 모니터링하여 이상행동이나 행동패턴의 변화가 발생하는 등의 신호를 조기에 발견할 필요가 있음.
- 치매 발병의 초기단계에서 일상생활 활동(ADL) 중 평소의 패턴과 다른 이상행동이나 급격한 패턴의 변화가 발생할 수 있기 때문에 (Ditzler 1991; Blankevoort et al. 2010) 해당 신호를 치매 조기진단의 실증적 근거로 활용할 수 있음.
- 치매와 같은 퇴행성 뇌질환은 고령자의 건강을 위협하는 대표적인 인지장애 질환으로, 고령화 추세와 함께 발병 환자의 수 또한 급증할 것으로 예상됨 ([그림 3] 참조).



[그림 3] 국내 치매환자 추이 (중앙치매센터 2016)

- 치매 환자의 수 증가로 인한 당사자 및 가족의 고통은 물론이거니와 질환 치료 및 관리에 소요되는 비용 역시 매년 증가하고 있음 ([표 1] 참조). 이는 곧 사회 전체가 부담해야 하는 비용과 직결되기 때문에 이를 최소화하기 위한 노력이 필요하며, 치매 발병의 조기 진단을 통한 완치 가능성 증진, 사회안전망 확충을 통한 지원 등의 노인복지 정책이 사회적 이슈가 되고 있음.

[표 1] 치매환자 1인당 연간 진료비 (중앙치매센터 2016)

| 구분                          | 2010년      | 2011년      | 2012년       | 2013년       | 2014년       |
|-----------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 치매환자 총 진료인원 (A)<br>(명)      | 266,396    | 317,792    | 360,194     | 402,414     | 442,855     |
| 치매환자 총 진료비(B)<br>(만 원)      | 78,547,539 | 96,827,480 | 115,847,346 | 138,229,981 | 161,418,116 |
| 치매환자 1인당 진료비<br>(B/A) (만 원) | 294.9      | 304.7      | 321.6       | 343.5       | 364.5       |

#### (라) 기존 고령자 스마트 홈 건강관리 방식의 문제점 및 대안

- 고령자 대상 건강관리의 특수성을 고려하여 고령자 스마트 홈 건강관리를 도입하고자 하는 노력은 1) 낙상이나 심장마비 등과 같은 응급상황 발생 시 생체 데이터의 신호를 수신하여 자동적으로 유관기관에 알리거나 2) CCTV를 활용한 비디오 분석 등을 통해 지속적인 건강 모니터링을 수행하는 등을 중심으로 진행되어 왔음.
- 그러나 위의 방법들은 공통적으로 추가적인 기기 (웨어러블 센싱 디바이스, 카메라 등)를 활용해야한다는 점에서 한계를 가짐.
- 웨어러블 센싱 착용의 경우 주로 신체에 직접 부착하거나 몸에 소지해야만 데이터 측정이 가능하기 때문에 착용 시의 이물감과 같은 불편함 또는 센서 자체에 대한 낯설음, 거부감 등을 불러일으킬 수 있음. 이는 주로 휴식이 이루어지는 주거공간의 특성 과도 맞지 않으며 대상자가 기기 자체를 의식하게 되어 결과가 왜곡되는 등의 문제도

발생할 수 있음.

- 카메라를 활용한 비디오 분석의 경우 모니터링을 위해 주거공간 내에서의 일상생활을 모두 촬영해야만 분석이 가능하므로 사생활 침해에 관한 우려가 매우 높은 단점이 있음.
- 위의 한계점을 보완하기 위해서는 추가적인 기기 없이도 (디바이스 프리, Device Free) 대상자의 건강 모니터링이 가능한 기술을 적용할 필요가 있음. 대표적인 기술로 Fine-grained WiFi 행동 패턴 인식 기술이 있는데, WiFi 라우터를 주거공간 내부에 설치하는 것만으로도 재실자의 행동 패턴을 파악할 수 있음.
- 또한 스마트 플러그(에너지 사용량 및 시간 측정과 와이파이를 통한 정보전송이 가능한 플러그)를 활용한 주거공간 내부의 실 단위 혹은 가전제품 별 에너지 사용 패턴을 고려하는 방식으로 재실자의 위치 및 가전제품의 사용시간 등을 파악할 수 있으며, 이러한 정보는 Fine-grained WiFi 행동 패턴 기술과 결합하여 멀티레이어 방식의 행동 패턴의 추론을 가능하게 함. 결과적으로 추가적인 장비 없이 재실자의 행동패턴 분석을 통한 건강 모니터링이 가능할 것으로 판단됨.

[표 2] 기존 스마트 홈 헬스케어 적용기술 대비 본 연구의 우월성

| 기술의 종류    |         | 모션센싱 | 에너지 사용패턴 체크 | 웨어러블 센싱 | 웹캠 (CCTV) | 본 연구 |
|-----------|---------|------|-------------|---------|-----------|------|
| 기능        | 재실여부 파악 | 0    | △           | X       | 0         | 0    |
|           | 재실위치 파악 | 0    | △           | X       | 0         | 0    |
|           | 동작여부 인식 | 0    | X           | 0       | 0         | 0    |
|           | 행동 식별   | X    | X           | 0       | 0         | 0    |
|           | 행동패턴 식별 | X    | X           | X       | 0         | 0    |
| 경제성       |         |      |             |         |           |      |
| 편의성       |         |      |             |         |           |      |
| 사생활 보호 정도 |         |      |             |         |           |      |



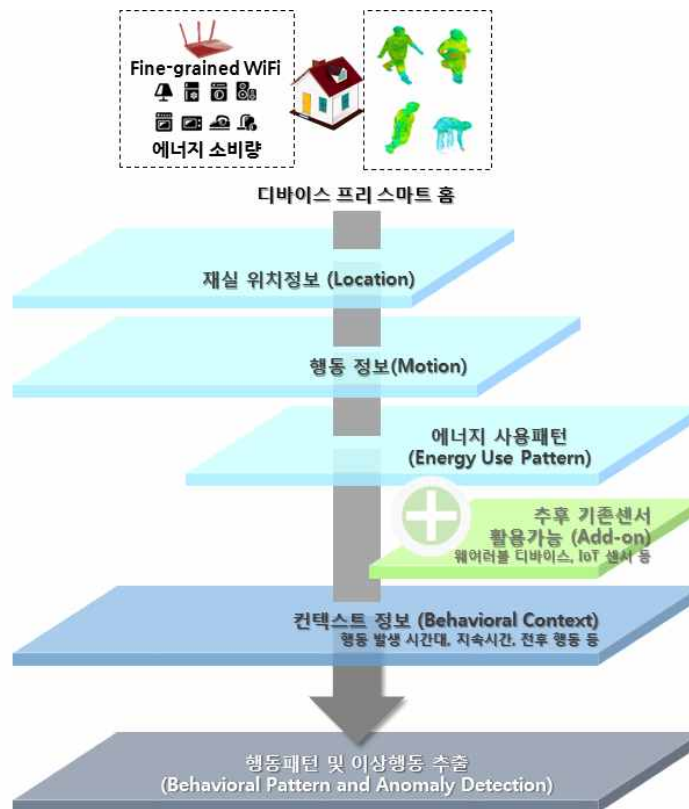
#### (마) 단기적 · 장기적 행동패턴 분석을 통한 건강 모니터링의 중요성

- 낙상, 급성 호흡곤란, 의식 상실 등의 응급상황 발생 시 당사자가 직접 신속한 조치를 취하는 것이 불가능하므로 타인의 도움 없이도 응급상황을 식별하고 대응할 수 있어야 함.
- 대부분의 응급상황 발생 시 급격한 자세 및 행동의 변화가 동반된다는 점에 착안하면, 짧은 시간 동안 재실자 행동패턴의 급격한 변화가 감지되는 경우를 응급상황 발생으로 판단할 수 있음.

- 타인에 의한 상시 관찰 없이도 응급상황을 식별하고 신속한 대응을 할 수 있다면 골든 타임을 확보하여 위험한 상황으로의 진행 가능성을 최소화 할 수 있음.
- 또한 고령자의 경우 치매 등과 같은 인지 장애를 동반한 불치성 뇌 질환 발병의 가능성이 높으므로 이를 예방하거나 조기 진단하여 사회적인 비용을 최소화하는 노력이 필요함.
- 인지기능 저하가 의심될 때 고령자가 보이는 대표적인 증상으로는 공격성향 증가, 불안장애, 배회, 방향감각 상실, 불면증 등이 있으며 (Cooper et al. 1990; Cummings et al. 1994; Mega et al. 1996; Lopez et al. 1999) 이러한 증상들은 일상생활에서의 행동패턴과 다른 비정상적 행동 (abnormal behavior)으로 감지할 수 있음.
- 따라서 장기적 행동패턴 모니터링 후 분석을 통해 기존의 행동패턴과 다른 이상패턴이 발견되는 경우 신체적·정신적 기능 이상 및 저하를 의심할 수 있으며, 대상자를 의료기관에 인계하여 조기 진단의 가능성을 높일 수 있음.

#### (바) 디바이스 프리 (Device Free) 환경에서의 건강 모니터링 및 기대효과

- 본 연구에서 제안하는 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템은 디바이스 프리 센싱 기술을 다층적으로 적용하여 ([그림 4] 참조) 추가적인 스마트 기기 없이도 주거공간 내에서의 대상자의 이상행동을 식별하고 이상행동의 정도를 판단하고 상황에 맞는 대응이 가능함.
- 짧은 시간 내에 갑작스러운 위치 및 행동패턴 변화가 발생하는 단기적 이상행동 (응급상황)이 식별되는 경우 응급상황을 판단하여 자동적으로 조치를 취하는 기존 방식의 기능을 추가적인 기기 없이 가능하게 함.
- 또한 대량의 인력·장비 등의 추가적 투자 없이도 지속적인 모니터링이 가능하며, 이를 통해 비정상적 행동 (신체적/정신적 기능저하 상황)이 식별되는 경우 그 정도를 정량화하여 기능저하의 정도를 판단할 수 있음.
- 이러한 분석 정보를 의료기관 등에 인계하면 노인성 치매와 같은 질환의 조기진단이 용이해지고, 이는 치매지원센터 및 장기요양시설이 매우 부족한 지금의 여건을 개선하는 데 기여할 수 있음.



“센싱기술의 다층적 (Multi-layer) 적용을 통해 편의성과 신뢰성을 동시에 확보”

[그림 4] 디바이스 프리 기술의 다층적 (Multi-layer) 적용 개념

## (2) 연구의 범위

### (가) 고령자 일상생활 행동 정보 수집을 위한 디바이스 프리 (Device Free) 센싱 기술 분석

- 노인들은 지속적인 헬스케어 및 헬스모니터링에 대한 관심과 니즈는 높지만, 새로운 기기에 대한 거부감 혹은 낮은 사용성에 대한 불만으로 인해 신체 부착형 디바이스 대해 부정적인 견해를 가지고 있음.
- 따라서 본 연구에서는 노인들에 직접적으로 부착 혹은 소지하지 않는 디바이스 프리 행동 정보 수집을 위한 기술들을 분석함. 다양한 기술 중 실내 움직임 감지 센서 (Tomographic Motion Detecting Sensor)와 Fine-grained WiFi 행동 패턴 인식 가능 여부를 중점적으로 테스트 함.

### (나) 디바이스 프리 (Device Free) 행동식별 알고리즘 개발

- Fine-grained WiFi 행동 패턴 인식 기술은 WiFi 라우터가 지속적으로 보내는 전파 신호의 감쇄(Propagation)와 신호 분산(Signal Distribution)에 의한 분산 정도를 통해 재실자의 행동 패턴을 인식할 수 있음.
- 예를 들어, 재실자가 없을 때의 Wifi 전파 신호(Signal in Steady-state)와 재실자가

행동을 할 때의 신호는 재실자의 존재에 의해 다른 특성을 보임. 특정 행동은 특정한 신호의 변화를 야기함. 이러한 행동 패턴과 신호의 변화를 매치시켜 프로파일을 구성하여 노인들의 행동을 식별할 수 있는 알고리즘을 개발함.

- 또한, 실내거주 환경이라는 점에 초점을 맞추어, 에너지 사용 패턴과 Fine-grained WiFi 행동 패턴 인식 기술을 조합하여, “위치 + 행동 패턴 + 에너지 사용 패턴”으로 구성되는 실제 생활 활동에 대한 인식 정밀성을 높임.

#### (다) 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동 식별 방법 개발 (Short-term Anomaly Detection)

- 노인들은 신체적 능력의 저하 및 질병으로 인한 응급상황(예: 낙상 혹은 혼절)에 노출되는 경우가 빈번함. 이러한 응급상황에서 신속한 조치는 노인들의 건강한 삶에 직접적인 영향을 줌. 따라서 본 세부 목표에서는 노인들의 실내 생활(주거공간)에서의 낙상 등과 같은 응급상황을 신속히 식별하고, 식별한 정보를 병원 및 보호자에게 전달해 주는 것을 그 목적으로 함.
- 예를 들어 낙상의 경우, 행동의 변화가 급격하고, 신체적 균형감 (Stability of Body Balance)을 잃게 됨. 이러한 급격한 행동의 변화는 전파 신호의 분산정도를 짧은 시간 사이에 높임(High Degree of Signal Distribution).
- 분산 정도가 짧은 시간 동안 급격히 상승할 경우 이상 식별(Anomaly Detection)에서 말하는 신호 분산 정도에서 국지 이상(Local Anomaly)가 발생함. 국지 이상 신호를 식별하여 응급상황을 신속히 발견할 수 있는 모델을 개발함.
- 또한, 아차사고(Near-Miss Accident)와 같은 향후 사고로 발전할 수 있는 상황들의 프로파일을 구성하여 관측되는 빈도에 따른 고령자의 사고 가능성 역시 예측하는 모델을 개발함.

#### (라) 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 (Long-term Anomaly Detection)

- 노인에게 신체기능의 쇠퇴는 활동성을 감소시키고 흥미의 범위를 협소화시키며 심리적 위축을 이끌어냄. 이러한 위축은 부정적 정서 및 일상활동(예: 활동량의 감소 및 이상행동의 증가)을 야기하고 나아가 인지적 장애로 진행되기 쉬운 요인으로 발전함. 인지적 장애가 발생할 경우 노인들은 평상시 취하던 행동이 아닌 비정상적 행동을 하기 시작함. 인지적 장애의 정도에 따라 비정상적 행동 혹은 불규칙적 행동이 늘어남. 따라서 이러한 행동의 빈도 및 이상정도를 지속적으로 관측하는 것은 치매와 같은 인지적 장애의 발생여부와 그 정도를 측정할 수 있는 척도가 됨.
- 특히, 공간(위치 및 공간의 목적)과 일상생활 행동의 불일치, 특정 일상행동이 일어나는 시간과의 불일치 등의 이상행동은 인지적 장애의 전초적인 증상임.
- 즉, 고령자의 일상생활 활동에 대한 모니터링은 인지기능이상이나 치매증상을 조기에 발견할 수 있는데 도움을 줄 수 있음 (Levy 1994; Laurin 외 2001).
- 따라서 본 세부 연구에서는 관측된 고령자들의 일상생활 활동에서의 비정상적 활동을 정량화하는 모델을 개발하는 것을 그 목적으로 함.
- 신체적 · 정신적 기능저하 식별 정량화를 위해 비정상적 행동의 빈도 및 강도, 위치에

다른 행동의 적절성 등을 기반으로 일상생활 활동 변동성(Routine Variability)를 산정함.

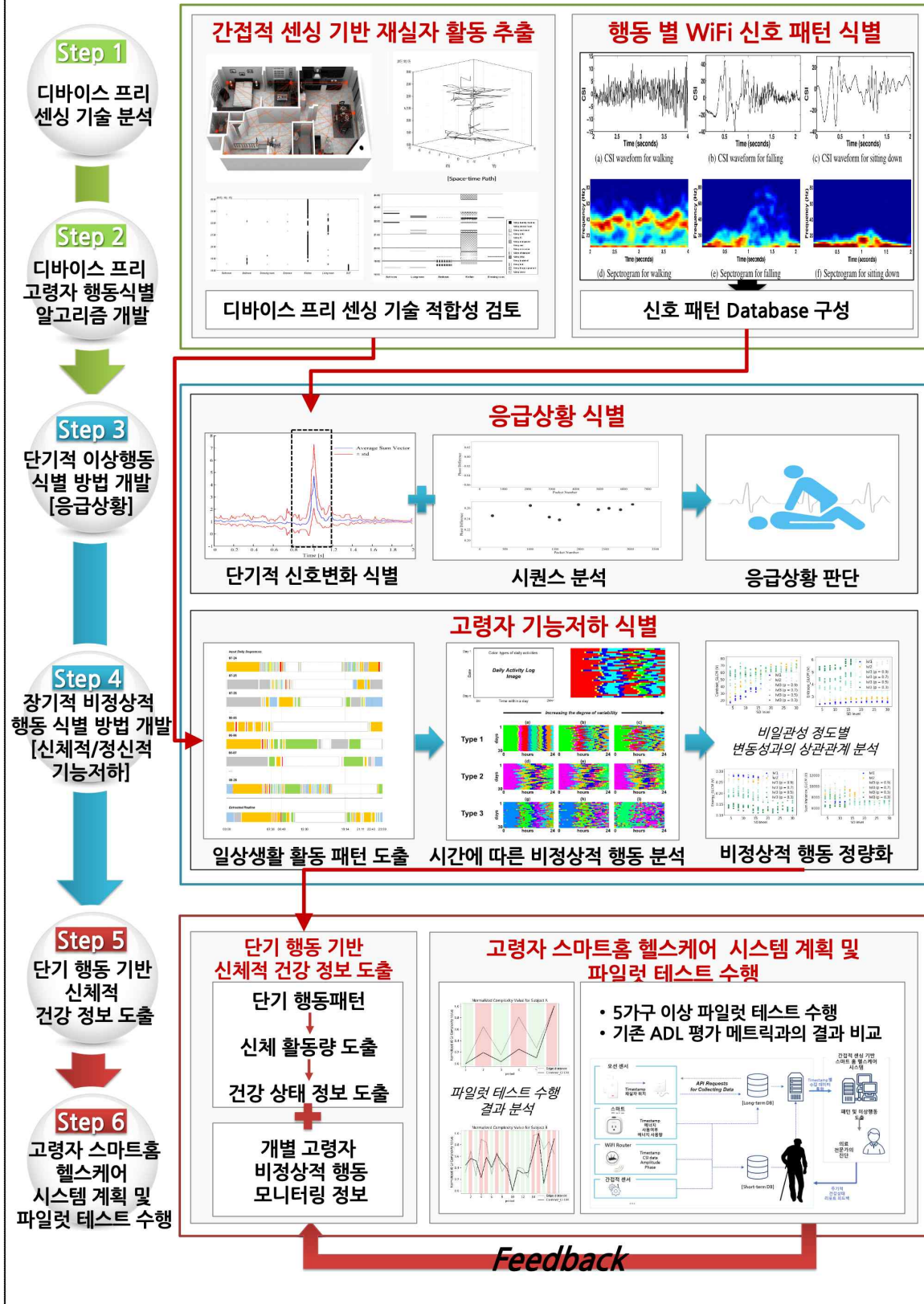
(마) 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 및 네트워크 구축 계획

- 본 연구에서는 Fine-grained Wifi를 통한 행동 패턴 인식, 낙상 및 혼절과 같은 응급상황 및 발생가능성 예측 알고리즘, 그리고 지속적인 일상행동 모니터링을 통한 비정상적 행동 정량화 방법 등을 통합된 스마트 홈 헬스케어 시스템으로 개발하는 것을 그 목적으로 함.
- 개발된 스마트 홈 헬스케어 시스템과 고령자의 상태에 따른 대응 담당자(지역 소방서, 노인돌보미, 담당의사, 가족 혹은 보호자)에게 신속하게 연결할 수 있는 네트워크 구축을 계획함.

(바) 파일럿 테스트 및 시스템 검증

- 개발된 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템을 적용가능성과 사용성을 검증하기 위해 파일럿 테스트를 수행함.
- 세부적인 테스트 및 검증 계획은 실제 혼자 사는 고령자의 각 주거지 또는 LH 고령자형 평면 아파트에서 기 시행한 스마트 홈 헬스케어 기술을 제공받은 혼자 사는 노인들을 대상으로 수행함.
- 파일럿 테스트에서 노인들에게 발생할 수 있는 1) 응급상황에 대한 식별 여부 및 실제 응급사고 발생 여부와의 비교와 2) 실제 고령자들의 일상생활 활동에서의 정량화된 변동성과 치매 혹은 인지능력감소와 밀접한 연관이 있는 ADL 및 IADL 평가 메트릭과의 비교를 통해 연구의 적합성을 검증할 것임.

# 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템



[그림 5] 최종 연구목표 및 프레임워크

## 2. 연구수행내용 및 성과

### 가. 연구개발 추진 전략 및 방법

#### (1) 국내외 관련 연구동향 분석

##### (가) 국내 관련 연구동향

- 본 연구의 최종목표인 ‘신속하고 지속적인 고령자 스마트 홈 헬스케어 구축’ 과 유사한 연구가 다수 진행되고 있으나 이를 구현하는 기술의 특성과 세부적인 목표가 본 연구와 다른 경우가 대부분임.
- 고령층이 겪을 가능성이 있는 응급상황을 발견하고 신속하게 대응하는 것을 주 목적으로 하기 때문에 대상자의 장기적인 신체적·정신적 기능저하를 추적하거나 이를 위한 데이터 수집 등은 거의 이루어지지 않음.
- 또한 대부분의 연구에서 대상자의 생체 데이터를 직접 수집하기 위해 웨어러블 센서를 몸에 착용하거나 소지하는 상황을 전제로 하는 시스템을 구축함. 이는 별도의 디바이스 없이 사용자의 행동패턴을 식별하고 이를 통해 건강 상태를 식별하는 본 연구의 관점과 차이를 가지고 있으며 이러한 유사 연구는 이루어지지 않음.
- 본 연구에서 제안하는 ‘디바이스 프리 고령자 행동식별 알고리즘 개발’ 을 구현하기 위한 핵심 기술인 실내공간에서의 재실자 행동패턴 식별 기술은 현재 다양한 산업분야에서 연구가 진행 중이나, 기술의 다양성 및 성숙도 측면에서는 선진국 대비 부족한 수준임.
- 행동패턴을 파악하기 위해서는 행동이 일어난 시·공간 정보 및 행동 간의 컨텍스트(context) 파악이 필요하며, 현재 대부분의 연구들은 다양한 센서를 통해 수집한 데이터를 이용하여 구현하고 있음.
- 센싱은 1) 재실자의 생체 데이터 (주로 움직임, 자세)를 직접 수집하거나 또는 2) 재실자를 둘러싼 환경 (주로 가전기기, 조명기기, 냉·난방 기기 등)으로부터 IoT 기술을 통해 수집한 데이터를 근거로 판단하는 두 가지의 방식으로 이루어짐.
- 재실자 행동패턴 식별 기술은 대부분 건축물의 실내환경 (재실자 쾌적성 및 에너지 절약을 고려한 냉·난방 기기, 조명기기, 환기제어 등)을 효율적으로 관리하기 위한 목적으로 도입되고 있음.
- 특히 재실자의 생활환경을 저해하지 않으면서 (디바이스 프리) 행동패턴을 식별하는 기술에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 관련 IT기술 대부분의 원천기술을 선진국에 의존해야 함. 이를 극복하기 위해서는 적극적인 융·복합 기술개발 및 R&D 투자, 선진국과의 글로벌 협력 연구 등이 필요함.
- 평균수명의 증가와 낮은 출산율의 영향으로 급속한 인구의 고령화가 진행됨에 따라 고령친화산업 (실버산업)의 시장규모는 기하급수적으로 팽창하고 있음. 고령친화산업의 시장은 2015년 기준 약 6조 8천억원 규모이며 2020년에 이르면 그 두 배인 약 12조 5천억원 규모까지 성장할 것으로 전망됨.
- 한국보건산업진흥원에 따르면 2010년부터 2020년까지의 고령친화산업의 연평균 성장률은 약 14.2%에 이를 것으로 예상됨. 이는 기반산업의 성숙기에 접어든 우리나라의 타 산업 성장률 전망과 비교할 때 매우 큰 수치임. 본 연구에서 개발하는 기술의 활용분야인 정보

및 주택을 포함하여 대부분의 산업이 고령층을 대상으로 하는 경우 기존 산업에 비해 성장률이 훨씬 큰 것으로 전망됨.

## (나) 국외 관련 연구동향

- 미국은 고령화 사회에 대비하여 스마트 기기를 활용한 고령자 건강관리에 관한 다수의 연구를 수행해 왔으며 특히 주거공간 내에서의 건강 모니터링 시설 및 네트워크 구축 연구를 병행하여 수행하고 있음.
- 일본과 중국 역시 지속적으로 증가하는 고령인구에 대비하여 고령자의 응급상황 인지 및 유관기관 연계 등의 대응방안이 필요하다는 것을 인지하고 스마트 기기의 특징을 활용한 스마트 홈 건강관리 시스템에 관한 연구를 선도적으로 수행함.
- 그러나 현재 연구 중인 대부분의 기술들이 대상자가 직접 센서를 착용/소지해야하는 웨어러블 센싱 방식에 의존하여 실용성에 한계를 가짐.
- 또한 장기적 추적보다는 단기적인 추적을 통해 응급상황을 판단하는 데에만 초점을 맞추고 있어 관련 기술 및 건강 모니터링 범위의 확장이 필요한 상황임.
- 센서를 활용하여 재실자 행동패턴을 식별하고 이를 활용하는 연구는 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 다양한 산업분야에서 이루어지고 있으며 이들 국가는 원천기술을 보유한 만큼 해당 기술 개발은 이미 성숙단계로 판단됨.
- 기 개발된 웨어러블 센싱 및 IoT 기술을 통해 주거공간을 중심으로 실내공간에서의 재실자 행동패턴을 식별하고 이를 쾌적한 공간활용에 적용하는 등 주로 건축환경 분야에서 적극적으로 활용되고 있음.
- 본 연구와 같이 식별된 행동패턴을 재실자의 건강 상황과 연계하여 분석하는 노인 복지 및 의료 분야의 연구는 거의 이루어지지 않음.
- 급속한 고령화 현상은 국가를 초월한 글로벌 사회이슈로써 우리나라와 가까운 관계를 맺고 있는 중국, 일본 역시 인구 고령화로 인한 시장 변화 및 고령친화산업의 잠재력에 주목하고 있음.
- 중국노령협회에 따르면 중국 노인인구의 잠재소비력은 2050년에 이르면 106조 위안 수준으로 증가할 것으로 추정하고 있으며 노인인구의 잠재소비력 증가는 고령친화산업의 타깃 소비층의 소비 증가와 직접적인 관련이 있음.
- 중국 뿐 아니라 일본 역시 대표적인 고령화 국가로써 고령친화 시장의 규모는 지속적인 증가 추세임. 이러한 국외시장의 성장가능성에 대응하여 국내 고령친화산업 역시 다방면으로 진출하고 있음.
- 고령층 인구가 주로 사용하는 양로부동산 산업의 경우 중국의 주요 부동산 개발기업 및 미국의 아라마크(ARAMARK), 프랑스의 소덱소(SODEXO)와 같은 고령친화 서비스 전문 기업들이 투자 및 진출한 것으로 파악됨.
- 본 연구는 고령친화산업 중 가장 수요가 높은 주거관련 서비스 및 건강·의료부문을 포함하는 기술 개발에 해당하므로 기술개발 완료 시 해외 시장에서의 기술 수요가 높을 것으로 예상됨.
- 따라서 미국, 일본, 프랑스 등의 고령친화 서비스 전문 기업들과의 협업을 통해 고령자 주거공간 또는 노인시설과 같이 고령층의 주거공간 또는 고령층의 이용이 잦은 공공시설 프로그램을 설계하는 등의 공동연구를 추진할 수 있을 것으로 판단됨.

## (다) 종합결론

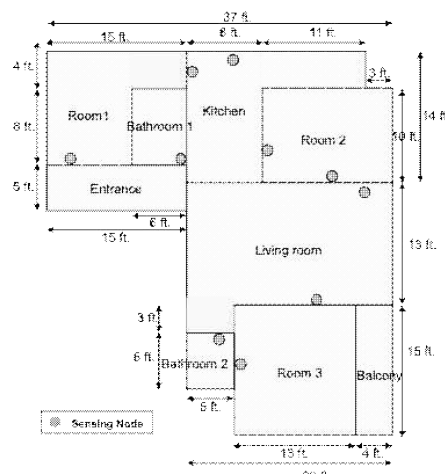
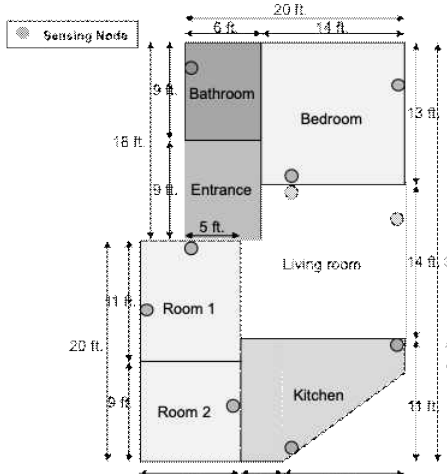
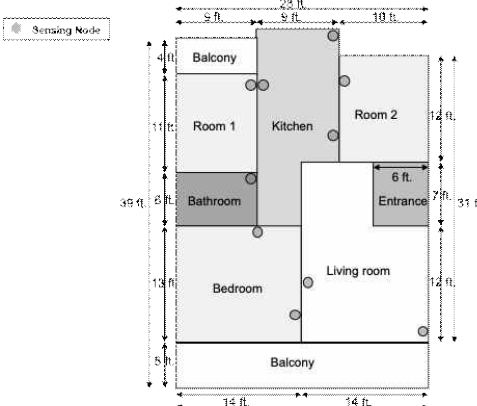
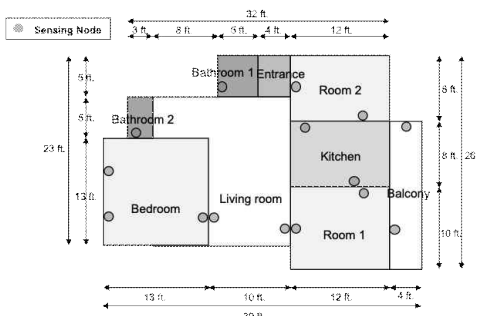
- 인구의 급속한 고령화는 우리나라를 포함한 선진국들에 공통적으로 나타나는 글로벌 사회이슈이며 특히 우리나라의 경우 다른 나라들에 비해 훨씬 더 급속한 인구의 고령화가 진행 중임.
- 또한 고령자가 혼자 살거나 부부만 사는 ‘고령자 가구’의 수 또한 급증할 것으로 예상되면서 기존의 가족 구성원의 관찰에 의한 고령자 건강관리 방식으로는 응급상황에 대응하거나 노인성 기능저하 질환의 증상을 발견하는 데 한계를 가짐.
- 고령자들의 사회구성원으로서의 건강하고 활동적인 삶을 지원하는 것은 인구 고령화로 인해 발생하는 사회적 비용 발생을 예방할 수 있다는 측면에서 매우 중요함. 따라서 미국·유럽 등의 선진국에서는 고령자들의 건강한 삶 지속을 위하여 상시적인 건강 모니터링이 가능하도록 하는 ‘스마트 홈 기반 헬스케어’에 관한 연구를 활발히 진행 중임.
- 국내에서도 고령자의 건강 모니터링 강화를 위해 국가차원에서 다양한 정책 및 사회안전망 인프라 구축 계획을 제시하는 등의 노력을 기울이고 있으나 수요에 비해 공급이 매우 부족하고, 투입되어야 하는 비용이 천문학적인 수준에 달하는 등 보다 예방적(proactive) 차원의 접근이 필요함.
- 고령자 가구 내에서의 자체적·상시적 건강 모니터링이 가능하도록 하기 위해 건축·전기/전자·의학 등 관련 산업 간의 융합연구가 이루어지고 있으나 현재 초기 단계에 머물고 있으며, 대상 고령자가 스마트 기기와 같은 고가의 장비를 반드시 착용/소지해야 하는 등 현실에서의 즉각적인 도입이 어렵다는 한계를 가짐.
- 국내 및 국외의 의료·산업기기 분야에서 웨어러블 디바이스를 활용하여 고령자의 생체 데이터를 직접 수집·모니터링하고 응급상황의 발생 시 유관기관에 자동으로 연락을 취할 수 있는 기술 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음.
- 그러나 위 기술들은 웨어러블 디바이스로 인한 편의성 저하 외에도, 치매 등과 같은 노인성 질환의 증상을 발견하는 등의 장기적 모니터링을 고려하지 않거나 불가능한 경우가 대부분이며 단기적·장기적 모니터링을 모두 고려한 시스템의 개발은 초기 단계 수준임.
- 따라서 글로벌 협력 연구를 통해 스마트 홈 헬스케어 관련 기술을 선도하고 있는 미국의 기술을 도입하고 한 단계 성숙시킴으로써 국내 기술수준 향상 및 관련기술의 해외시장 진출에 기여할 것으로 기대됨.
- 또한 노인성 질환의 조기진단 가능성을 높임으로써 고령층, 특히 고령자 가구를 위한 사회복지정책 및 제도에 소요되는 비용을 절감하는 데 기여할 것임.

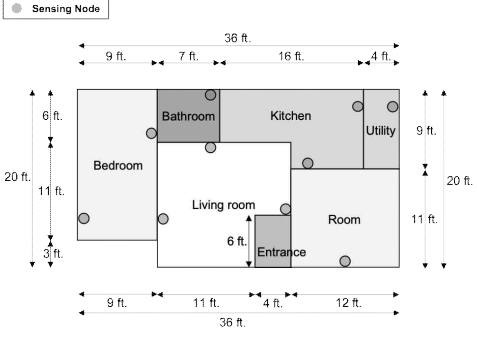
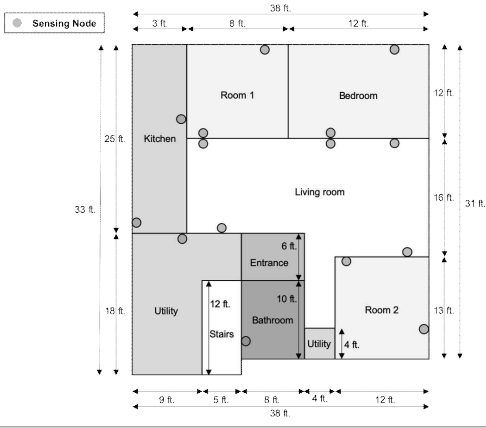
## (2) 실험 수행 현황

### (가) 국내 실험 수행 현황

- 본 연구는 최종 결과물을 독거 고령자 주거환경에 적용하여 가구 내에서의 자체적·상시적 건강 모니터링이 가능하도록 하는 것이 최종 목표이므로 개발된 방법론 및 알고리즘 등이 실제 환경에서 적용 가능한지에 대한 실험 및 파일럿 테스트를 수행함.
- 주관연구기관(국내)의 경우 총 6개 서울 거주 독거 고령자 가구에서 가구당 최소 60일 최대 120일동안 데이터를 수집하고 일상생활 활동을 추적 관찰함.

- 본 실험에서는 각 실의 콘센트에 설치하는 형태의 센서 노드를 가진 Tomographic motion sensing system (Xandem 사)을 활용하여 5초 간격으로 공간 좌표를 API 데이터 요청 방식으로 수집함.
- 위 센서는 움직임을 감지하는 센서로서 공간 내에 움직임이 감지되지 않으면 공간 좌표는 모두 0으로 기록됨. 이 때, 재실자는 움직임이 감지된 위치에서 더 이상 이동하지 않고 계속 머무른다고 간주할 수 있으므로 다음 움직임의 위치가 기록되기 전까지 직전 위치의 좌표를 기록하는 방식으로 Data cleansing을 실시함.

| 구분 (연령) | 피실험자 A (72)                                                                         | 피실험자 B (72)                                                                          |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 데이터 수   | 2,085                                                                               | 10,684                                                                               |
| 실험일     | 41                                                                                  | 110                                                                                  |
| 평면      |   |   |
| 건강상태    | 경미한 우울증세 보유                                                                         | 건강                                                                                   |
| 구분 (연령) | 피실험자 C (75)                                                                         | 피실험자 D (82)                                                                          |
| 데이터 수   | 3,185                                                                               | 4,522                                                                                |
| 실험일     | 64                                                                                  | 61                                                                                   |
| 평면      |  |  |
| 건강상태    | 건강                                                                                  | 신체적 제약 보유                                                                            |

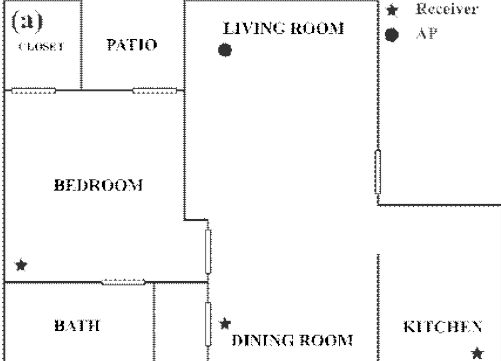
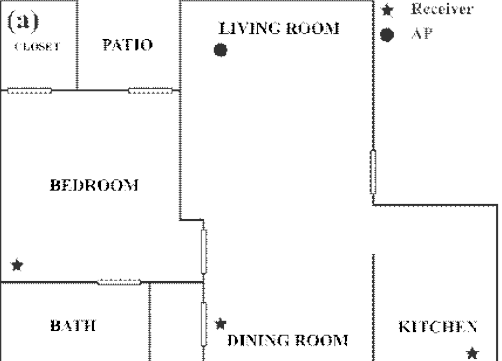
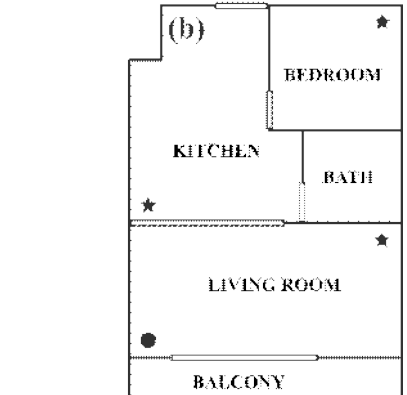
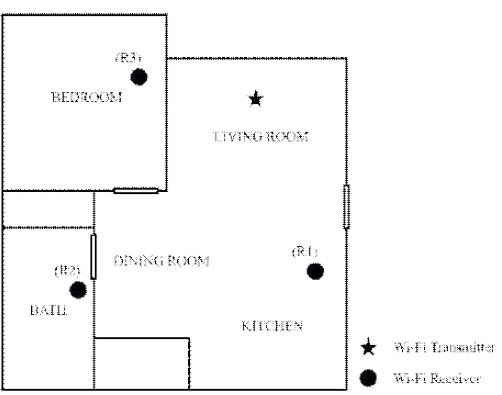
|         |                                                                                   |                                                                                    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 구분 (연령) | 피실험자 E (80)                                                                       | 피실험자 F (77)                                                                        |
| 데이터 수   | 3,942                                                                             | 3,246                                                                              |
| 실험일     | 62                                                                                | 62                                                                                 |
| 평면      |  |  |
| 건강상태    | 신체적 제약 보유                                                                         | 건강                                                                                 |

- 본 실험은 다음과 같은 목적을 달성하기 위해 실시됨. 1) 디바이스 프리 센싱 (Motion-detecting) 방식을 활용하여 1인 재실자의 일상생활 활동 루틴을 추출할 수 있는지 확인하고, 2) 이를 통해 재실자의 일상생활 활동 루틴의 변동성을 측정하는 메트릭이 실제 주거환경에서 적절하게 작동하는지 확인함.
- 피실험자로부터 매주 일상생활 활동에 관한 자가 설문을 실시하고 그 내용에 기반하여 실험에서 도출된 일상생활 활동 루틴과 각 기간별 변동성 추이 결과를 분석함으로써 비일관성 정도 정량화 방법 개발에 활용함.
- 또한 공동연구기관의 Fine-grained WiFi 신호를 통한 행동식별 알고리즘 개발의 일부로서 차이를 가지는 주거환경 (한국-미국)에서의 행동식별 결과 및 성능 분석을 위한 실험을 지원하였음.
- 한국 주거환경 (집합주택)을 대표하는 평면으로 N의 고령자형 평면에서 실험을 수행함으로써 향후 실제 주거환경에서의 적용을 고려하였음.

#### (나) 국외 실험 수행 현황

- 공동연구기관에서는 최초로 WiFi CSI data를 통해 1인 재실자의 단위 행동식별이 가능한지 여부를 확인하는 실험을 수행함. 이 때, 일상생활 활동의 범위는 타이핑하기, 식사, 요리, 수면, 세면으로 한정하였으며 94% 이상의 정확도로 해당 행동식별이 가능함을 확인함 (실험 1).
- 다양한 주거환경의 차이가 있는 조건에서의 행동식별 결과 및 성능을 확인하기 위해 한국과 미국의 주거환경에서 동일한 시나리오의 실험을 각각 수행하였으며 AP와 Receiver의 위치 및 각 실험 대상지의 평면은 아래와 같음.

| 구분    | 실험 1                       | 실험 2                        |
|-------|----------------------------|-----------------------------|
| 실험 일시 | 2017. 10. 01 ~ 2017. 10.16 | 2018. 02. 01 ~ 2018. 02. 15 |
| 실험 목적 | CSI data의 수집 및 정확성 확인      | 미국 목조 주택에서의 CSI data 수집 및   |

|       | 행동식별 알고리즘 성능 비교                                                                    |                                                                                     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 평면    |   |   |
| 구분    | 실험 3                                                                               | 실험 4                                                                                |
| 실험 일시 | 2018. 03. 07 ~ 2018. 03. 12                                                        | 2019. 07. 15 ~ 2019. 08. 15                                                         |
| 실험 목적 | 한국 RC 주택 (고령자형) 에서의 CSI data 수집 및 행동 식별 알고리즘 성능 비교                                 | CSI data 기반 행동식별 알고리즘의 장기적 유효성 검증                                                   |
| 평면    |  |  |

- 한국의 주거환경의 특징을 고려하여 이웃 공간에서의 움직임이 행동식별 정확도에 미치는 영향을 확인하기 위해 실험 시 이웃 공간에서 움직임을 발생시킴 (실험 2와 실험 3).
- 또한 개발된 행동식별 알고리즘이 다양한 조건의 피실험자의 행동을 식별할 수 있는지 확인하기 위해 키, 성별, BMI 지수가 각각 다른 피실험자 6명에 대해 실험을 수행함 (실험 2와 실험 3).
- 응급상황 식별 중 낙상과 수면 중 무호흡에 대한 행동식별을 위하여 낙상에 가까운 행동 (넘어짐)과 수면 중 무호흡을 실험 시나리오에 추가하여 해당 신호를 분석함.
- 위 실험을 통해 재실자의 위치에 따라 각각 다른 위치의 Receiver를 선별하여 사용하는 것이 결과의 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 낙상 및 무호흡 상황 패턴을 식별할 수 있음을 확인함.
- 단기적 행동식별 알고리즘의 성능 확인 후 장기적 행동식별의 유효성을 검증하기 위해 추가 실험을 진행하였으며 이 때 정확도 측정을 위해 피실험자의 행동을 카메라로 녹화하여 실측 값 (ground-truth)으로서 라벨링 함.
- 그 결과 기존의 CSI data 기반 행동식별 알고리즘의 성능이 시간에 대해 일관적이지 않음을 확인함. 그 원인으로 온도, 습도 등의 지속적인 변화에 의한 Wi-Fi 신호의 전파 경로 변경 및 주변 환경 변화에 의한 전파 간섭 (주변 Wi-Fi 신호 및 움직임) 등이 있을

것으로 판단함.

- 따라서 시간에 따른 변동성을 최소화하는 알고리즘 성능 향상이 필요함을 확인하고 Transfer learning을 통해 Time-dependency를 감소시켜 장기적 행동식별이 가능하도록 개선함.

## 나. 연구 수행 방법

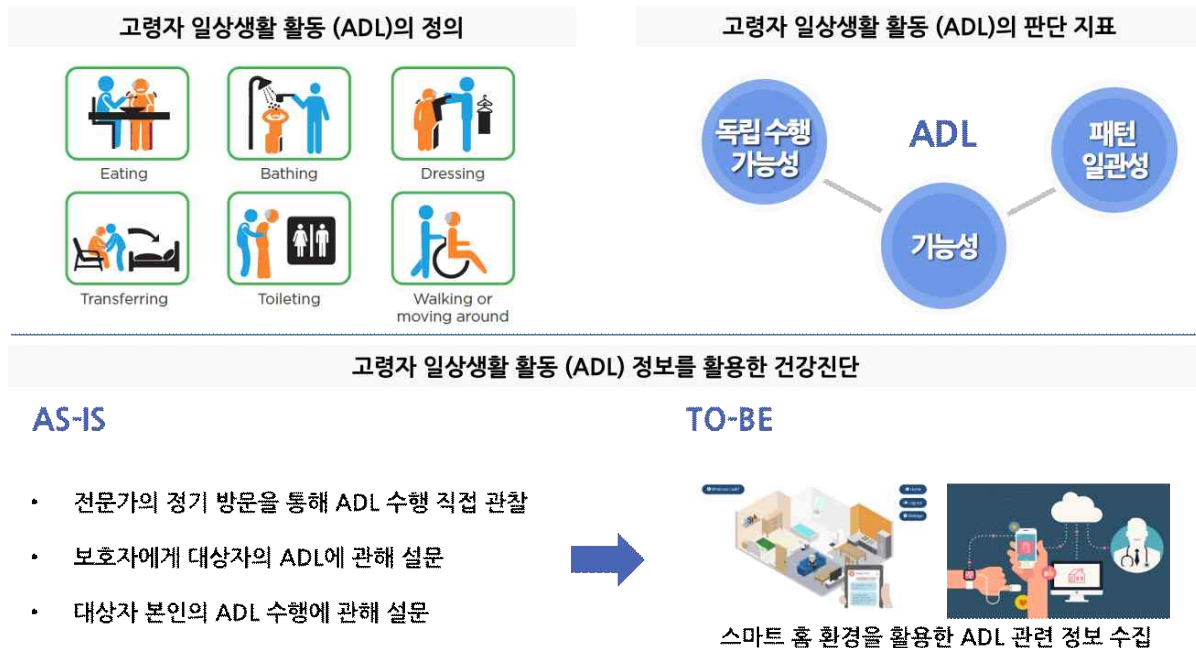
### (1) 1차연도

| 연구 범위                             | 연구 수행 방법<br>(이론적·실험적 접근방법)                                                                                                                                                                                                              | 구체적인 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기존 문헌 고찰을 통한 고령자 요구사항 정의          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기존의 스마트 홈 및 스마트 홈 헬스케어 기술에 대한 문헌고찰</li> <li>▪ 기존 스마트 홈 적용 대상 노인들의 스마트 홈 헬스케어 요구사항 및 애로사항 고찰</li> </ul>                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련 문헌 고찰을 통해 고령자 ADL 활용 헬스케어 현황을 조사하고 고령자 적합도 및 한계를 분석함.</li> <li>• 분석보고서 1건</li> <li>• 기존 스마트 홈 환경을 활용한 재실자 센싱 방식에 대해 분석한 후 고령자 적합 대안적 센싱 방안과 그 요구사항을 도출함.</li> <li>• 분석 결과 및 요구사항 도출 과정을 분석 보고서로 작성하여 관련 양적 성과를 달성함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 고령자 정보 수집을 위한 디바이스 프리 센싱기술 적합성 검증 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고령자 일상행동 분석을 통한 행동 특징 분석 및 이를 통한 필요한 정밀도(Accuracy) 수준 정의</li> <li>▪ 디바이스의 고령자 적합도 판별 (측정 정밀도, 데이터 민감도, 후처리 가능성, 데이터 네트워킹 가능성 등)</li> <li>▪ 사용가능한 디바이스 프리 센싱 기술 후보군 사이의 동시 활용 가능성 분석</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재실자 행동패턴 도출을 위해 필요한 활동 및 행동 관련 정보의 위계를 정의함.</li> <li>• 수집된 재실자 시·공간 데이터 로그와 공간 내 실별·도구별 위치 데이터의 결합을 통해 위치 및 ADL 관련 수행 활동을 자동적으로 도출하는 모델을 제안함.</li> <li>• 문헌 고찰을 통해 도출한 고령자 적합 대안적 센싱 방안 (간접적 센싱방식 활용)과 해당되는 센싱 기술들에 대한 적합성을 검증함.</li> <li>• 비침습적 모션 센서를 활용한 재실자 ADL 관련 정보 추출 가능성을 검토하기 위해 실제 주거공간에서 파일럿 테스트를 수행함.</li> <li>• ADL 관련 활동 중 단일 도구를 활용하는 활동들에 대해서는 명확한 추출이 가능함을 밝혔으며 그 외 한계 및 보완점을 도출함.</li> <li>• 실험 수행 결과를 분석하고 그 결과로 간접적 센싱 기술의 다층적 활용을 통한 보완 필요성 및 가능성을 도출하였으며 이를 차년도 연구계획에 반영함.</li> <li>• 논문 1건 (비SCI)</li> </ul> |

|                                |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 일상생활 활동 분류 및 정의                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 행동 식별을 위한 일상생활 활동의 정의</li> <li>▪ 행동 식별 알고리즘 개발을 위한 주요 행동 정의</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 관련 연구를 분석하여 Fine-grained WiFi 기술을 통해 식별 가능한 행동 수준을 분석함.</li> <li>• 분석된 ADL은 선행연구의 결과를 바탕으로 고령자 행동 연구와의 적합성, 행동별 정밀도, 정확도 등을 고려함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| 고령자 일상생활 행동 식별 알고리즘 구성 및 DB 구축 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fine-grained WiFi 상황에서의 개별 행동별 신호 정보의 변화량 계측 및 오차 분석</li> <li>▪ 계측된 데이터 분류 및 개인적 특성에 따른 오차 향에 대한 선처리 기술 확보</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 고령자의 ADL을 측정하기 위한 알고리즘을 구성함.</li> <li>• 이를 위해 상용화된 라우터를 사용하여 라우터 간의 동기화를 통해 데이터 식별가능 범위와 데이터 교환 성공률을 향상시킴.</li> <li>• 90% 이상의 데이터 교환율</li> <li>• S/W 등록 1건</li> <li>• Fine-grained WiFi 알고리즘의 정보추출 가능성 및 정확성 검토를 위한 파일럿 테스트를 수행함.</li> <li>• 90% 이상의 행동식별 정확도</li> <li>• 건물구조에 따른 식별 정확도의 차이 검증을 수행함.</li> <li>• 논문 1건</li> </ul> |

## [주관연구기관]

### ▪ 기존 문헌고찰을 통한 고령자 요구사항 정의



- 기존 관련 문헌고찰을 통해 고령자 일상생활 활동 정보를 통한 건강 모니터링 현황 과 고령자 적합도 및 각각의 한계점을 분석함.
- 고령자 일상생활 활동 (Activities of Daily Living)의 정의 및 건강 모니터링에서의 활용 방안을 확인함.
- 고령자 ADL의 건강 진단 지표 3가지 (독립 수행 가능성, 기능성, 패턴 일관성)
- 기존 ADL 활용 건강 진단의 한계로서 전문가 또는 보호자의 직접 관찰이 필요하며 이는 관찰하는 사람의 주관에 개입될 여지가 크며, 하루 중 일부의 정보만 획득 가능함.
- 또한 혼자 사는 고령자 가구의 경우 객관적 수집이 더욱 어려움.
- 독거 고령자에게 직접 설문을 하는 방식 또한 마찬가지로 매우 주관적일 수 있으므로 정확한 진단이 어려움.
- 이러한 한계로 인해 최근 스마트 홈 환경을 활용한 고령자 ADL 관련 정보 수집 연구가 일부 수행되고 있음.



- 기존 관련 문헌고찰을 통해 고령자 일상생활 활동 정보를 통한 건강 모니터링 현황 과 고령자 적합도 및 각각의 한계점을 분석함.
- 스마트 홈 환경을 활용한 재실자 행동 센싱 방식은 대체로 '직접적 (Intrusive) 센싱' 방식을 활용하고 있으나 한계가 명확함.
- 고령자에게는 직접 착용하는 센서가 편의성을 저해하여 주거공간과 맞지 않을 뿐 아니라 ADL 관련 정보 수집이라는 목표에 비해 과도한 개인 생체 정보 수집이 요구됨.
- 따라서 고령자에게 보다 적합한 대안적 센싱 방안인 '간접적 (Non-intrusive) 센싱'이 요구되며 이는 재실자 자체보다 재실자를 둘러싼 환경을 센싱하여 그 정보로부터 재실자의 상태를 유추하는 방식임.
- 기존 방식에 비해 보다 제한적인 데이터 수집만으로도 ADL 관련 정보를 수집할 수 있으며 대표적으로 스마트 플러그, 모션 센서 등을 통한 재실자 공간 및 가전제품 사용 패턴을 통해 ADL을 추출할 수 있음.

■ 고령자 정보 수집을 위한 디바이스 프리 센싱 기술 적합성 검증

- '간접적 센싱'을 활용한 디바이스 프리 센싱 기술로 ADL 관련 정보 수집이 가능한지 여부를 확인하기 위해 파일럿 테스트를 수행함.
- 현재 상용화 되어 판매되고 있는 모션 센서를 활용하였으며 실내 wifi network와 각 센서 노드 10개가 서로 연결되어 모션 센서 허브로 데이터를 전송하면 실시간으로 5초에 한 번씩 데이터를 요청하는 방식으로 데이터를 수집함.
- 수집 데이터는 Timestamp, 평면의 좌표 (시·공간 데이터 로그)임.

비침습적 모션 센서 활용을 통한 재실자 ADL 관련 정보 추출 가능성 검토

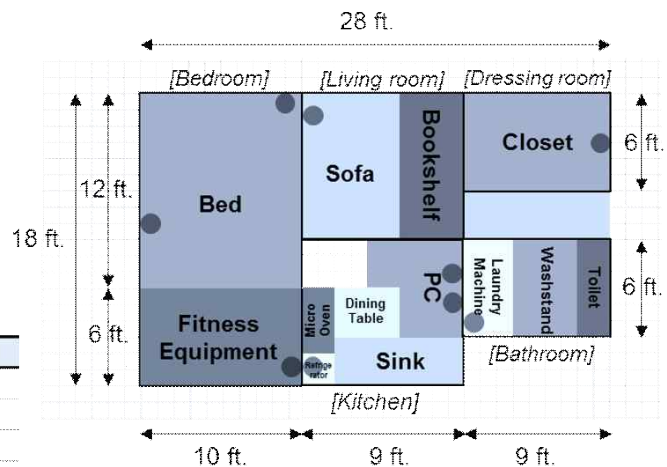


[모션 센서 허브 및 노드 설치 모습]

↓ 5초에 한 번 REST API Request

| Timestamp           | Coordinates (x) | Coordinates (y) |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| 2017-09-28 15:00:45 | -18.0281        | -0.9157         |
| 2017-09-28 15:00:50 | -15.2376        | -1.2379         |
| 2017-09-28 15:00:55 | -12.1759        | 2.3875          |
| 2017-09-28 15:01:00 | -12.9763        | 2.5794          |

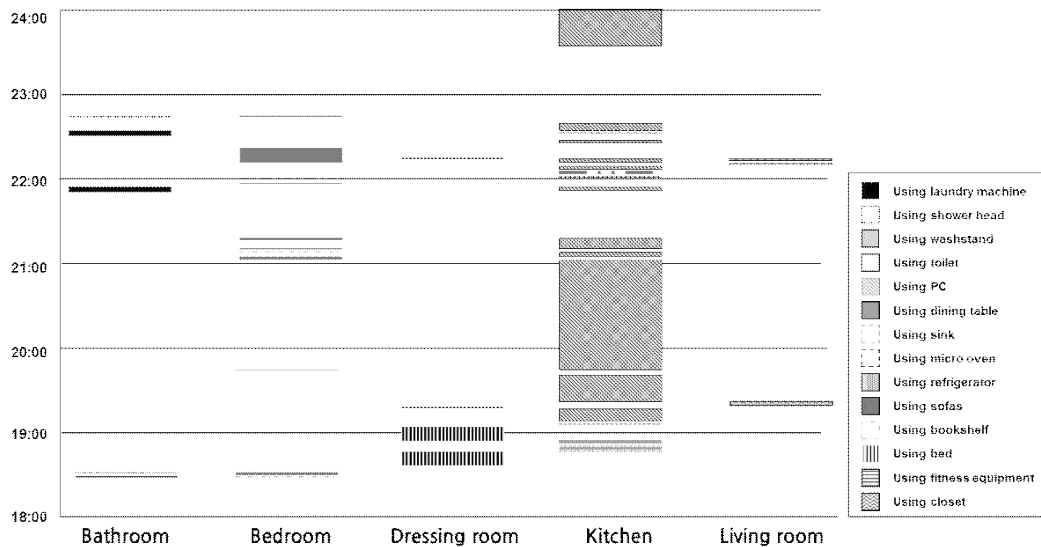
[수집 데이터 예시]



[실험 공간 초기 정보]

- 수집된 시·공간 데이터 로그 중 일부를 시각화 한 것으로써 'Space-time Path'를 플롯할 수 있음.
- Z축인 시간대별로 재실자가 주거공간을 활용 정보 (동선, 각 위치에 머무른 시간)을 확인할 수 있음.
- 주거공간의 각 실별 위치 좌표와 ADL 관련 도구들의 위치 좌표를 통해 재실자의 ADL 관련 행동을 자동적으로 추출하고 그 결과를 비교함 (예:재실자가 화장실의 세면대 근처에서 5분간 머물렀다면 '재실자가 세면대에서 씻는 행동을 했다 (bathing)' 고 판단하는 모델).
- Space-Activity Map을 도출함 (각 수행 활동별 위치, 지속 시간, 빈도, 순서 등의 정보 표현).

### 비침습적 모션 센서 활용을 통한 재실자 ADL 관련 정보 추출 가능성 검토



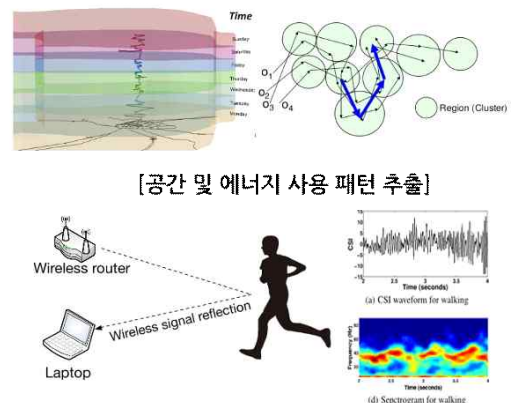
- 파일럿 테스트 수행 결과를 통해 '모션 센서 단일 활용' 만으로도 재실자의 일상생활 활동을 어느 정도 파악할 수 있음을 확인함.
- 그러나 일부 한계가 있으며 이를 보완할 수 있는 방법을 크게 두 가지로 도출함; 1) 수집된 시·공간 데이터 로그로부터 해당 재실자 개인의 공간 활용 패턴을 도출하여 '개인별 특성' 을 반영하고 스마트 플러그 사용을 통해 전자제품 활용 패턴을 결합하여 보완, 2) 공동에서 연구하고 있는 WiFi CSI data를 활용하여 재실자의 물리적 자세 등을 추출하여 Activity 정보 수집
- 이러한 보완 가능성을 주관의 차년도 연구 과업으로 도출함.

### 비침습적 모션 센서 활용을 통한 재실자 ADL 관련 정보 추출 가능성 검토

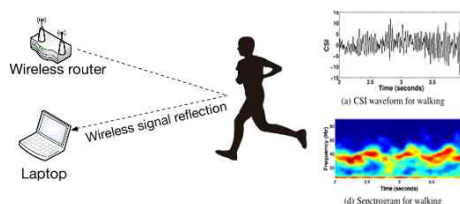
#### \* 파일럿 테스트 수행 결과 분석

- 1 주거공간 내의 도구를 사용하는 ADL 관련 활동은 모션 센서 단일 적용 만으로도 추출 가능
- 2 지속 시간이 5분 미만이거나 여러가지 도구를 사용하는 활동은 정확한 추출이 어려움
- 3 도구와 가까이 있지 않으면서 해당 도구를 활용하는 활동 역시 모션 센서만으로는 추출이 어려움

#### \* 센싱 기술의 다층적 활용 가능성 분석



[공간 및 에너지 사용 패턴 추출]

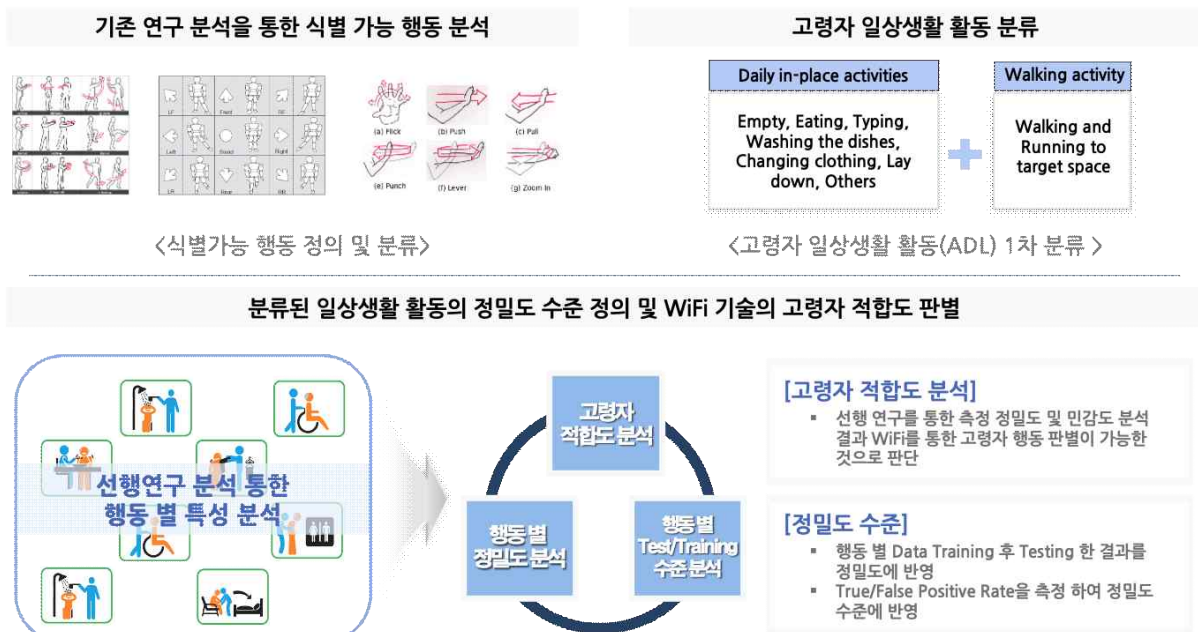


[CSI data 활용을 통한 재실자 Activity 추출]

## [공동연구기관]

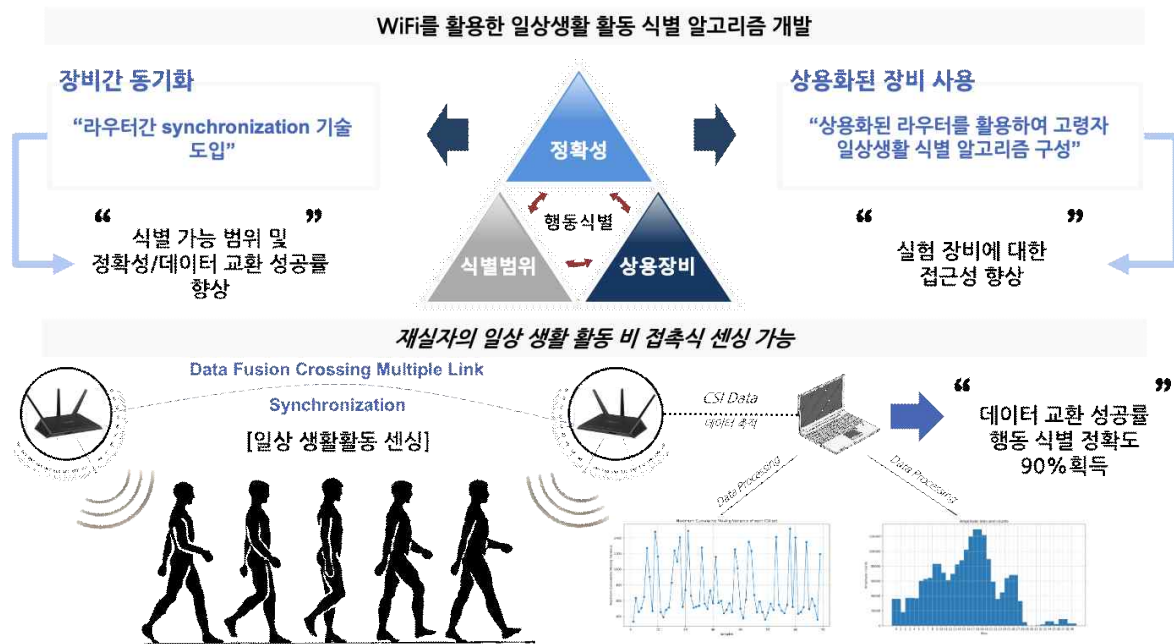
### ■ 고령자 일상생활 활동 분류 및 정의

- Fine-grained WiFi 기술을 활용한 행동식별 알고리즘 개발을 위한 고령자 ADL을 분석함.
- Fine-grained WiFi 기술 관련 기존 연구를 분석하여 Fine-grained WiFi를 통해 식별 가능한 행동 수준을 분석하였음.
- 분석된 일상 행동 중 고령자 일상생활 분석을 위한 ADL을 1차 분류 함.
- ADL의 분석기준은 선행연구의 연구 결과를 바탕으로 본 연구의 주제인 고령자 행동 연구와의 적합성, 행동별 정밀도, 정확도 등을 고려하였음.



### ■ 고령자 일상생활 활동 식별 알고리즘 구성

- 고령자의 ADL을 측정하기 위한 알고리즘을 구성함.
- 본 연구의 알고리즘의 장점으로 1) 라우터간의 동기화를 통해 데이터 식별가능 범위와 데이터 교환 성공률을 향상시켰고, 2) 상용화된 라우터를 사용함으로써 실험장비에 대한 접근성을 향상시켰음.
- 개발된 알고리즘을 시험 테스트 한 결과 90% 이상의 데이터 교환율과 식별 정확도를 얻을 수 있었음.
- 데이터 교환율 90% = 실제 행동 식별 정확도 90% = 데이터로부터 추출한 행동과 실제 수행된 행동의 일치 정도가 90% 이상이었음.



- 개발된 Fine-grained WiFi 알고리즘의 정보추출 가능성과 그 정확성을 보기 위해 파일럿 테스트를 진행함.
- 실험은 미국 텍사스에서 진행되었으며 건물구조는 목조 건물임.
- 실험목적은 fine-grained WiFi CSI (Channel State Information) Data 획득 가능성과 정확성을 확인하는 것임.
- 실험은 총 5개 세션으로 나뉘어 진행이 됨 (실험 행동 시나리오).
- 1) 빈 공간에서의 오작동을 확인하는 실험
- 2) 피실험자가 현관문을 열고 들어와 거실로 이동한 후 의자에 앉아 5초간 컴퓨터를 사용함.
- 3) 거실에서 식당으로 이동 한 후 5초간 식사를 함.
- 4) 식당에서 주방으로 이동하여 5초간 설거지를 함.
- 5) 주방에서 안방으로 이동하여 옷을 갈아입고 5초간 누워있는 상태를 유지함.

## Fine-grained WiFi 알고리즘을 통한 재실자 일상행동 정보 추출 가능성 검토 실험

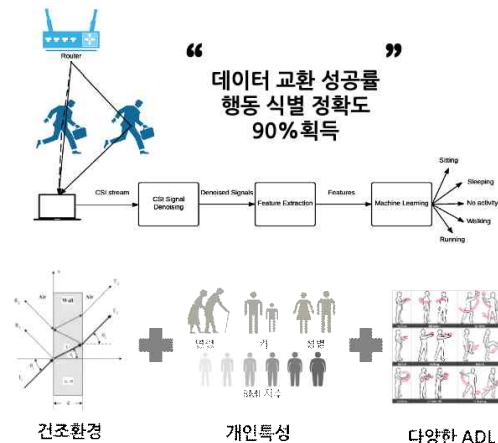


Pilot 실험결과 안정적으로 CSI data로부터 90%이상의 정확도로 활동 추출 가능 확인

- 실험 결과 90% 이상의 데이터 교환율과 식별 정확도를 얻을 수 있었음.
- 또한 다른 건물구조(목조와 철근콘크리트) 유형에서의 실험을 진행할 예정이며 건조환경 유형에 따른 식별 정확도의 차이를 확인 할 수 있을 것으로 예상됨.
- 그리고 다양한 ADL을 판단 할 수 있는 알고리즘과 피 실험자의 개인별 특성(BMI지수, 성별, 키)에 따른 정확도 차이를 실험 할 예정임.

### \* 파일럿 테스트 수행 결과 분석

- 1 데이터 교환 성공률 행동 식별 정확도 90%획득
- 2 건조환경(목조/철근콘크리트)에 따른 식별 정확도 및 민감도의 차이를 확인하기 위한 실험 예정
- 3 다양한 일상 행동(ADL)을 판단 할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요
- 4 피실험자 개인별 특성(BMI, 성별, 키 등)을 고려한 추가 실험이 필요



WiFi 기술의 보편화된 적용 가능 ➡ 2차년도 과업 도출

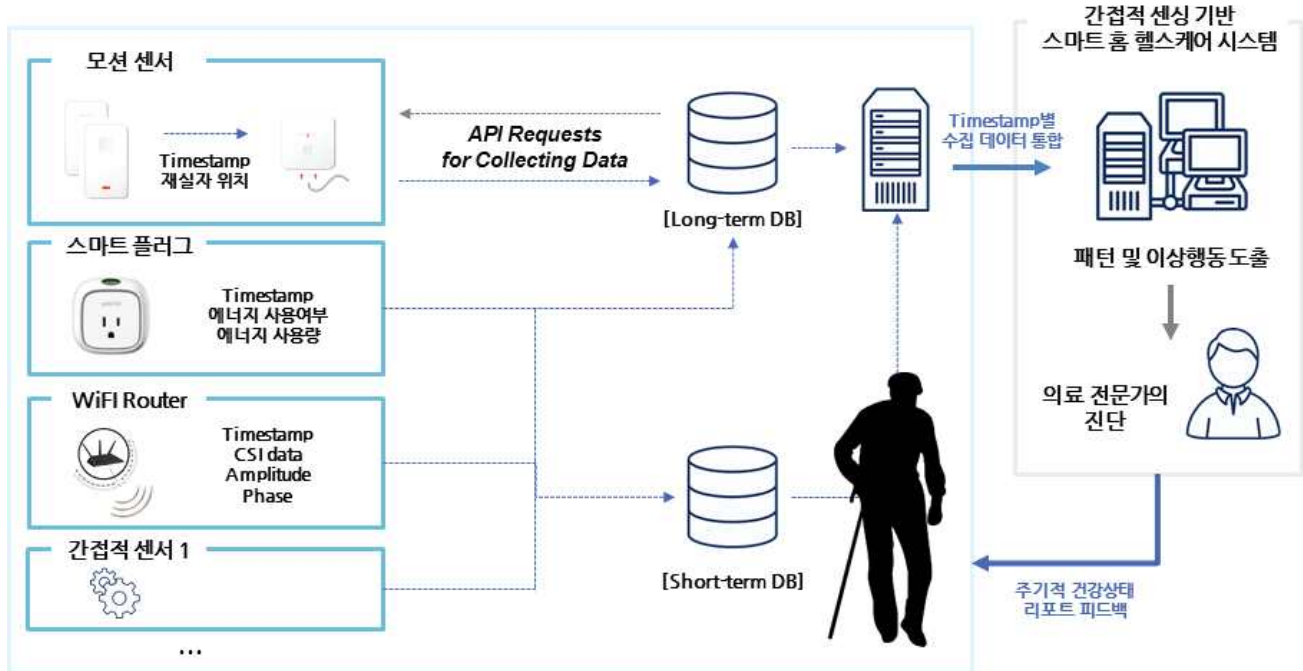
## (2) 2차 연도

| 연구 범위                                                 | 연구 수행 방법<br>(이론적·실험적 접근방법)                                                    | 구체적인 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 신체적/정신적<br>기능저하 식별을<br>위한 일상생활 내의<br>이상행동 분석 모델<br>개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 상황 및 맥락에 따른 행동 식별 알고리즘 개발</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 모션 센서 및 스마트 플러그를 활용하여 실제 혼자사는 고령자를 대상으로 실험을 수행함 (60일).</li> <li>■ 수집된 데이터의 시간대별 분석 및 피실험자의 일상생활 활동 기록을 비교하여 수행 활동을 파악함.</li> <li>■ 향후 다양한 간접적 센싱 방식과의 결합을 위한 시스템 아키텍처를 도출함</li> </ul>                                                                                                                                                                               |
|                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 고령자 일일생활 활동 패턴 모델링</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 사례 분석을 위해 혼자사는 재실자를 대상으로 (고령자 1, 비고령자 1) 실험을 수행함.</li> <li>■ 각 실별 문자열 정의 및 연속 수행 활동 도출을 위한 데이터 처리 방법을 제안함.</li> <li>■ 일상생활 활동의 문자열 데이터화 및 패턴 도출 방법론으로 Multiple Sequence Alignment 방법을 적용함.</li> <li>■ 일일생활 활동별 특징을 고려 (긴 시간 지속되며 거의 변화가 없는 활동들 / 짧은 시간 지속되며 거의 랜덤하게 일어나는 활동들) 한 패턴 도출 방법론을 각각 적용 및 통합 후 결과를 시각화하여 도출함.</li> <li>■ 논문 2건</li> <li>■ 특허 1건</li> </ul> |
|                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일상생활 내의 이상 활동 정의</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 불규칙 정도 (Irregularity)와 비정상 정도 (Abnormality)의 정의</li> <li>■ 불규칙 정도: 정상시의 패턴과 다른 정도</li> <li>■ 비정상 정도: 해당 일상생활 활동이 수행될 것으로 기대되는 시·공간적 맥락에서 벗어난 정도</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
|                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 이상 활동 정량화 모델 구축 및 검증</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일상생활 활동의 시·공간 데이터를 활용하여 벡터 형태로 정량화한 후 이에 대한 플롯을 작성함.</li> <li>■ 작성된 플롯 내에서 시·공간 데이터 유사 활동별 클러스터화 후 불규칙 정도 도출을 위해 클러스터 내부의 거리 계산 방법을 제안함.</li> <li>■ 실험 사례 간 비교를 통해 도출된 방법의 유효성 검증을 수행함.</li> <li>■ S/W 등록 1건</li> </ul>                                                                                                                                             |

|                                                  |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>응급상황 식별을<br/>위한 단기적<br/>이상행동 식별 방법<br/>개발</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>한국과 미국의 주거환경 차이에 따른 WiFi 기반 행동식별 알고리즘의 성능 비교</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>한국/미국의 대표적인 주거환경에서 동일한 행동 수행 시 행동식별 알고리즘의 성능을 비교하여 주거환경으로부터의 차이가 있음을 도출함.</li> </ul>                                                                                                                                                 |
|                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>WiFi Receiver의 위치 및 재실자의 위치에 따른 행동식별 결과 성능 비교</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>실험 사례에서의 결과 차이는 건축재료 뿐 아니라 집의 크기, 레이아웃의 다양성, 주변 환경 등 다양한 요인으로부터 발생된 결과일 수 있음을 확인함.</li> <li>주거환경의 차이 중 재실자의 위치, 생활 도중의 가구 재배치 등, 레이아웃의 변화 등에 대한 영향을 알아보기 위한 Receiver의 위치에 따른 영향요인을 확인함.</li> <li>논문 3건</li> <li>S/W 등록 1건</li> </ul> |
|                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fine-grained WiFi 신호를 통한 국지 이상 신호 식별 방법 개발</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>일상생활 내 응급상황 (낙상, 무호흡)별 CSI data 신호 패턴을 도출함.</li> </ul>                                                                                                                                                                               |
|                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fine-grained WiFi 신호의 국지 이상 신호 중 응급 상황에 해당하는 범위 도출</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>낙상 시 발생 가능한 행동 실험을 통해 연속적인 행동 내에서의 낙상 패턴을 도출하고 해당 신호의 amplitude 범위를 도출함.</li> </ul>                                                                                                                                                  |
|                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fine-grained WiFi 신호를 통해 응급상황으로 발전할 수 있었던 행동 및 그 빈도를 통한 사고의 가능성 추론 방법 개발</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>수면 중 무호흡 발생의 응급상황 발견을 위해 신호의 phase 정보를 이용하여 재실자의 평상시 호흡수를 측정할 수 있음을 확인함.</li> <li>특허 출원 1건</li> <li>S/W 등록 1건</li> </ul>                                                                                                             |

## [주관연구기관]

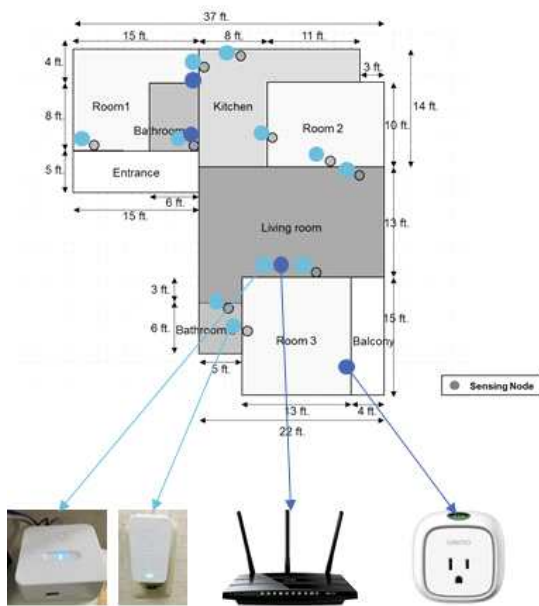
- Fine-grained WiFi 기반 행동식별 알고리즘 활용성 증진을 위한 멀티 레이어 (Multi-Layer) 방식의 기술 프레임워크 개발



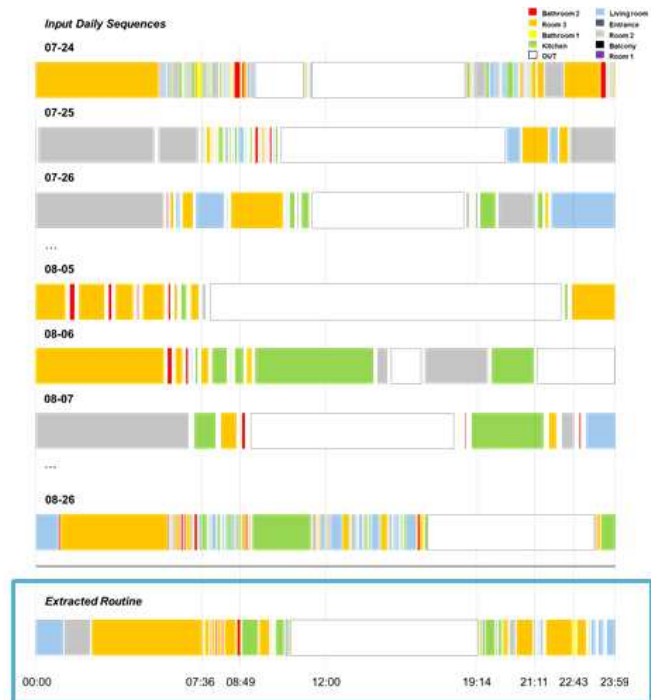
- 본 연구에서 적용하는 모션 센서, 스마트 플러그, WiFi Router로부터의 CSI data를 수집하고 각 데이터의 특성 및 식별 대상 행동의 특성을 고려하여 데이터 수집 DB를 각각 장기와 단기로 분류함.
- 향후 본 연구의 센서들 외의 타 간접 센서 활용 시에도 통합 적용이 가능하도록 각 데이터의 수집 시간 (timestamp)을 중심으로 데이터를 결합·분석하는 방법을 제시함.
- 모니터링 기간 동안의 행동패턴 식별 및 이상 행동 정도를 도출하여 신체적/정신적 기능저하가 의심되는 상황 및 시점을 찾고 이를 의료 전문가의 진단과 함께 모니터링 대상 고령자에게 주기적으로 리포트할 수 있음.

### ▪ 고령자 일일 일상생활 활동 패턴 추출

- 혼자사는 고령자의 재실 시·공간 데이터 로그를 각 실별 시작 시간, 지속 시간을 반영한 문자열로 변환할 수 있음.
- 이 때, 각 문자는 각 실을 대표하며 문자 하나가 1분을 나타낼 때 일일 활동은 1440개의 문자열로 표현될 수 있음.
- 각 문자의 위치는 일일 중 시작 시간, 동일한 문자의 반복 개수는 해당 활동의 지속 시간을 나타내며 데이터 수집 기간만큼의 문자열 내에서 공통 문자열을 추출하여 해당 기간의 패턴을 도출할 수 있음.



[스마트 플러그 및 모션 센서 노드 설치]

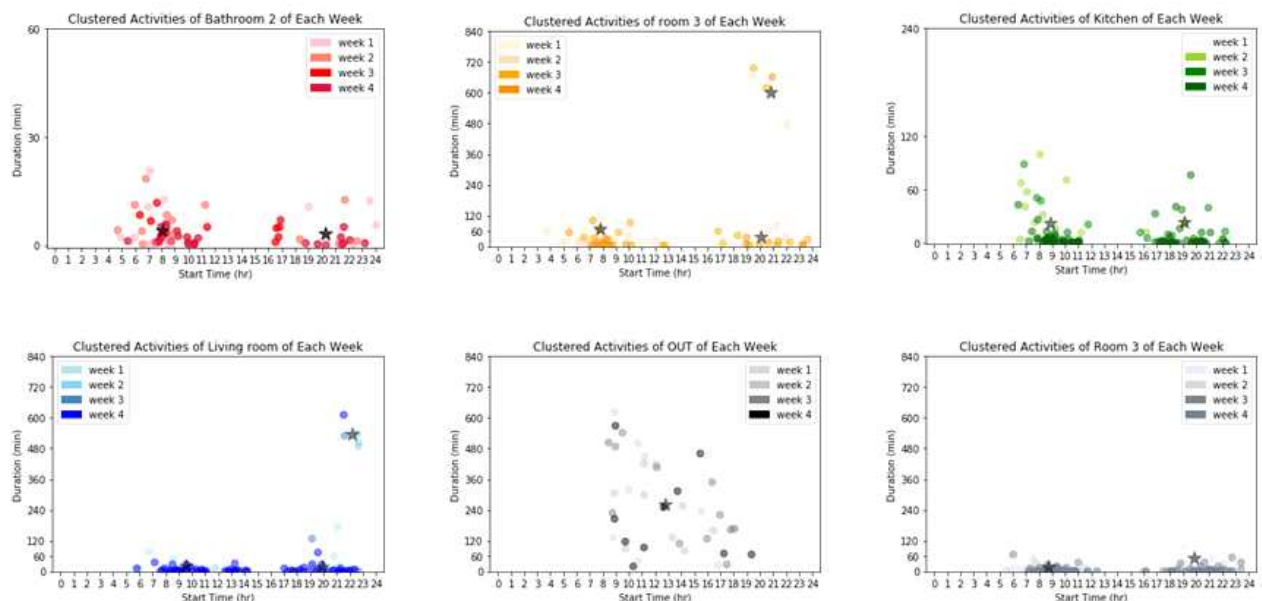


[다중서열정렬 방법론을 활용한 일상생활 활동 패턴 추출]

- 공통 패턴 도출을 위해 생물 정보학에서 주로 사용되는 다중 서열 정렬 (MSA, Multiple Sequence Alignment)을 적용하여 다중 문자열 간의 공통 문자열을 도출함.
- 각 일일 활동 문자열과 공통 문자열을 색깔 및 길이로 표현하여 시각적으로 결과의 이해를 도울 수 있음.

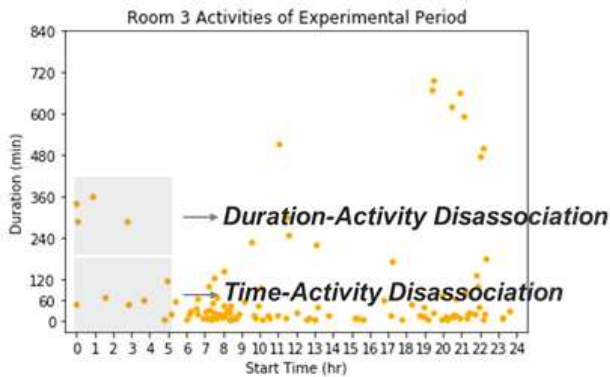
## ■ 재실 공간별 일상생활 활동의 시·공간 정보를 활용한 정량화

### 각 Activity의 [Space, Start-time, Duration] 변환 및 Plotting

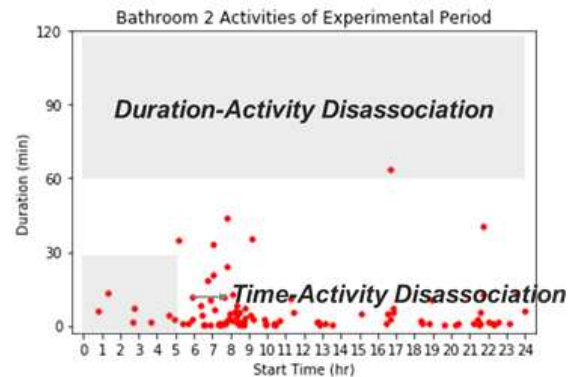


[주간별 각 실에서의 일상생활 활동 클러스터 도출]

- 일상생활 활동을 공간, 시작 시간, 지속 기간으로 각각 정량화하여 하나의 벡터로서 플롯을 작성함.
- 같은 공간 내에서 유사한 시작 시간과 지속 기간을 가지는 활동들은 플롯 내에서 유사한 위치에 표현되며 이 때 하나의 클러스터를 형성함.
- 각 클러스터의 중심으로부터 각 활동이 떨어져있는 거리만큼을 불규칙 정도로 정의하고 각 거리를 계산함.



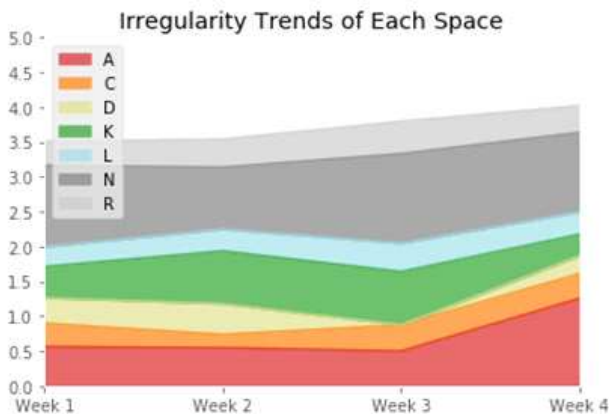
[침실에서의 비정상 행동 도출 예시]



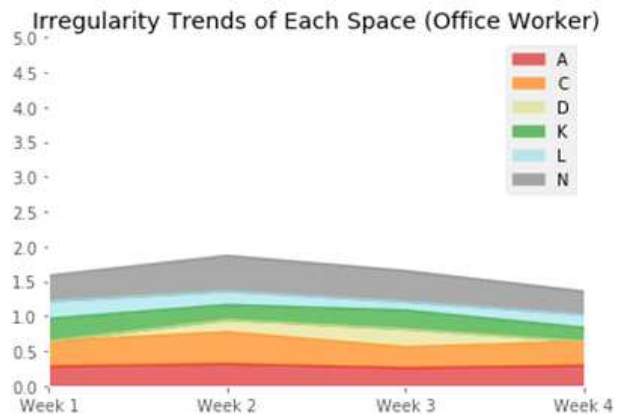
[화장실에서의 비정상 행동 도출 예시]

■ : 비정상 활동의 (시작시간-기간) 범위

- 불규칙한 생활패턴을 가진 재실자와 비교적 규칙적인 생활패턴을 가진 재실자 (평일에 출·퇴근을 하는 회사원)의 일상생활 활동 데이터에 대하여 동일한 정량화 방법을 적용한 후 그 결과를 비교함.
- 클러스터 및 거리 간 개념을 통한 정량화 방법을 통해 불규칙 생활패턴의 비일관성 정도가 규칙 생활패턴의 비일관성 정도에 비해 크게 도출되었으며 이를 통해 본 방법의 유효성을 확인함.



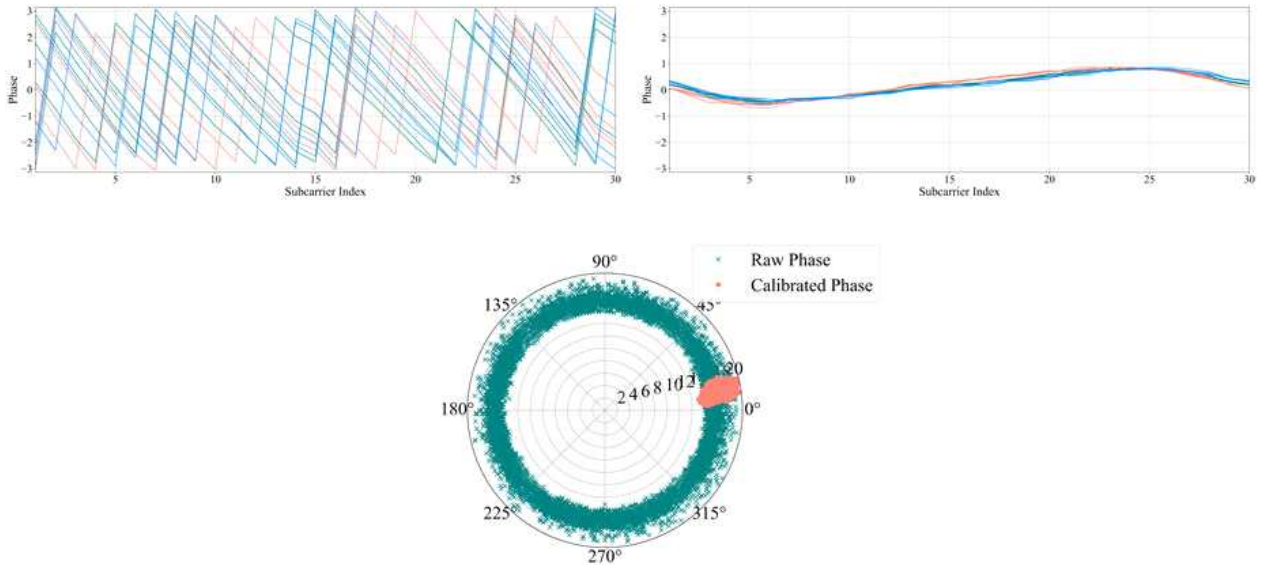
[불규칙한 생활패턴을 가진 재실자의 비일관성 변동 추이]



[규칙적인 생활패턴을 가진 재실자의 비일관성 변동 추이]  
(출·퇴근 패턴)

## [공동연구기관]

### ▪ Calibration을 통한 안정적인 CSI Phase 정보 추출



- CSI로부터 추출된 Raw Phase는 360도 전반에 걸쳐 분포되어 사용하기 어려우므로 Calibration을 통해 안정적인 Phase 정보를 얻을 수 있음.

### ▪ 한국과 미국의 주거 환경 차이에 따른 WiFi 기반 행동식별 알고리즘 성능 비교

Confusion Matrix for US and Korea Homes (Wi-Chase)

| Walking     | US         |            |             | Korea      |            |             |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
|             | Liv to Bed | Liv to Kit | No Activity | Liv to Bed | Liv to Kit | No Activity |
| Liv to Bed  | 298        | 10         | 4           | 237        | 42         | 33          |
| Liv to Kit  | 8          | 301        | 3           | 49         | 228        | 36          |
| No Activity | 21         | 6          | 598         | 74         | 88         | 463         |
| Accuracy    | 94%        |            |             | 72%        |            |             |

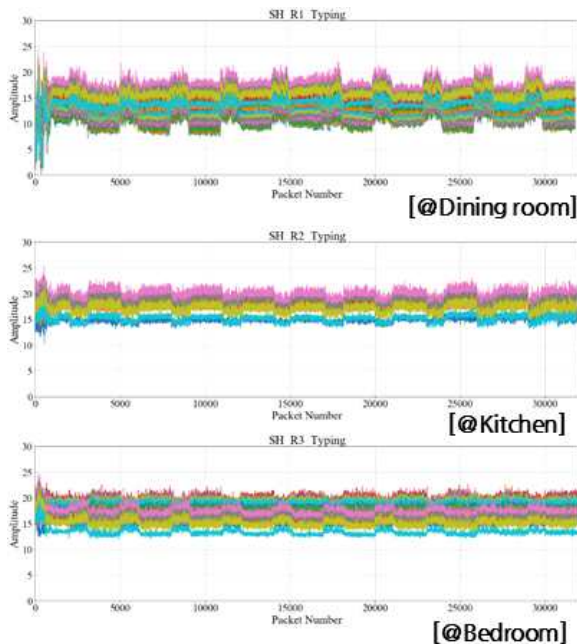
Confusion Matrix for US and Korea Homes (E-eyes)

| Walking     | US         |            |             | Korea      |            |             |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
|             | Liv to Bed | Liv to Kit | No Activity | Liv to Bed | Liv to Kit | No Activity |
| Liv to Bed  | 297        | 12         | 3           | 221        | 44         | 47          |
| Liv to Kit  | 19         | 285        | 9           | 56         | 215        | 41          |
| No Activity | 14         | 13         | 598         | 81         | 88         | 457         |
| Accuracy    | 96%        |            |             | 72%        |            |             |

- 한국과 미국의 서로 다른 주거환경에서 얻어진 Walking 데이터를 두 종류의 동일한 알고리즘으로 식별 한 결과, 미국의 경우 행동 식별의 정확도가 한국에 비해 더 높게 나옴.
- 실험상의 한계점으로 인해, 결과의 차이를 발생시키는 환경 요소에 대한 정확한 평가가 부족함 (예: 10Hz의 낮은 Sample Rate, Testbed의 Layout 차이, 주변 Wi-Fi 신호 간섭에 의한 노이즈).

- 한국이 미국에 비해 (콘크리트 구조로 인해) 와이파이 신호 전파가 어려우며 집합 주택의 형식으로 인해 주변의 와이파이 신호의 영향을 받을 수 있으며 이를 고려해야 함.

#### ▪ WiFi Receiver 위치에 따른 CSI data 비교



|            | 1 <sup>st</sup> Receiver | 2 <sup>nd</sup> Receiver | 3 <sup>rd</sup> Receiver | Total* | Optimal* |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|----------|
| <b>SVM</b> | 94%                      | 72%                      | 63%                      | 72%    | 99%      |
| <b>RF</b>  | 90%                      | 89%                      | 96%                      | 90%    | 98%      |
| <b>EMD</b> | 76%                      | 74%                      | 80%                      | 69%    | 79%      |
| <b>DTW</b> | 68%                      | 80%                      | 83%                      | 75%    | 94%      |

\* Total: all the receiver data is used.

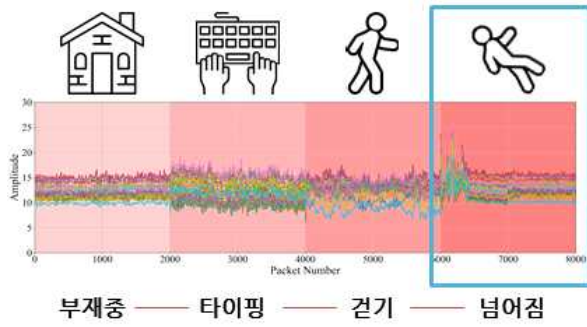
\* Optimal: the most variant receiver data among three receiver data is used.

[목조 주택 (미국)에서의 리시버 위치에 따른 행동식별 결과]

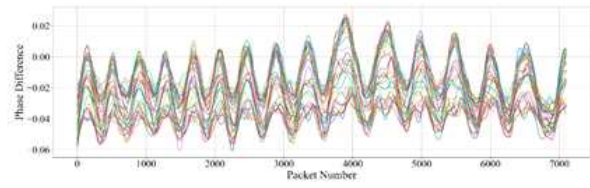
- 다양한 신체적 특성 (성별, BIM 지수 등)을 가진 재실자 및 재실자의 위치에 따른 영향을 분석하기 위하여 WiFi Receiver의 위치를 조정하면서 실험을 수행함.
- 그 결과 재실자의 위치에 따라 각각 다른 위치에 있는 Receiver의 신호도 차이를 보였으며 모든 Receiver의 데이터를 취합 사용하기 보다는 각 행동별 높은 정확도를 보이는 Receiver를 선별하여 사용하는 것이 좋음을 확인함.

#### ▪ Fine-grained WiFi 신호를 통한 국지 이상 신호 식별

- 일상생활 내 발생가능한 응급상황 중 낙상, 수면 중 무호흡에 대해 유사 상황을 시나리오 실험으로 수행하고 각각의 신호 패턴을 도출함.
- 낙상 시 발생 가능한 행동 (자세, 속도 등) 실험을 통해 정상적인 행동을 연속적으로 수행하는 과정에서의 낙상 패턴을 도출함.
- 수면 중 무호흡 상황 식별을 위해 가슴의 움직임에 따른 신호 위상을 분석하고 피크점 파악을 통해 평상시 재실자의 호흡수를 측정할 수 있음을 확인함.

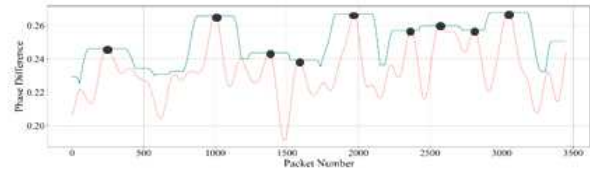


Near-miss 발생을 통한 낙상 신호 식별



[가슴의 움직임에 따른 CSI Phase]

↓ 일반적인 호흡 주파수로 필터링



[피크점 파악을 통한 재실자 호흡수 측정]

호흡 시 CSI Phase 정보를 통한 재실자 호흡수 측정

(3) 3차 연도

| 연구 범위                                      | 연구 수행 방법<br>(이론적·실험적 접근방법)                                                        | 구체적인 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 고령자 스마트홈<br>헬스케어 시스템<br>계획 및 파일럿<br>테스트 수행 | <ul style="list-style-type: none"> <li>비정상적 활동 정량화 방법 개발</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>이미지 복잡도 측정 메트릭을 통해 일상생활 활동 로그의 변동성을 측정하는 방법을 제안함.</li> <li>재실자의 일상생활 활동을 반영한 시·공간 로그 데이터를 회색조 이미지로 변환했을 때 해당 이미지의 복잡도가 일상생활 활동의 변동성을 대표할 수 있는지 확인함.</li> <li>실제 발생 가능한 일상생활 활동 변동성의 세 가지 경우를 정의하고 이를 반영한 Synthetic data를 활용하여 각 변동성 정도와 이미지 복잡도가 상관관계를 가짐을 확인함.               <ul style="list-style-type: none"> <li>활동의 기간 (duration)이 달라지는 경우</li> <li>짧은 단위의 활동이 무작위로 발생하는 경우</li> <li>활동의 순서가 달라지는 경우</li> </ul> </li> <li>논문 2건</li> </ul> |
|                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>비일관성/이상 정도 정량화 방법 적용 파일럿 테스트 수행</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>독거 고령 피실험자로부터 수집한 시·공간 로그 데이터를 이미지로 변환하고 그 복잡도 추이와 실제 피실험자의 일상생활 활동에 관한 내용을 비교하여 방법의 타당성을 확인함.</li> <li>또한 기존 관련 연구에서 사용된 일상생활 활동의 정량 평가 지수들을 병렬로 산출하고 각 결과로부터의 변동성 추이가 일치하는지 확인함.</li> <li>이미지 복잡도로부터 산출된 일상생활 활동 변동성 추이가 각 피실험자의 데이터 내에서 피실험자의 답변과 일관된 결과를 나타냄.</li> <li>이미지 복잡도로부터 산출된 변동성 값의 상위-하위 기간과 기존 일상생활 활동 정량 평가 지수들의 상위-하위 기간이 유의하게 일관된 결과를 보임.</li> <li>논문 1건</li> <li>S/W 등록 1건</li> </ul>                                        |
|                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구에서 적용하는 디바이스 프리 방식의 센서들 (Motion detecting sensors, Smart plug, WiFi CSI data)로부터 데이터를 수집하고 각 데이터의 특성 및 식별 대상 행동의 특성 등을 고려하여 데이터 수집 DB를 각각 장기-단기로 분류함.</li> <li>향후 본 연구에 사용된 센서들 외 타 디바이스 프리 센서 적용 시에도 통합 적용이 가능하도록</li> </ul>                                                                                                                                                                                                               |

|                             |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                                                             | <p>각 데이터의 수집 타임스탬프 (timestamp)를 중심으로 데이터를 결합·분석하는 방법을 제시함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 모니터링 기간 동안의 일상생활 활동 비일관성 정도 및 이상행동 정도를 도출하고 이를 장기적 관점에서 추적하여 신체적/정신적 기능저하가 의심되는 시점을 식별할 수 있음.</li> <li>■ 해당 시점에서 의료 전문가에 진단을 의뢰하거나 모니터링 대상 고령자에게 주기적으로 리포트하여 관련 질환에 대하여 능동적 (proactive) 으로 대처할 수 있음.</li> </ul>                                                                                                                                               |
| 재실자 단기적 행동으로부터 신체적 건강 정보 도출 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fine-grained WiFi 신호 변화량을 활용한 신체 활동량 측정</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 복수의 리시버로부터 수집 · 계측된 CSI data를 Data-level Integration을 통해 모니터링 시스템 성능을 향상시킴.</li> <li>■ Target 일상생활 활동은 8가지 (수면, 자가 위생, 용변, 식사, 식사 준비, 외출, 보행, 낙상)이며 Hybrid CNN-LSTM 모니터링 시스템 개발을 통해 정확도를 향상시킴.</li> <li>■ MET 지수 (1분 간 소비되는 단위 체중 당 에너지 소비량)와 신체활동 정보를 활용하여 신체 활동량을 측정함.</li> <li>■ 개발된 CNN-LSTM 모델을 통해 신체 활동의 종류와 지속 시간을 식별하고 이를 기반으로 신체 에너지 소비량을 예측함.</li> <li>■ 논문 2건</li> <li>■ 특허 출원 1건</li> <li>■ S/W 등록 1건</li> </ul> |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 이상 정도 정량화 방법 활용 이상 행동패턴 도출</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기 개발된 CSI data 기반 행동식별 알고리즘의 장기적 행동식별 성능을 확인하기 위해 장기 (한 달) 실험을 진행함.</li> <li>■ 행동식별 알고리즘의 성능 측정을 위해 피실험자의 행동을 카메라로 녹화한 후 이를 ground-truth로 활용함.</li> <li>■ 실험 시 수면, 식사, 자가 위생, 외출은 매일 반복적으로 수행하도록 하였으며 그 외 활동은 자유롭게 수행하도록 함.</li> <li>■ 위 실험 결과, 알고리즘의 장기로 수집된 CSI data의 행동식별에 대한 성능이 시간 (일별)에 따라 일관적이지 않음을 확인함.</li> <li>■ Transfer learning 알고리즘을 활용하여 시간에 따른 모델의 성능 변동 정도를 최소화 하여 재실자의 행동을 장기적으로 모니터링 할</li> </ul>         |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p>수 있음을 확인함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>또한 재실자의 행동, 행동의 지속 기간, CSI data의 변화량 정보를 특성 값으로 사용하여 행동의 이상 정도를 정량화 할 수 있음.</li> <li>특히 재실자의 ‘보행’ 활동의 경우, 개발된 CNN-LSTM 모델과 Transfer learning 알고리즘을 활용하여 장기 모니터링 할 경우 재실자의 이동 속도, 이동 방향에 대한 변동 정도를 측정할 수 있음.</li> <li>변동 정도가 증가할 때 이를 이상 행동으로서 감지할 수 있음.</li> <li>논문 1건</li> </ul> |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

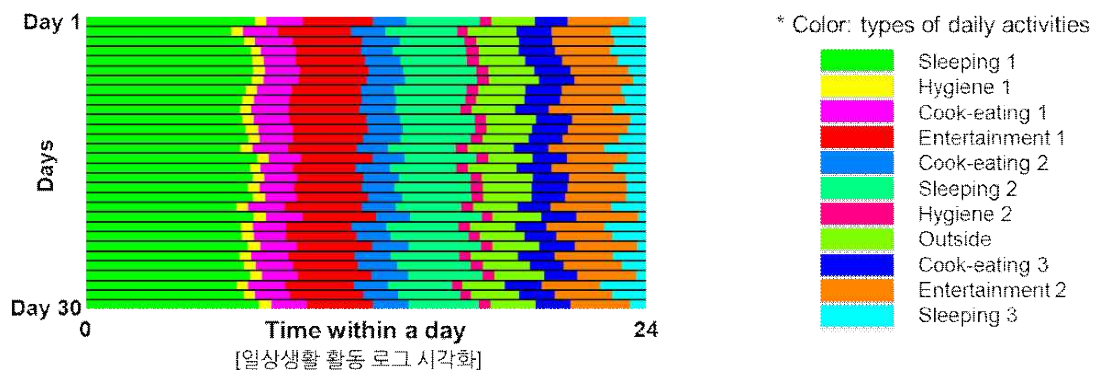
## [주관연구기관]

### ■ 일상생활 활동 로그 데이터의 패턴 시각화

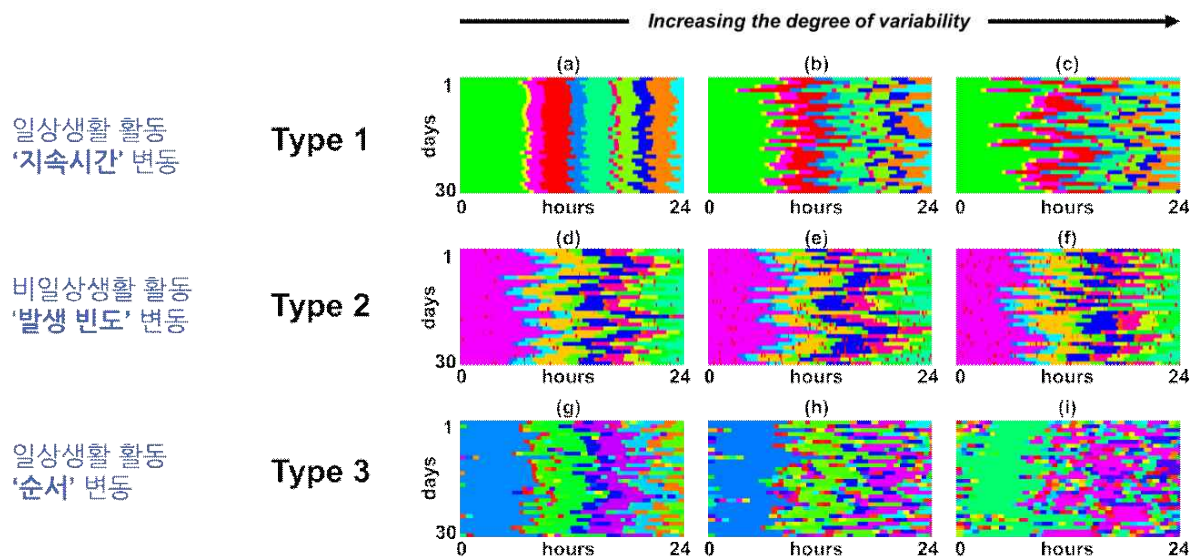
- 반복적으로 수행되는 일상생활 활동 시·공간 속성을 패턴화된 이미지로 시각화함.
- (시작 시간, 지속 기간, 공간)으로 이루어진 일상생활 활동 로그 데이터에 공간별로 서로 다른 색상 값을 부여하여 이미지의 픽셀이 일상생활 활동 데이터를 나타내도록 함.
- 이미지 상의 x축 위치는 시작 시간, y축 위치는 해당 일을 나타내도록 하며 15일~30일간의 일상생활 활동 로그 데이터가 한 이미지에 표현되도록 하여 장기 모니터링 가능성을 확인함.

| Start time | End time | Duration (s) | Activity        | Location |
|------------|----------|--------------|-----------------|----------|
| 0:00:00    | 7:00:00  | 25201        | Sleeping 1      | B        |
| 7:00:01    | 7:30:00  | 1800         | Hygiene 1       | T        |
| 7:30:01    | 9:00:00  | 5400         | Cook-eat 1      | K        |
| 9:00:01    | 12:00:00 | 10800        | Entertainment 1 | L        |
| 12:00:01   | 13:30:00 | 5400         | Cook-eat 2      | K        |
| 13:30:01   | 16:30:00 | 10800        | Sleeping 2      | B        |
| 16:30:01   | 17:00:00 | 1800         | Hygiene 2       | T        |
| 17:00:01   | 19:00:00 | 7200         | Outside         | O        |
| 19:00:01   | 20:30:00 | 5400         | Cook-eat 3      | K        |
| 20:30:01   | 23:00:00 | 9000         | Entertainment 2 | L        |
| 23:00:01   | 23:59:59 | 3599         | Sleeping 3      | B        |
| -          | -        | 2700         | Non-routine     | N        |

[일상생활 활동 루틴 예시]



■ 발생 가능한 일상생활 활동 루틴 변동성 타입 도출



- 일상생활 활동에서 발생할 수 있는 변동성의 종류를 세 가지 (1) 일상생활 활동 지속시간 변동, 2) 비일상생활 활동 발생 빈도 변동, 3) 일상생활 활동 순서 변동)로 정의함.
- 변동성 종류별로 변동성의 크기를 다르게 갖는 합성 데이터를 생성함.
- 이 때 변동성의 크기가 증가할수록 패턴 이미지의 시각적 복잡도가 증가하는 것을 알 수 있음.

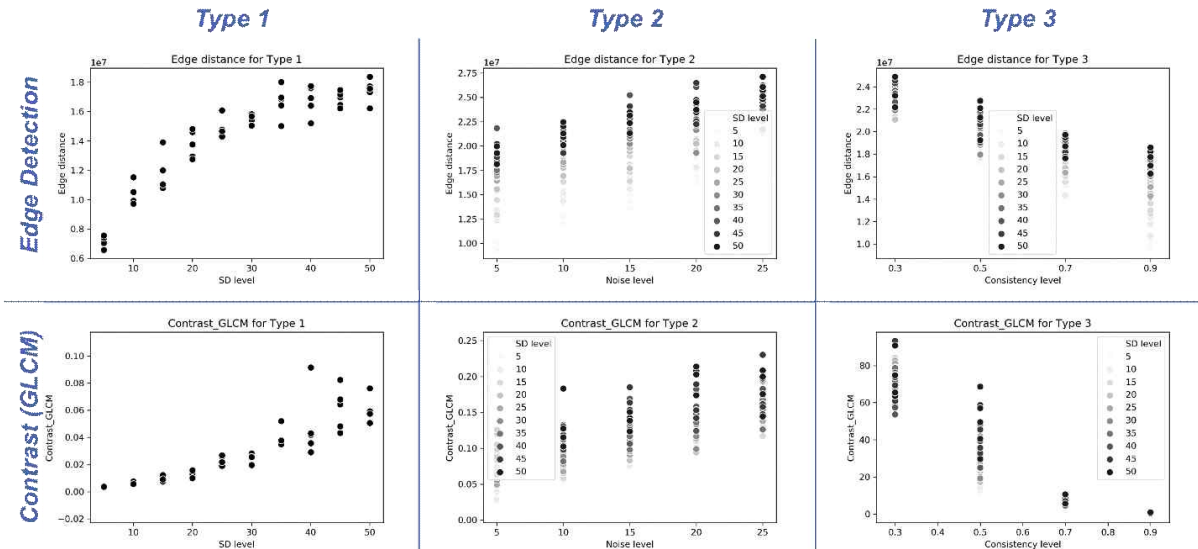
■ Synthetic Image를 활용한 변동성 측정 가능 메트릭 선별

| Metrics               | Description                                                                                                                                                                        | Reference                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Shannon Entropy       | A generic measure of information calculating randomness or uniformity in multi-dimensional image data based on the intensity histogram of an image                                 | Wu et al. (2013)                                 |
| Kolmogorov Complexity | A measure of computational resources required a binary string object to transform into the other as a similarity based on Kolmogorov complexity theory                             | Nikvand and Wang (2010); Tran (2007)             |
| Edge Detection        | A measure of total lengths of all edges in an image based on Canny Edge Detection which can extract the visual changes (i.e., brightness) in structured images                     | Canny (1987)                                     |
| Contrast (GLCM)       | A measure of the local variations computed by the sum of square variance of elements in GLCM                                                                                       | Albregtsen (2008); Haralick and Shanmugam (1973) |
| Energy (GLCM)         | A measure of an orderliness and uniformity computed by sum of squared elements in GLCM. High value means high orderliness of an image                                              |                                                  |
| Entropy (GLCM)        | A measure of randomness or homogeneity of the elements in GLCM. High value indicates high randomness of an image                                                                   |                                                  |
| Sum Variance (GLCM)   | A measure of grouping tendency of similar elements in GLCM. High value depicts high heterogeneity of an image by applying weights for the case which is deviate more from the mean |                                                  |

- 기존 이미지 복잡도 측정 메트릭 7가지 중 일상생활 활동 로그 데이터의 복잡성을 표현할 수 있는 메트릭을 선별함.
- 선별을 위해 각 변동성 종류별 크기와 이미지 복잡도 값의 상관관계를 확인하여 세 가지

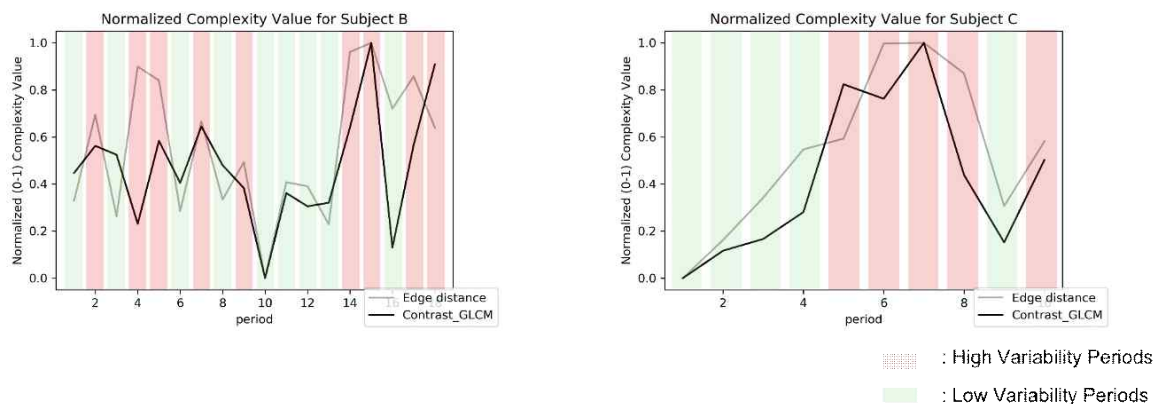
종류의 변동성 크기와 모두 상관관계를 갖는 이미지 복잡도 메트릭을 추출함.

- Edge distance와 Contrast of GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix)가 세 가지 종류의 변동성에 모두 반응하는 것을 확인됨.



#### ■ 일상생활 활동 수행 비밀관성 정도 정량화 적용 파일럿 테스트 수행

- 실제 독거 고령자를 피실험자로 한 파일럿 테스트 수행에서 본 연구의 이미지 복잡도를 활용한 변동성 측정이 유효함을 확인함.
- 기존의 일상생활 활동 변동성 측정에 사용된 핵심 일상생활 활동 (수면, 용변, 일일 일상생활 활동 수행의 수, 외출)의 시작 시간, 지속 시간, 빈도 등의 변동성을 계산하고 그 결과가 본 연구의 방법으로부터 측정된 변동성과 같은 추이를 가지는 것을 확인함.

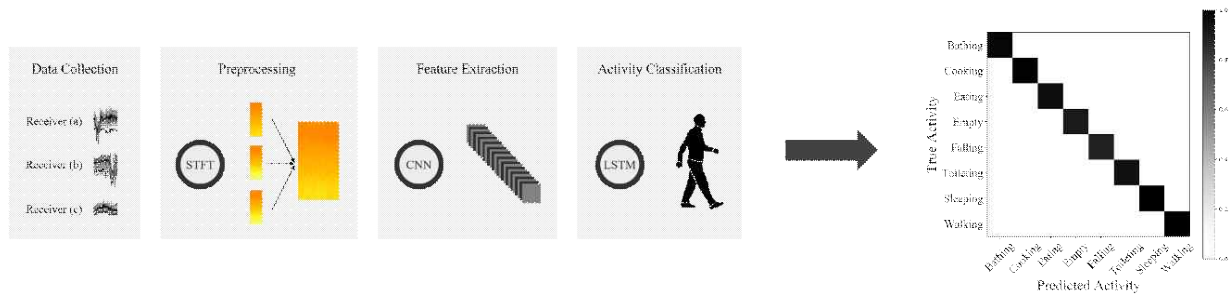


#### ■ 피실험자 대상 파일럿 테스트 결과 분석

- 기존의 일상생활 활동 평가 지수와 본 방법을 통한 변동성 간 기간별 추이가 유사함.
- Image Complexity Measure를 통한 일상생활 활동 비밀관성 정도 정량화가 가능함을 확인함.

## [공동연구기관]

### ▪ CSI data의 Data-level integration을 이용한 Hybrid CNN-LSTM 모니터링 시스템 개발



- Single receiver 환경이 주를 이룬 기존 연구들과 달리 multiple receiver로부터의 데이터를 integration하는 모델을 개발하고 그 성능을 비교함.
- Multiple receiver로부터의 데이터를 integration하는 방법들 중; 1) Feature-level integration, 2) Decision-level integration들과 비교하여 Data-level integration 방법이 가장 높은 성능을 보임을 확인함.

| Testbed | Data-level integration | Feature-level integration | Decision-level integration |
|---------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Unit A  | 96.57%                 | 62.31%                    | 82.37%                     |
| Unit B  | 98.92%                 | 82.79%                    | 88.43%                     |

- 또한 기존의 single receiver 기반의 실험실 환경에서 개발된 모델들과 본 연구에서 개발한 multiple receiver 기반 모델을 동일한 파일럿 테스트 상에서 비교한 결과 본 연구에서 개발된 모델이 실제 주거환경에서 더 높은 성능을 보임을 확인함.

| Testbed | Developed model | Wi-Chase | Modified-DeepHare |
|---------|-----------------|----------|-------------------|
| Unit A  | 96.57%          | 75.00%   | 63.15%            |
| Unit B  | 98.92%          | 77.31%   | 80.94%            |

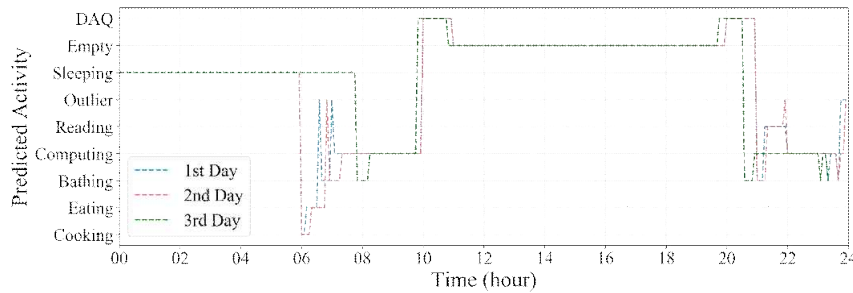
### ▪ MET 지수와 신체활동 정보를 통한 신체 활동량 측정

| 활동 강도   | 신체 활동  | MET 지수 |
|---------|--------|--------|
|         | 활동 없음  | 1.3    |
| 가벼운 움직임 | 독서     | 1.5    |
|         | 걷기     | 2.0    |
|         | 테이블 청소 | 2.3    |
| 적당한 움직임 | 바닥 청소  | 3.0    |
|         | 청소기 사용 | 3.3    |
|         | 상체 운동  | 4.0    |
|         | 스트레칭   | 5.0    |

- MET 지수: 1분간 소비되는 단위 체중 당 에너지 소비량 (kcal/min/kg)
- 개발된 CNN-LSTM 모델을 통해 신체 활동의 종류와 활동 시간을 측정하고 에너지 소비량

예측함.

- 예) 1MET는 안정 시 산소 섭취량으로 체중 1kg 당 1분에 3.5mL 산소 섭취를 의미하고 산소 1L당 에너지 소비량은 약 5kcal이므로 70kg인 사람이 10분간 바닥 청소를 했을 때의 에너지 소비량은  $3.5(\text{mL}) \times 3.0(\text{MET}) \times 70(\text{kg}) \times 10(\text{min}) = 7,350\text{mL} = 36.75\text{kcal}$



DAQ: 데이터 습득

- 개발된 CNN-LSTM 모델을 이용하여 3일간의 파일럿 테스트 수행을 통해 재실자의 실내 활동 에너지 소비량을 예측하였음.

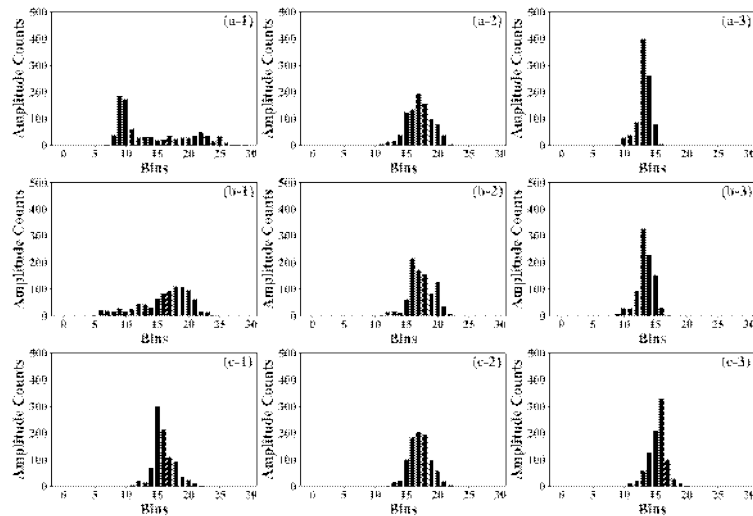
1<sup>st</sup> Day: 1532.5kcal, 2<sup>nd</sup> Day: 1626.8kcal, 3<sup>rd</sup> Day: 1565.55kcal

- 위 결과를 통해 하루의 대부분을 주거공간에서 보내는 재실자 (고령자)의 일상생활 활동을 모니터링하고 그 결과를 바탕으로 일일 에너지 소비량을 측정할 수 있음을 확인함.

#### ■ WiFi 기반 행동 식별 알고리즘 장기적 유효성 검증을 위한 데이터 수집

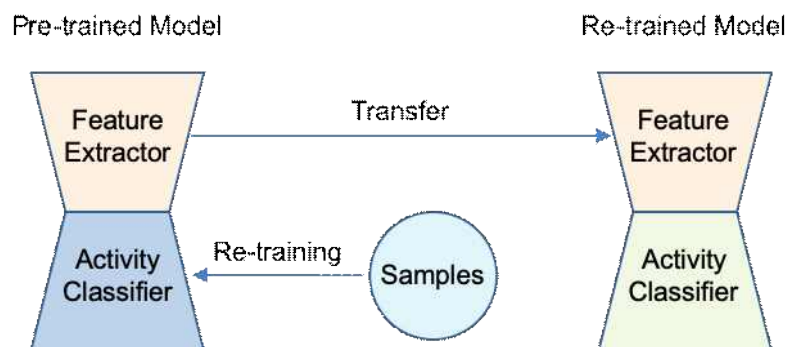
| 일상 행동 | 데이터 수집 방법      |
|-------|----------------|
| 수면    | 매 시간 4분씩 (6시간) |
| 식사    | 아침 시간에 24분     |
| 샤워    | 오전, 오후 12분씩    |
| 외출    | 매 시간 4분씩 (6시간) |

- 한 대의 WiFi transmitter와 세 대의 Receiver를 통해 CSI data를 수집하였으며 한 달간 실험을 수행함.
- 피실험자의 행동은 카메라로 녹화되어 ground-truth로 사용됨.
- 피실험자는 정해진 규칙 없이 생활하였으나 위의 표와 같이 수면, 식사, 샤워, 외출 활동은 매일 반복적으로 수행하도록 함.



- 위 그림은 재실자 외출 시 수집된 CSI data의 히스토그램이며 동일한 거주 환경에서 수집된 재실자의 반복 행동 데이터는 시간에 대한 변동을 갖고 있음을 확인함.
- 그 원인으로 온도, 습도 등의 변화에 따른 WiFi 전파 경로 변경과 주변 환경 변화에 의한 WiFi 전파 간섭이 있을 수 있음.
- 즉, 기존의 WiFi 기반 행동 식별 알고리즘의 성능이 시간에 대해 일관적이지 않음을 확인함.

#### ▪ Transfer learning 알고리즘 기반 모델의 Time-dependency 감소



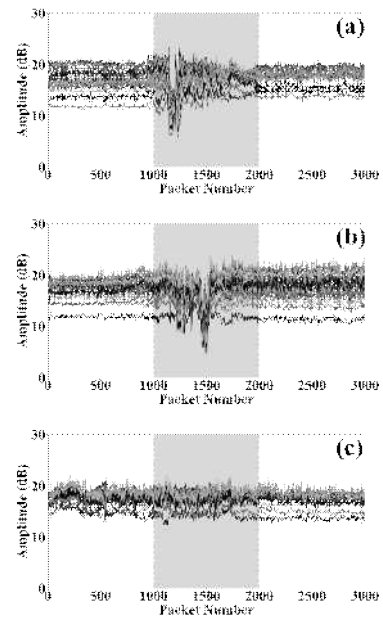
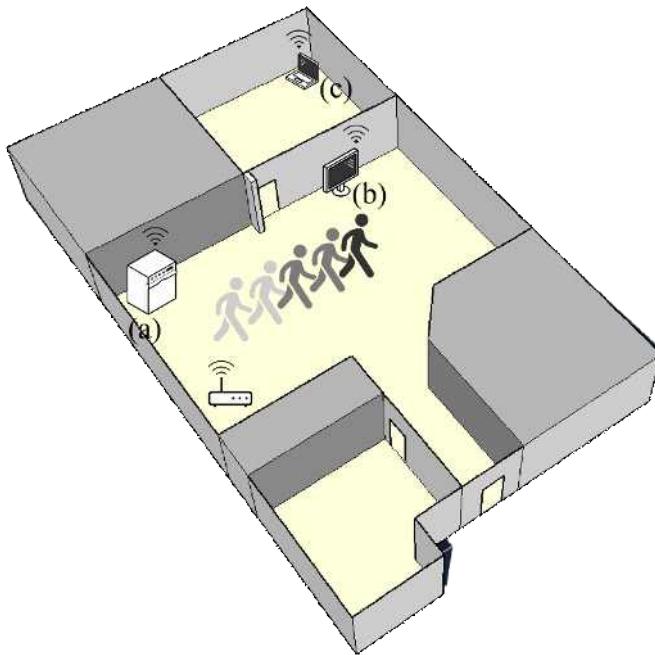
- Transfer learning 알고리즘을 이용하여 학습된 모델의 CSI data의 시간 변동성에 대한 Time-dependency를 감소시킴.
- WiFi 신호를 이용하여 재실자 행동을 장기적으로 모니터링 가능함을 확인함.

| 테스트 날짜   | 행동 식별 정확도 |
|----------|-----------|
| 1th Day  | 70.18%    |
| 2nd Day  | 53.39%    |
| 3rd Day  | 62.51%    |
| 15th Day | 42.22%    |
| 16th Day | 41.99%    |
| 23th Day | 69.47%    |

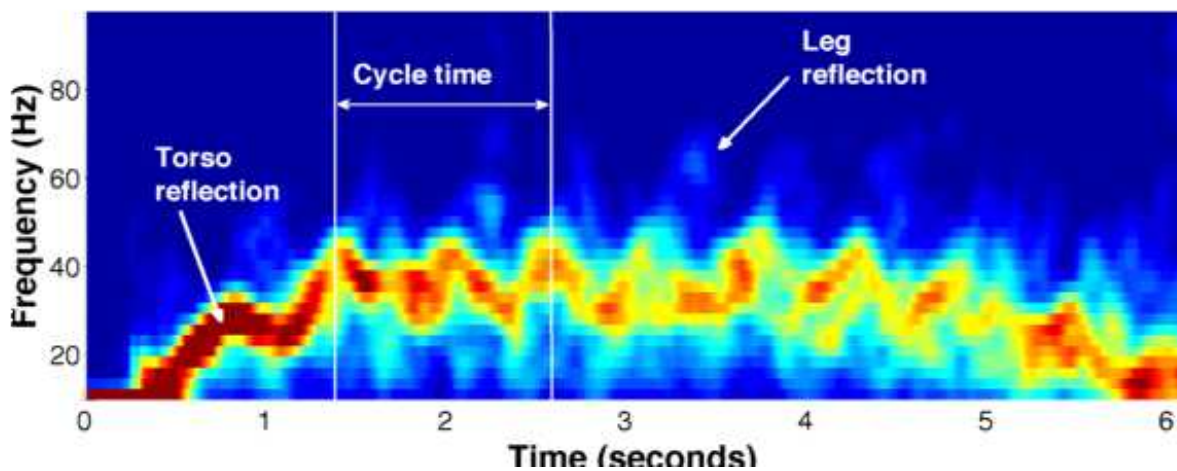


| 테스트 날짜   | Pre-trained 모델 | Re-trained 모델 |
|----------|----------------|---------------|
| 1th Day  | 70.18%         | 81.75%        |
| 2nd Day  | 53.39%         | 98.36%        |
| 3rd Day  | 62.51%         | 87.08%        |
| 15th Day | 42.22%         | 75.86%        |
| 16th Day | 41.99%         | 76.26%        |
| 23th Day | 69.47%         | 92.75%        |

#### 장기 모니터링을 통한 재실자 이상행동 추출



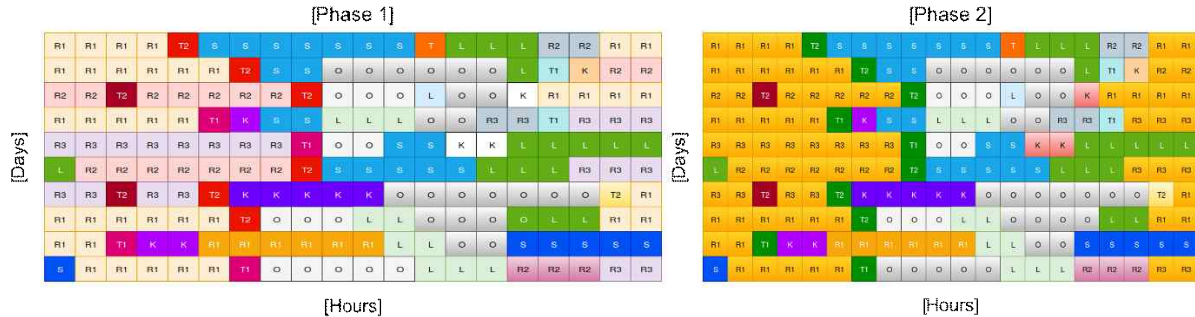
- 개발된 CNN-LSTM 모델과 Transfer-Learning 알고리즘을 이용하여 재실자의 Walking Activity를 장기적으로 측정함.
- 재실자의 이동 방향에 따라 각각의 receiver에서 계측되는 신호의 변동 폭이 다름.
- 각 신호의 변동 폭을 비교하여 이동 방향과 이동 속도가 계측 가능하며 장기 모니터링을 통해서 이상행동 추출이 가능함.



- 이동 방향에 따라, 각각의 receiver에서 계측되는 신호의 변동 폭이 다름을 이용하여 walking direction 계측함.
- Walking data의 spectrogram상에서 gait pattern (stride time, stride length)을 추출함.
- 위 결과와 같이 재실자의 walking pattern을 추출할 수 있음을 확인하였으나 receiver와 재실자의 상대적 거리와 receiver의 높이에 따라 gait pattern을 추출하기 어려운 문제점이 있음 또한 확인함.
- 즉, 실제 주거환경에서의 높은 정확성 확보를 위해서는 일부 개선이 필요함을 확인함.

## [주관-공동연구기관]

### ▪ Bottom-up Clustering over Various Levels of Hierarchy



- 본 차년도 (3차년도)에는 주관-공동연구기관이 공동으로 일상생활 활동 루틴의 비밀관성/이상 정도 정량화 방법을 개발하였으며 주관연구기관에서의 Image complexity approach와 마찬가지로 이미지 데이터를 이용하여 계층적 클러스터링 (Hierarchy Clustering approach)를 통해 같은 목적을 달성하고자 하였음.
- 이미지에서의 단위 픽셀이 각 일별 시간에 따른 수행 활동, 공간, 시작 시간, 지속 기간과 이전에 수행된 활동 정보를 표현하도록 함.
- 인접한 픽셀 간의 상대적인 거리 (유사도)에 따라 유사한 단위픽셀 (활동)들이 하나의 그룹으로 클러스터링 되는 방식으로 전체 일상생활 활동 로그를 클러스터링함으로써 유사하게 수행된 루틴을 식별함.
- 예: 위 그림 Phase 1에서는 각각 다른 공간 (R1, R2)에서 수행된 동일한 수면 활동을 다른 활동으로 식별했으나 Phase 2에서는 공간 외에도 시작 시간, 지속 기간, 이전 수행 활동 정보 등을 모두 고려하여 비록 다른 공간에서 수행되었더라도 동일한 수면 활동임을 식별하였음.

a) An example of sequence of locations

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

b) Actual unlabeled activity segments

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

c) Activity Approximation through SEEDS

Step1: Divide sequence into equal segments

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

d) Step2: Adjust boundaries of adjacent segments

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

e) Step3: Merge similar adjacent segments

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

f) Each segment approximates an activity

A A A A A B A B B A C C C C D C C C D D D E D D B B B B

- 인접한 픽셀 정보 간 거리를 계산하고 유사 정도를 통해 그룹을 형성하는 계층적 클러스터링을 위해 SEEDS 알고리즘을 활용함.

---

**Algorithm 1** Modified Seeds Algorithm
 

---

**Input:** Location sequence, Number of levels ( $\mathbb{L}$ ), Thresholds ( $\epsilon_1, \epsilon_2$ )

**Output:** Contiguous homogeneous segments of locations

---

```

1: Initialization
  ▷ Segment boundary adjustment from bottom to top level
2: for l from 1 to  $\mathbb{L}$  (top level) do
3:   for k from 1 to  $|S^l| - 1$  do
4:      $S_a \leftarrow$  boundary segment of  $S_k^l$ 
5:      $S_b \leftarrow$  boundary segment of  $S_{k+1}^l$ 
6:     if  $HI(h_{S_{k+1}^l}^{loc}, h_{S_a}^{loc}) - HI(h_{S_k^l \setminus S_a}^{loc}, h_{S_a}^{loc}) > \epsilon_1$  then
7:       Move  $S_a$  to  $S_{k+1}^l$ 
8:     else if  $HI(h_{S_k^l}^{loc}, h_{S_b}^{loc}) - HI(h_{S_{k+1}^l \setminus S_b}^{loc}, h_{S_b}^{loc}) > \epsilon_1$  then
9:       Move  $S_b$  to  $S_k^l$ 
  ▷ Top level adjacent segment merging
10: for k from 1 to  $|S^{\mathbb{L}}| - 1$  do
11:   if  $S_{cos}(S_k^{\mathbb{L}}, S_{k+1}^{\mathbb{L}}) > \epsilon_2$  then
12:     Combine  $S_k^{\mathbb{L}}$  and  $S_{k+1}^{\mathbb{L}}$  into one segment
  
```

---

- SEEDS 알고리즘을 통해 얻은 activity segment는 각 활동의 시작 시간, 지속 기간, 공간 타입 (room), 이전에 수행된 활동을 기반으로 표시됨.
- 유사한 feature를 갖는 activity segment는 일상생활 활동 루틴 변동성 평가를 위해 클러스터링 됨.
- Activity segment는 hierarchical region-growth algorithm을 통해 클러스터링 됨.

---

**Algorithm 2** Hierarchical Clustering Algorithm
 

---

**Input:** List  $\mathcal{L}$  of activities, Thresholds ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ )

**Output:** List  $\mathcal{C}$  of clusters

---

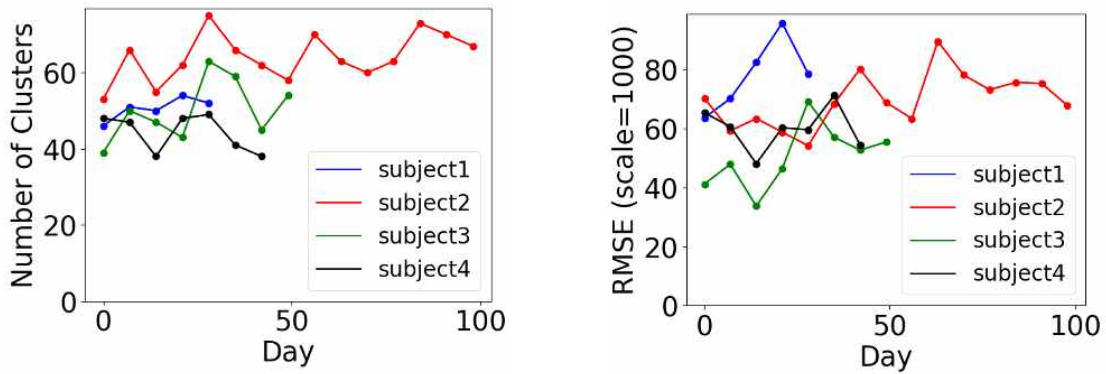
```

1: Create a graph  $G(V, E, w)$  of activities
2: Initialize  $V$  with  $\mathcal{L}$  ▷ assign each activity to a vertex
3: repeat
4:   for  $\forall n, m \in V$  do ▷ for all pairs of vertices
5:     Compute  $w(n, m) = SS_1(n, m)$ 
6:     if  $S_{cos}(h_n^{LD}, h_m^{LD}) \geq \epsilon_1$  &  $w(n, m) \geq \epsilon_2$  then
7:       Connect  $n$  and  $m$  to same vertex
8: until no change in  $G$ 
9: repeat
10:  for  $\forall n, m \in V$  do ▷ for all pairs of vertices
11:    Compute  $w(n, m) = SS_2(n, m)$ 
12:    if  $S_{cos}(h_n^{LD}, h_m^{LD}) \geq \epsilon_1$  &  $w(n, m) \geq \epsilon_3$  then
13:      Connect  $n$  and  $m$  to same vertex
14: until no change in  $G$ 
15: Assign vertices  $V$  to list of clusters  $\mathcal{C}$  activities  $\mathcal{L}$ 
  
```

---

- 이를 통해 수집된 일상생활 활동 데이터의 행동식별 라벨링 없이도 유사한 일상생활 활동 루틴을 식별할 수 있음을 확인함 (Unsupervised learning).

- 이 때 클러스터링된 활동이 무엇인지는 알 수 없으나 변동성/이상 정도 측정은 가능하다는 점에서 본 방법의 의의가 있음.



[클러스터링의 파일럿 테스트 수행 결과]

- 주관연구기관에서 수행한 파일럿 테스트 실험 데이터를 공유하여 위 방법이 실제 주거환경에서의 피실험자 데이터로도 활용 가능한지를 검증함.
- 위 결과는 실제 피실험자와의 인터뷰를 통해 수집된 일상생활 활동 변동성의 정도와 일치함을 확인함.

## 다. 연구개발 추진 체계

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 연구개발과제                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                           | 총 참여 연구원                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                      |
| 과제명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 고령자 응급 상황 및 신체적/정신적 기능 저하 식별을 위한 디바이스 프리 스마트홈 헬스케어 시스템 개발 | 주관연구책임자<br><br>(이현수)외11명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                      |
| 기관별 참여 현황                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
| 구 분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 기관수                                                       | 인원수                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 총인원 수                                |
| 산 업 계                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 12                                   |
| 대 학                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |
| 국공립(연)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
| 출 연 (연)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
| 기 타                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
| 주 관 연 구 기 관                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                           | 국 제 공 동 연 구 기 관                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |
| 서울대학교                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                           | Texas A&M University                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                      |
| 참 여 연 구 원                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                           | 참 여 연 구 원                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                      |
| 주관연구책임자                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                           | 공동연구책임자                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                      |
| (이현수)외 8명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                           | (Changbum R. Ahn)외 2명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                      |
| 책임급 1명, 원급 3명, 연구원보 4명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                           | 책임급 1명, 원급 1명, 연구원보 1명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                      |
| 담당연구개발내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                           | 담당연구개발내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                      |
| 과제명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 스마트 홈 고령자 헬스케어 시스템 · 네트워크 구축 및 파일럿 테스트 수행                 | 과제명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 디바이스 프리 기반 고령자 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>■ 고령자 일상생활 행동 정보 수집을 위한 디바이스 프리 센싱 기술 분석<ul style="list-style-type: none"><li>- 디바이스의 고령자 적합도 판별 (측정 정밀도, 데이터 민감도, 후처리 가능성, 데이터 네트워킹 가능성 등)</li><li>- 사용가능한 디바이스 프리 센싱 기술 후보군 사이의 동시 활용 가능성 분석</li></ul></li><li>■ 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발<ul style="list-style-type: none"><li>- Fine-grained WiFi 기반 행동 식별 알고리즘의 활용성을 증진시키기 위한 멀티 레이어 (Multi-Layer) 방식의 기술 프레임워크 개발</li><li>- 재실자 일상생활 활동 패턴 모델링</li><li>- 평상시의 일상생활 활동과 편차를 보이는 행동 식별</li><li>- 일상생활 활동의 정상적 맥락과 맞지 않는 행동 식별</li><li>- 비정상적 활동의 정량화 방법 개발</li></ul></li><li>■ 고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획 및 파일럿 테스트 수행<ul style="list-style-type: none"><li>- 비정상적 활동 정량화 방법 개발</li><li>- 비일관성 / 이상 정도 정량화 방법 적용 파일럿 테스트 수행</li><li>- 고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획</li></ul></li></ul> |                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>■ Fine-grained WiFi 행동식별 알고리즘 개발<ul style="list-style-type: none"><li>- 행동 식별을 위한 일상생활 활동의 정의</li><li>- 행동 식별 알고리즘 개발을 위한 주요 행동 정의</li><li>- Fine-grained WiFi 상황에서의 개별 행동별 신호 정보의 변화량 예측 및 오차 분석</li><li>- 예측된 데이터 분류 및 개인적 특성에 따른 오차 향에 대한 선처리 기술 확보</li></ul></li><li>■ 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동 식별 방법 개발 (Short-term Anomaly Detection)<ul style="list-style-type: none"><li>- 고령자의 일상생활 활동 중에 발생할 수 있는 응급상황에 대한 정의</li><li>- 응급 상황 별 시퀀스 분석</li><li>- Fine-grained WiFi 신호를 통한 국지 이상(Local Anomaly) 신호 식별 방법 개발</li><li>- Fine-grained WiFi 신호의 국지 이상 신호 중 응급상황에 해당하는 범위 추출</li><li>- Fine-grained WiFi 신호를 통해 응급상황에 해당하지 않지만 충분히 응급 상황으로 발전할 수 있었던 행동 및 그 빈도를 통한 사고의 가능성 추론 방법 개발</li></ul></li><li>■ 재실자 단기 행동으로부터 신체적 건강 정보 도출<ul style="list-style-type: none"><li>- 알고리즘 테스트 및 피드백을 통한 수정 · 보완</li><li>- Fine-grained WiFi 신호 변화량을 활용한 신체 활동량 측정</li><li>- 이상 정도 정량화 방법 활용 이상 행동패턴 도출</li></ul></li></ul> |                                      |
| 참여기업                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |

## 라. 연구개발 추진 일정

| 구분          | 연구<br>목표                                               | 관련 성과목표/지표 |       |         | 세부추진내용<br>(연구수행 Activity)             | Activity<br>산출물 | 소요<br>연구비<br>(백만원) | 1차년도 |     |     |     | 2차년도 |     |     |     | 3차년도 |     |     |     |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------|-------|---------|---------------------------------------|-----------------|--------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|             |                                                        | 핵심 성과      | 단위 성과 | 질적 성과지표 |                                       |                 |                    | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 주관<br>(서울대) | 디바이스 프리<br>행동식별<br>알고리즘 기술                             | 1          | 1-1   | 1-1-①   | 고령자 일상생활 행동<br>특징 분석                  | 논문 1건           | 32                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             |                                                        |            | 1-2   | 1-2-①   | 디바이스 고령자 적합도<br>판별                    | 분석보고서<br>1건     | 48                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             |                                                        |            | 1-3   | 1-3-①   | 행동식별 멀티레이어<br>기술 프레임워크 구축             |                 | 22                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             | 신체적/정신적<br>기능저하<br>식별을 위한<br>일상생활 내의<br>이상행동 분석<br>시스템 | 3          | 3-1   | 3-1-①   | 재실자 일상생활 활동<br>패턴 모델링                 | 출원 1건           | 44                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             |                                                        |            | 3-2   | 3-2-①   | 비정상적 활동 정량화<br>방법 개발                  | 논문 3건<br>S/W 1건 | 44                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             | 고령자 스마트<br>홈 헬스케어<br>시스템 제안                            | 4          | 4-1   | 4-1-①   | 비밀관성/이상 정도<br>정량화 방법 적용<br>파일럿 테스트 수행 | 논문 1건           | 44                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|             |                                                        |            | 4-2   | 4-2-①   | 고령자 스마트 홈<br>헬스케어 시스템 계획              | S/W 1건          | 66                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |

| 구분                              | 연구<br>목표                                | 관련 성과목표/지표 |       |         | 세부추진내용<br>(연구수행 Activity)                     | Activity<br>산출물 | 소요<br>연구비<br>(백만원) | 1차년도 |     |     |     | 2차년도 |     |     |     | 3차년도 |     |     |     |
|---------------------------------|-----------------------------------------|------------|-------|---------|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|                                 |                                         | 핵심 성과      | 단위 성과 | 질적 성과지표 |                                               |                 |                    | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 공동<br>(Texas A&M<br>University) | 디바이스 프리<br>행동식별<br>알고리즘 기술              | 1          | 1-4   | 1-4-①   | Fine-grained WiFi의<br>행동별 알고리즘 및<br>DB구축      | 논문 2건           | 28                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 |                                         |            | 1-5   | 1-5-①   | 계측 데이터 분류 및<br>개인 특성에 따른 오차<br>선처리 기술 확보      | S/W 1건<br>출원 1건 | 42                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 | 응급상황<br>식별을 위한<br>단기적<br>이상행동 식별<br>시스템 | 2          | 2-1   | 2-1-①   | 응급 상황별 시퀀스<br>분석                              | 논문 3건<br>S/W 2건 | 18                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 |                                         |            | 2-2   | 2-2-①   | 국지 이상신호 식별<br>방법 개발                           |                 | 36                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 |                                         |            | 2-3   | 2-3-①   | 아차사고 행동 및<br>빈도를 통한 사고<br>가능성 추론방법 개발         |                 | 36                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 | 고령자 스마트<br>홈 헬스케어<br>시스템 제안             | 4          | 4-3   | 2-3-①   | Fine-grained WiFi 신호<br>변화량을 활용한 신체<br>활동량 측정 | 논문 3건<br>S/W 1건 | 36                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
|                                 |                                         |            | 4-4   | 2-4-①   | 이상 정도 정량화 방법<br>활용 이상 행동패턴<br>도출              |                 | 54                 |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |

## 마. 연구개발 성과

### (1) 국내외 논문 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                               | 학술지명                                                                                   | 주저자명                | 호   | 국명   | 발행기관                                                                      | SCI 여부 (SCI/비SCI) | 게재일      | 등록번호          |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|---------------|
| 1  | 스마트 홈 환경에서의 재실자 일상생활 활동 패턴 추출을 위한 행동 컨텍스트화 프로세스에 관한 연구                                                                                                            | 한국건설관리학회 논문집                                                                           | 이보경                 | 19  | 대한민국 | 한국건설관리학회                                                                  | 비SCI              | 2018. 01 | 2005-6095     |
| 2  | Understanding the Recurring Patterns of Occupants' Energy-Use Behaviors at Entry and Departure Events in Office Buildings                                         | Building and Environment                                                               | Hamed N. Rafsanjani | 136 | 네덜란드 | Elsevier                                                                  | SCI               | 2018. 05 | 0360-1323     |
| 3  | Extracting Routines of the Living Alone Occupant's Daily Activities Using Multiple Sequence Alignment                                                             | Proceedings of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering | Lee, B.             | -   | 미국   | The International Society for Computing in Civil and Building Engineering | 비SCI              | 2018. 06 | 0356-9403     |
| 4  | Effects of Housing Environments on Exploiting Channel State Information for Human Activity Recognition                                                            | Proceedings of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering | Lee, H.             | -   | 미국   | The International Society for Computing in Civil and Building Engineering | 비SCI              | 2018. 06 | 0356-9403     |
| 5  | Linking Building Energy Consumption with Occupants' Energy-Consuming Behaviors in Commercial Buildings: Non-Intrusive Occupant Load Monitoring (NIOLM)            | Energy and Buildings                                                                   | Rafsanjani H.N.     | 172 | 네덜란드 | Elsevier                                                                  | SCI               | 2018. 08 | 0378-7788     |
| 6  | Frequency-Domain Analysis for Wi-Fi Based Human Activity Recognition Systems in Smart Homes                                                                       | International Conference on Construction Application of Virtual Reality                | Lee, H.             | -   | 네덜란드 | Elsevier                                                                  | 비SCI              | 2018. 11 | 978-988-14032 |
| 7  | The Effects of Housing Environments on the Performance of Activity-Recognition Systems Using Wi-Fi Channel State Information: An Exploratory Study Using Multiple | Sensors                                                                                | Lee, H.             | 19  | 스위스  | MDPI                                                                      | SCI               | 2019. 01 | 1424-8220     |
| 8  | Sequence Alignment to Extract Daily Activity Routines of the Elderly Living Alone                                                                                 | Advances in Computational Design                                                       | Lee, B.             | 4   | 미국   | Techno Press                                                              | 비SCI              | 2019. 04 | 2383-8477     |

|    |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                    |           |   |      |                                                                                |      |          |                   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|------|--------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-------------------|
| 9  | Quantifying the Variability of a Living-alone Elderly's Activities of Daily Living: Clustering Analysis of Spatio-temporal Occupancy Data | Proceedings of CIB World Building Congress 2019                                                                                                    | Lee, B.   | - | 네덜란드 | International Council for Research and Innovation in Building and Construction | 비SCI | 2019. 06 | 978-962-367-821-6 |
| 10 | Spatial Coverage of Wi-Fi-based Occupancy Monitoring Systems: The Impact of an Occupant's Relative Location to a Receiver                 | Proceedings of CIB World Building Congress 2019                                                                                                    | Lee, H.   | - | 네덜란드 | International Council for Research and Innovation in Building and Construction | 비SCI | 2019. 06 | 978-962-367-821-6 |
| 11 | Measuring Routine Variability of Daily Activities with Image Complexity Metrics                                                           | BuildSys '19: Proceedings of the 6 <sup>th</sup> ACM International Conference on System for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation | Lee, B.   | - | 미국   | Association for Computing Machinery                                            | 비SCI | 2019. 11 | 978-1-4503-7005-9 |
| 12 | Exploiting Multiple Receivers for CSI-Based Activity Classification Using a Hybrid CNN-LSTM Model                                         | BuildSys '19: Proceedings of the 6 <sup>th</sup> ACM International Conference on System for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation | Lee, H.   | - | 미국   | Association for Computing Machinery                                            | 비SCI | 2019. 11 | 978-1-4503-7005-9 |
| 13 | Capturing Regularity of ADL Routines Using Hierarchical Clustering Models                                                                 | BuildSys '19: Proceedings of the 6 <sup>th</sup> ACM International Conference on System for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation | Mohan, P. | - | 미국   | Association for Computing Machinery                                            | 비SCI | 2019. 11 | 978-1-4503-7005-9 |

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                                                                        | 발표자             | 발표 일시      | 장소                               | 국명   |
|----|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|----------------------------------|------|
| 1  | 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering | 이보경             | 2018.06.07 | Tampere University of Technology | 핀란드  |
| 2  | 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering | Changbum R. Ahn | 2018.06.07 | Tampere University of Technology | 핀란드  |
| 3  | CIB World Building Congress 2019                                             | Changbum R. Ahn | 2019.06.17 | Hong Kong Polytechnic University | 홍콩   |
| 4  | 2019 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering         | Hoonyong Lee    | 2019.06.17 | Georgia Institute of Technology  | 미국   |
| 5  | BuildSys 2019                                                                | 이보경             | 2019.11.13 | New York                         | 미국   |
| 6  | BuildSys 2019                                                                | Hoonyong Lee    | 2019.11.13 | New York                         | 미국   |
| 7  | BuildSys 2019                                                                | Prakhar Mohan   | 2019.11.13 | New York                         | 미국   |
| 8  | 한국노인복지학회 추계 학술대회                                                             | 김상엽             | 2019.11.15 | 사랑의 열매 회관                        | 대한민국 |

(3) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                       | 국명   | 출원                |            |                 |          | 등록  |     |      |       | 기여율 |
|----|------------------------------------------------|------|-------------------|------------|-----------------|----------|-----|-----|------|-------|-----|
|    |                                                |      | 출원인               | 출원일        | 출원번호            | 등록번호*    | 등록인 | 등록일 | 등록번호 | 등록번호* |     |
| 1  | 실내 재실자의 일상생활 활동패턴 도출방법 및 이를 위한 시스템             | 대한민국 | 이현수<br>이보경<br>김토성 | 2018.11.13 | 10-2018-0138862 | YWY6115K |     |     |      |       | 100 |
| 2  | 와이파이 송수신기 간의 채널상태정보를 이용한 실내 재실자의 일상생활 활동 인식 방법 | 대한민국 | 이현수<br>이보경<br>김상엽 | 2019.12.17 | 10-2019-0169238 | YWY7148K |     |     |      |       | 100 |

(4) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                                        | 창작일        | 저작자명           | 등록일        | 등록 번호         | 저작권자명          | 기여율  |
|----|---------------------------------------------|------------|----------------|------------|---------------|----------------|------|
| 1  | 채널상태정보를<br>활용한 재실자<br>활동 감지<br>프로그램         | 2017.11.15 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2017.11.28 | C-2017-030391 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |
| 2  | 재실자 일일 활동<br>벡터 추출 및<br>벡터 간 거리<br>계산 프로그램  | 2018.09.04 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2018.09.12 | C-2018-024577 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |
| 3  | 채널상태정보를<br>활용한 재실자<br>인원 감지<br>프로그램         | 2018.11.07 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2018.11.14 | C-2018-032085 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |
| 4  | 채널상태정보를<br>활용한 재실자<br>낙상 감지<br>프로그램         | 2018.11.07 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2018.11.14 | C-2018-032084 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |
| 5  | 일일 활동 루틴<br>이미지 복잡도<br>계산 프로그램              | 2019.12.04 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2019.12.12 | C-2019-040155 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |
| 6  | 와이파이<br>채널상태정보를<br>활용한 재실자<br>행동 분류<br>프로그램 | 2019.12.04 | 서울대학교<br>산학협력단 | 2019.12.12 | C-2019-040156 | 서울대학교<br>산학협력단 | 100% |

(5) 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류    | 기준<br>연도 | 현황  |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|----|-------|----------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
|    |       |          | 학위별 |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|    |       |          | 박사  | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| 1  | 인력 양성 | 2019     | 2   | 2  |    |    | 3  | 1 | 4   |     |     |     |    |

## 바. 연구 결과

### (1) 기술적 성과

- 기존의 웨어러블 디바이스 및 다양한 센서를 활용하는 스마트 헬스 케어 방식에서 한 단계 도약하여 고령자의 선호 (비침습적/비부착적 방법)를 고려한 디바이스 프리 스마트 홈 헬스 케어 시스템을 개발함으로써 기존 방식의 한계를 보완함.
- 이를 통해 사회복지사의 주기적인 방문, 웹캠 (CCTV) 설치 등과 같이 단발성으로만 이루어지거나 대상자의 프라이버시를 충분히 고려하지 못하는 등의 문제점을 해결하고 보다 신속하고 지속적인 스마트 홈 헬스케어가 가능해짐.
- 첨단미래기술인 디바이스 프리 행동식별 기술, 센싱 데이터 연계를 통한 프로파일 구성, 빅 데이터 분석, 사물인터넷, 기계학습 등의 부분 기술들을 건설에 적극적으로 도입함으로써 궁극적으로 건설 산업의 첨단화에 기여함.
- 본 연구개발의 과정에서 필요로 하는 부분 기술들은 건설 뿐 아니라 IT 및 컴퓨팅, 의료, 사회복지 등의 다양한 학제 및 산업을 포괄함.
- 다양한 첨단 기술의 융·복합 연구를 통해 개별 기술들의 수평적 확장이 가능하며 그 과정에서 개별 기술들의 고도화에 기여할 것으로 예상됨.
- 본 연구에서 구축된 디바이스 프리 환경에서의 재실자 행동식별 기술은 고령자 주거공간 뿐 아니라 다양한 안전약자를 배려한 시설물 계획 및 관리 시스템에 적용 및 확장이 가능함.
- 향후 웨어러블 디바이스를 활용한 생체 데이터 수집과 같은 ICT 연구개발 결과와 본 연구개발 결과가 결합된다면, 재실자의 반응 및 의지에 따른 주거공간·시설물의 자동 컨트롤을 구현할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 최종적으로 사용자 중심의 최첨단 건축환경의 구성을 통해 비단 고령자뿐만 아니라, 전 세대를 아우르는 공간활용의 플랫폼을 제공할 수 있을 것임.
- 본 연구개발의 2차년도에 주관연구기관의 연구내용인 ‘실내 재실자의 일상생활 활동패턴 도출방법 및 이를 위한 시스템’ 특허를 출원하였으며 이는 생물정보학에서 사용되는 방법론을 본 연구의 데이터 프로세싱 방법으로 활용하여 개발됨.
- 본 연구개발의 3차년도에 공동연구기관의 연구내용인 ‘와이파이 송수신기 간의 채널상태정보를 이용한 실내 재실자의 일상생활 활동 인식 방법’ 특허를 출원하였음.
- 본 연구개발 전 기간에 걸쳐 주관연구기관은 간접적 센싱방식을 활용하여 1인 재실자의 일상생활 활동 루틴 추출 및 그 변동성 측정에 관한 연구 수행에서 총 2건의 S/W를 개발·등록함.
- 본 연구개발 전 기간에 걸쳐 공동연구기관은 Wi-Fi CSI data를 활용하여 1인 재실자의 일상생활 활동 식별 및 그 성능 향상에 관한 연구 수행에서 총 4건의 S/W를 개발·등록함.

### (2) 경제적 성과

- 현재 건강·의료 서비스에 집중되어 있는 고령친화산업을 맞춤형 IT 기술, 스마트 홈 기반 주거 단지 계획 등 다양한 산업으로 확장시킴으로써 정체에 접어든 기존 산업들의

신성장 동력이 될 수 있음.

- 고령자들의 잠재적 경제활동 규모가 증가함에 따라 고령자 사용 시설물 뿐 아니라 고령자가 타깃 수요자가 되는 서비스 (노인을 위한 금융, 정보기기, 여가 및 문화 서비스 등)시장의 성장이 예상됨.
- 본 연구결과가 시장성을 갖출 수 있는 고령친화산업 분야의 국내 시장 규모는 국내 약 68조원 (고령친화산업센터 2015), 중국 약 750조원 (한국무역협회 2014)에 달함. 본 연구의 신규시장 창출이 건설 산업의 전체 산업대비 기여 수준인 6% 규모로 기여한다고 가정하고, 고령친화산업의 연간 시장성장률을 14% (고령친화산업센터 2015), 국내 시장점유율을 10%, 국외 시장점유율을 3%로 가정하면 본 연구개발 결과의 2020년 시장창출효과는 다음과 같음.
  - 국내:  $68\text{조원} \times (1+0.14)^5 \times 6\% \times 10\% =$  약 7855억 원
  - 국외(중국):  $750\text{조원} \times (1+0.14)^5 \times 6\% \times 3\% =$  약 2조 5990억 원
- 본 연구는 IT 및 컴퓨팅, 센싱 데이터 분석의 첨단 기술과 주거공간 계획 및 스마트 홈 기술을 융합한 연구를 수행할 수 있는 다수의 전문가를 요구함. 본 연구에 활용되는 부분기술인 디바이스 프리 행동식별 기술, 재실자 에너지 사용 패턴식별 기술, 실시간 모니터링 기술, 빅 데이터 분석 및 사물인터넷, 데이터 무선 송·수신 시스템 개발 등에 대한 전문가의 양성이 가능하며 이는 건설 산업에 첨단기술을 적용한 솔루션을 제시하여 산업의 경쟁력을 강화하는 데 기여함.

[본 연구 수행으로부터 발생한 인력 양성 인원]

(단위: 명)

| 배출 인력                                |       | 2018년 | 2019년 | 2020년 | 합계 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----|
| 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템·네트워크 구축 및 파일럿 테스트 | 석사/박사 | 1/0   | 2/1   | 2/1   | 7  |
| 디바이스 프리 기반 고령자 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 | 석사/박사 | 0/1   | 0/1   | 0/1   | 3  |
| 합계                                   |       | 2     | 4     | 4     | 10 |

- 본 연구의 수행을 통해 기존의 스마트 홈 헬스 케어에서의 한계로 지적된 추가적인 장비의 구입 및 상시 부착의 불편함을 보완함으로써 해당 기술의 실용화 가능성을 높임. 또한 노인성 질환에 대한 사회적 레벨에서의 대응 방식을, 기존의 사후적 대응 (노인전문 병원·요양시설 확보, 관련 인력 증원 등) 방식과 달리 예방적 대응 (일상생활 활동 모니터링을 통한 조기진단)이 가능하도록 하는 연구를 장려하는 기회가 됨.
- 본 연구의 최종 결과물은 고령자의 건강한 삶의 지속을 지원함으로써 전 세계적인 사회 이슈인 인구의 급속한 고령화에 선제적으로 대응하여 고령화에 대한 부정적인 인식을 기회로 전환하고, 고령층을 비롯한 국민의 삶의 질을 향상시킴으로써 선진국으로서의 이미지를 제고할 수 있음.

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 가. 연구개발의 최종 목표

| 구분    | 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 최종 목표 | 급속히 진행되고 있는 고령화 문제에 대응하여 고령자의 일상생활 활동을 지속적으로 모니터링하고, 이를 통해 고령자의 일상생활 활동을 평가하며 사고의 발생 및 신체적·정신적 기능저하를 식별함으로써, 그들의 <u>건강한 삶을 지원하는 스마트 홈 헬스케어 시스템을 개발함.</u>                                                                                                                                       |
| 세부 목표 | (1) 고령자 일상생활 행동 정보 수집을 위한 디바이스 프리 (Device Free) 센싱 기술 분석<br>(2) 디바이스 프리 (Device Free) 행동식별 알고리즘 개발<br>(3) 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동식별 방법 개발 (Short-term Anomaly Detection)<br>(4) 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 (Long-term Anomaly Detection)<br>(5) 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 계획 및 파일럿 테스트 수행 |

#### 나. 연차별 연구개발 목표 및 결과

| 구분(연도)          | 세부 과제명                                 | 세부 연구 목표                          | 연구개발 수행 내용                                                                                                  | 연구 결과                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차 연도<br>(2017) | 고령자 일상생활 행동 정보 수집을 위한 디바이스 프리 센싱 기술 분석 | 기존 문헌 고찰을 통한 고령자 요구사항 정의          | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 스마트 홈 및 스마트 홈 헬스케어 기술에 대한 문헌고찰</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 ADL 활용 헬스케어 현황 및 의의, 학술적 근거 도출</li> <li>고령자 주거환경 헬스케어 관련 연구 분석</li> </ul>                               |
|                 |                                        |                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 스마트 홈 적용 대상 노인들의 스마트 홈 헬스케어 요구사항 및 애로사항 고찰</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 스마트 홈 환경을 활용한 건강 모니터링 방식 분석 후 한계점 도출</li> <li>도출된 한계점의 보완 가능성 및 대안적 센싱방식 도출</li> <li>분석보고서 1건</li> </ul> |
|                 |                                        | 고령자 정보 수집을 위한 디바이스 프리 센싱기술 적합성 검증 | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 일상행동 분석을 통한 행동 특징 분석 및 이를 통한 필요한 정밀도 (Accuracy) 수준 정의</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>재실자 활동 및 행동, 행동패턴 정보의 위계 정의</li> <li>고령자 건강 모니터링 요구 기능 정의</li> </ul>                                        |
|                 |                                        |                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>디바이스의 고령자 적합도 판별 (측정</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 적합 대안적 센싱 방안 (간접적</li> </ul>                                                                            |

|  |                                |                                |                                                                                                        |                                                                                                                                        |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                |                                | 정밀도, 데이터 민감도, 후처리 가능성, 데이터 네트워킹 가능성 등)                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>센싱 방식) 관련 센싱 기술들에 관한 적합성 분석</li> <li>다양한 센서와의 조합 가능성 도출</li> </ul>                              |
|  |                                |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>사용가능한 디바이스 프리 센싱 기술 후보군 사이의 동시 활용 가능성 분석</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>모션 센서 활용 재실자 ADL 추출 방법 설계</li> <li>적합성 및 가능성 분석을 위한 파일럿 테스트 수행</li> <li>논문 1건</li> </ul>        |
|  | Fine-grained WiFi 행동식별 알고리즘 개발 | 일상생활 활동 분류 및 정의                | <ul style="list-style-type: none"> <li>행동 식별을 위한 일상생활 활동의 정의</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 관련연구를 분석하여 Fine-grained WiFi를 통해 식별가능한 행동 수준 분석</li> </ul>                                   |
|  |                                |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>행동 식별 알고리즘 개발을 위한 주요 행동 정의</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 일상생활 활동 분석을 위한 ADL 1차 분류</li> </ul>                                                         |
|  |                                | 고령자 일상생활 행동 식별 알고리즘 구성 및 DB 구축 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fine-grained WiFi 상황에서의 개별 행동별 신호 정보의 변화량 계측 및 오차 분석</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>고령자 ADL 측정을 위한 알고리즘 구성</li> <li>데이터 식별가능 범위와 데이터 교환 성공률 90% 이상 달성</li> <li>S/W 등록 1건</li> </ul> |
|  |                                |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>계측된 데이터 분류 및 개인적 특성에 따른 오차 향에 대한 선처리 기술 확보</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>개발된 Fine-grained WiFi 알고리즘의 정보추출 가능성 및 정확성 검토를 위한 파일럿 테스트 수행</li> <li>논문 1건</li> </ul>          |

| 구분(연도)          | 세부 과제명                                    | 세부 연구 목표                  | 연구개발 수행 내용                                                                                                                            | 연구 결과                                                                                   |
|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 2차 연도<br>(2018) | 신체적/정신적 기능저하 식별을 위한 일상생활 내의 이상행동 분석 모델 개발 | 상황 및 맥락에 따른 행동 식별 알고리즘 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fine-grained WiFi 기반 행동 식별 알고리즘의 활용성을 증진시키기 위한 멀티 레이어 (Multi-Layer) 방식의 기술 프레임워크 개발</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>향후 다양한 간접적 센싱 방식과의 결합을 위한 시스템 아키텍처 도출</li> </ul> |
|                 |                                           | 고령자 일상생활                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>재실자의 일상생활</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>일상생활 활동의</li> </ul>                              |

|  |                                        |                                                               |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                        | 패턴 모델링                                                        | 활동 패턴 모델링<br>방법 도출                                                                                                                                                    | <p>문자열 데이터화 및<br/>패턴 도출 방법론<br/>활용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사례 분석을 위한<br/>실험 수행</li> <li>▪ 논문 2건</li> <li>▪ 특허 1건</li> </ul>                                                                                  |
|  |                                        | 일상생활 내의 이상<br>활동 정의                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 평상시의 일상생활<br/>활동 패턴과 차이를<br/>보이는 상황 정의</li> <li>▪ 비정상적으로 수행된<br/>활동 상황 정의</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 불규칙 정도 (Irregu-<br/>larity)와 비정상<br/>정도 (Abnormality)<br/>의 정의</li> </ul>                                                                                                                |
|  |                                        | 이상 활동 정량화<br>모델 구축 및 검증                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 비정상적 활동의<br/>정량화 방법 개발</li> <li>▪ 실험을 통해 수집된<br/>데이터를 활용하여<br/>개발된 방법의 검증</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 일상생활 활동의<br/>시·공간 데이터<br/>활용 정량화 플롯<br/>작성</li> <li>▪ 시·공간 데이터<br/>유사 활동별<br/>클러스터화 및 거리<br/>계산 방법 제안</li> <li>▪ 실험 사례 간 비교를<br/>통한 검증 수행</li> <li>▪ S/W 등록 1건</li> </ul>                |
|  | 응급상황 식별을<br>위한 단기적<br>이상행동 식별<br>방법 개발 | 주거환경 차이에<br>따른 Fine-grained<br>WiFi 신호의<br>행동식별 알고리즘<br>영향 분석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 한국과 미국의<br/>주거환경 차이에<br/>따른 WiFi 기반<br/>행동식별 알고리즘의<br/>성능 비교</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 한국/미국의<br/>대표적인<br/>주거환경에서 동일한<br/>행동 수행 시<br/>행동식별 알고리즘의<br/>성능을 비교하여<br/>주거환경으로부터의<br/>차이가 있음을 도출</li> <li>▪ 실험 사례 간 비교를<br/>통한 검증 수행</li> <li>▪ 논문 3건</li> <li>▪ S/W 등록 1건</li> </ul> |
|  |                                        |                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ WiFi Receiver의<br/>위치 및 재실자의<br/>위치에 따른<br/>행동식별 결과 성능<br/>비교</li> </ul>                                                     |                                                                                                                                                                                                                                   |
|  |                                        | Fine-grained WiFi<br>신호를 통한 국지<br>이상 신호 식별<br>방법 개발           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fine-grained WiFi<br/>신호를 통한 국지<br/>이상 신호 식별 방법<br/>개발</li> <li>▪ Fine-grained WiFi<br/>신호의 국지 이상<br/>신호 중 응급 상황에</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 일상생활 내<br/>응급상황 (낙상,<br/>무호흡)별 CSI data<br/>신호 패턴 도출</li> <li>▪ 특허 출원 1건</li> <li>▪ S/W 등록 1건</li> </ul>                                                                                 |

|  |  |  |                                                                                                                                                |  |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  | <p>해당하는 범위 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fine-grained WiFi 신호를 통해 응급상황으로 발전할 수 있었던 행동 및 그 빈도를 통한 사고의 가능성 추론 방법 개발</li> </ul> |  |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

| 구분(연도)          | 세부 과제명                            | 세부 연구 목표                        | 연구개발 수행 내용                                                                                                                                                                 | 연구 결과                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3차 연도<br>(2019) | 고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획 및 파일럿 테스트 수행 | 비정상적 활동 정량화 방법 개발               | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Image Complexity Approach를 통한 일상생활 활동 수행의 비일관성 정도 정량화</li> <li>▪ Bottom-up Clustering over various levels of hierarchy</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 이미지 복잡도 측정 메트릭 활용 일상생활 활동 로그 변동성 측정 방법 제안</li> <li>▪ 이미지 복잡도 측정 메트릭의 일상생활 활동 로그 변동성 측정 가능 여부 확인</li> <li>▪ 일상생활 활동 변동성 정도와 이미지 복잡도의 상관관계 확인</li> <li>▪ 논문 3건</li> </ul> |
|                 |                                   | 비일관성/이상 정도 정량화 방법 적용 파일럿 테스트 수행 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 일상생활 활동 수행의 비일관성 정도 정량화 적용 파일럿 테스트 수행</li> </ul>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 독거 고령 피실험자로부터 수집한 시·공간 로그 데이터를 이미지로 변환</li> <li>▪ 이미지 복잡도 추이와 실제 일상생활 활동 변동성 비교</li> <li>▪ 논문 1건</li> <li>▪ S/W 등록 1건</li> </ul>                                        |
|                 |                                   | 고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획 제안</li> </ul>                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 디바이스 프리 방식 센서들의 데이터 수집 방식 및 식별 대상 행동 특성 고려 장기-단기 분류</li> <li>▪ 타 디바이스 프리 센서 적용 시 통합 적용을 위한 데이터 결합·분석 방법 제시</li> <li>▪ 비일관성 정도</li> </ul>                                |

|                             |                                         |                                             |                                                                              |                                                                                                                  |                                                                                                               |
|-----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                         |                                             |                                                                              | 도출·모니터링을 통한 신체적/정신적 기능저하 시점 식별                                                                                   |                                                                                                               |
| 재실자 단기적 행동으로부터 신체적 건강 정보 도출 | Fine-grained WiFi 신호 변화량을 활용한 신체 활동량 측정 | ▪ 복수의 Receiver를 이용한 재실자 신체 활동 모니터링 시스템 구축   | ▪ 복수의 Receiver로부터 수집·계측된 CSI data를 Data-level integration을 통해 모니터링 시스템 성능 향상 | ▪ Hybrid CNN-LSTM 모니터링 시스템 개발<br>▪ MET 지수와 신체활동 정보 (종류, 지속 시간) 활용 신체 활동량 측정<br>▪ 논문 2건<br>▪ 출원 1건<br>▪ S/W 등록 1건 |                                                                                                               |
|                             |                                         | ▪ MET 지수 및 신체활동 정보를 통한 신체 활동량 측정            |                                                                              |                                                                                                                  |                                                                                                               |
|                             | 이상 정도 정량화 방법 활용 이상 행동패턴 도출              | ▪ WiFi 기반 행동 식별 알고리즘의 장기적 유효성 검증을 위한 데이터 수집 | ▪ CSI data 기반 행동 식별 알고리즘의 장기 행동식별 성능 검증을 위한 실험 수행                            | ▪ 장기 행동식별 알고리즘의 Time-dependency 발견                                                                               | ▪ Transfer learning 알고리즘 활용 장기 행동식별 알고리즘 성능 개선<br>▪ 행동의 종류, 지속 시간, CSI data 변화량 정보 활용 행동 이상 정도 정량화<br>▪ 논문 1건 |
|                             |                                         | ▪ Transfer learning 알고리즘 활용 시간에 대한 변동성 최소화  |                                                                              |                                                                                                                  |                                                                                                               |
|                             |                                         | ▪ 장기 모니터링을 통한 재실자 이상행동 추출                   |                                                                              |                                                                                                                  |                                                                                                               |

## 다. 성과 목표에 대한 자체 평가

### (1) 성과점검기준표

| 구분 | 핵심성과<br>(CTE) |                                                                     | 단위성과                                             | 성과점검기준                               |                  |                  |                                      |                        |     | 양적 성과<br>건수                                                               |
|----|---------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------|
|    |               |                                                                     |                                                  | 질적 성과지표                              | 목표치              | 달성치              | 측정방법                                 | 검증<br>방법               | 가중치 |                                                                           |
| 주관 | 1             | 디바이스<br>프리<br>행동식별<br>알고리즘<br>기술                                    | 고령자<br>일상생활<br>1-1 분석을 통한<br>행동 특징<br>분석         | ① 고령자<br>일상생활 행동<br>특징 분석            | 1건               | 1건               | 고령자 일상행동<br>관련 문헌조사                  | 분석<br>보고서              | 6%  | 특허 : 출원<br>0건<br>등록 0건<br>논문 : 1건<br>분석보고서:<br>1건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 0건 |
|    |               |                                                                     | 1-2 디바이스의<br>고령자<br>적합도 판별                       | ① 데이터<br>정밀도,<br>민감도,<br>네트워킹<br>가능성 | 1건               | 1건               | 활용 데이터<br>분석                         | 분석<br>보고서              | 9%  |                                                                           |
|    |               |                                                                     | 1-3 행동식별<br>멀티레이어<br>기술<br>프레임워크<br>개발           | ① 프레임워크<br>구축                        | 완성도<br>90%<br>이상 | 완성도<br>90%<br>이상 | 시스템 아키텍처                             | 프레임<br>워크              | 4%  |                                                                           |
|    | 3             | 신체적/정<br>신적<br>기능저하<br>식별을<br>위한<br>일상생활<br>내의<br>이상행동<br>분석<br>시스템 | 3-1 재실자<br>일상생활<br>패턴 모델링                        | ① 실제 행동<br>반영 정확도                    | 60%<br>이상        | 60%<br>이상        | 실제 행동패턴과<br>모델링 패턴의<br>비교            | 정확도<br>60%<br>이상       | 8%  | 특허 : 출원<br>1건<br>등록 0건<br>논문 : 3건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 1건                 |
|    |               |                                                                     | 3-2 비정상적<br>활동 정량화<br>방법 개발                      | ① 실제 행동<br>반영 정확도                    | 60%<br>이상        | -                | 정량화 결과와<br>실제 이상행동<br>발생 여부 비교       | 정확도<br>60%<br>이상       | 8%  |                                                                           |
|    | 4             | 고령자<br>스마트 홈<br>헬스케어<br>시스템<br>제안                                   | 4-1 비밀관성/이<br>상 정도<br>정량화 방법<br>적용 파일럿<br>테스트 수행 | ① 파일럿 테스트<br>수행                      | 3건               | 6건               | 실제 고령자<br>대상 독거<br>가구에 파일럿<br>테스트 수행 | 전문가<br>대상<br>적정성<br>평가 | 6%  | 특허 : 출원<br>0건<br>등록 0건<br>논문 : 1건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 1건                 |
|    |               |                                                                     | 4-2 고령자<br>스마트 홈<br>헬스케어<br>시스템 제안               | ① 개발 시스템<br>및 활용 체계<br>확립            | 1건               | 1건               | 관련 전문가<br>자문                         | 전문가<br>대상<br>적정성<br>평가 | 9%  |                                                                           |

|    |   |                             |     |                                               |   |                                |            |            |                       |                   |    |                                                        |
|----|---|-----------------------------|-----|-----------------------------------------------|---|--------------------------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|----|--------------------------------------------------------|
| 공동 | 1 | 디바이스 프리 행동식별 알고리즘 기술        | 1-4 | Fine-grained WiFi의 행동별 알고리즘 및 DB구축            | ① | 알고리즘, DB 구축                    | 완성도 90% 이상 | 완성도 90% 이상 | 고령자 행동식별 알고리즘 및 DB 구축 | 데이터 교환 성공률 90% 이상 | 6% | 특허 : 출원 1건<br>등록 0건<br>논문 : 2건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 1건 |
|    |   |                             | 1-5 | 계측 데이터 분류 및 개인 특성에 따른 오차 선처리 기술 확보            | ① | 실제 행동과의 오차율                    | 10% 미만     | 10% 미만     | 실제 행동과 식별된 행동을 비교     | 정확도 90% 이상        | 9% |                                                        |
|    | 2 | 응급상황 식별을 위한 단기적 이상행동 식별 시스템 | 2-1 | 응급상황별 시퀀스 분석                                  | ① | 응급 상황별 시퀀스 분석                  | 1건         | 1건         | 고령자 응급상황 행동 관련 문헌조사   | 분석 보고서            | 4% | 특허 : 출원 0건<br>등록 0건<br>논문 : 3건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 2건 |
|    |   |                             | 2-2 | 국지 이상신호 식별 방법 개발                              | ① | CSI 데이터 이상신호 판별 정확도            | 80% 이상     | 90% 이상     | 데이터 분석                | 정확도 80% 이상        | 8% |                                                        |
|    |   |                             | 2-3 | 아차사고 행동 및 빈도를 통한 사고 가능성 추론방법 개발               | ① | 사고 가능성 정량화 방법 개발               | 90% 이상     | 90% 이상     | 데이터 분석                | 정확도 90% 이상        | 8% |                                                        |
|    | 4 | 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템 제안       | 4-3 | Fine-grained WiFi 신호 변화량을 활용한 신체 활동량 측정 이상 정도 | ① | 신체 움직임 정도와 WiFi 신호 변화량 간 관계 분석 | 1건         | 1건         | 데이터 분석                | 오차율 10% 미만        | 6% | 특허 : 출원 0건<br>등록 0건<br>논문 : 3건<br>시제품 : 0건<br>S/W : 1건 |
|    |   |                             | 4-4 | 정량화 방법 활용 이상 행동 패턴 도출                         | ① | 걷기 패턴 변화 측정                    | 1건         | 1건         | 관련 전문가 자문             | 전문가 대상 적정성 평가     | 9% |                                                        |
|    | 계 |                             |     |                                               |   |                                |            |            |                       |                   |    | 100%                                                   |

(2) 핵심 연구성과

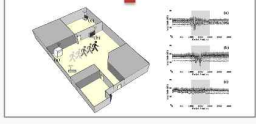
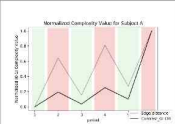
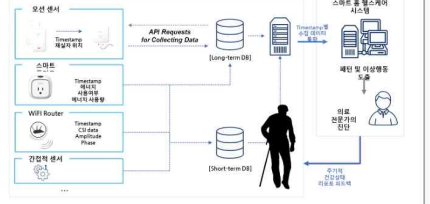
| 연번 | 핵심성과<br>(CTE)                                          | 핵심성과 설명                                                                                                                              | 성과유형 <sup>1)</sup> | 연구기관        | 해당<br>연차 | TRL |
|----|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|----------|-----|
| 1  | 디바이스 프리<br>행동식별<br>알고리즘 기술                             | 기존의 고령자 웨어러블 센싱의 문제점인 낮은<br>사용성 및 프라이버시 문제를 해결하기 위한<br>디바이스 프리 컨셉을 기반으로 한 Fine-grained<br>WiFi 기술을 중점적으로 활용한 실내<br>거주자의 행동식별 알고리즘 기술 | SW                 | TAMU<br>서울대 | 1-2      | 2   |
| 2  | 응급상황<br>식별을 위한<br>단기적<br>이상행동 식별<br>시스템                | 고령자들의 신체적 능력 저하 및 질병으로 인해<br>발생할 수 있는 응급상황(예: 낙상 및 수면 중<br>무호흡 등)을 식별하고, 정보를 관련 기관 및<br>보호자 등에게 전달하는 알고리즘                            | SW                 | TAMU        | 2        | 4   |
| 3  | 신체적/정신적<br>기능저하<br>식별을 위한<br>일상생활 내의<br>이상행동 분석<br>시스템 | 고령자의 일상생활 활동 중 신체적/인지적<br>기능감소에 따른 비정상적 행동 식별 알고리즘<br>및 정량화 방법 개발                                                                    | 기타<br>(학술적<br>성과)  | 서울대         | 2-3      | 4   |
| 4  | 고령자<br>스마트홈<br>헬스케어<br>시스템 제안                          | 디바이스 프리 행동 패턴 식별을 통해 고령자의<br>일상생활 활동 내의 응급상황 및 그 사고<br>가능성, 그리고 지속적인 모니터링을 통해<br>신체적/인지적 기능저하를 평가할 수 있는<br>시스템 제안                    | 기타<br>(학술적<br>성과)  | 서울대<br>TAMU | 3        | 6   |

### (3) 핵심 연구성과별 설명

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 핵심성과 1             | <p>일상생활 활동 정의</p> <p>3 Eating Bathing Dressing Transferring Toileting Walking or moving around</p> <p>2 Receiver Transmitter Target</p> <p>4 Phase Difference</p> <p>Sitting on chair Stand up and walking Standing Walking towards the sofa Turn around and sit down Sitting on sofa Stand up and walking Walking and fall</p> <p>Threshold Ending Point Ending Point</p> <p>Fine-grained WiFi 신호 분석을 통한 행동식별 알고리즘</p> <p>5 위치 + 행동 + 에너지 사용(가전기기 사용) 등에 따른 행동 식별</p>   |       |
| 정의                 | 기존의 고령자 웨어러블 센싱의 문제점인 낮은 사용성 및 프라이버시 문제를 해결하기 위한 디바이스 프리 컨셉을 기반으로 한 Fine-grained WiFi 기술을 중점적으로 활용한 실내 거주자의 행동식별 알고리즘 기술을 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |
| 목적                 | 각 가정에 비치되어 있는 WiFi 라우터를 이용하여 라우터가 발송하는 신호를 기반으로 재실자의 움직임 또는 위치에 따른 신호의 전파감쇄 및 신호의 분산 정도를 분석하여 재실자의 위치와 행동을 식별할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것을 그 목적으로 함.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |
| 성능목표               | <p>(기존기술 수준) Fine-grained WiFi를 기반으로 한 행동 식별 (Activity Recognition) 기술의 정확도는 현재 웨어러블 디바이스로 측정되는 수치에 비해 70~80%정도에 머무르고 있음.</p> <p>(개발기술 수준) 기존 웨어러블 디바이스에 비해 낮은 정확도를 극복하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 방법을 추가적으로 도입할 것임. 첫째로, 각 가정의 Fine-grained WiFi 신호의 맵핑 (Pre-mapping)을 통한 신호 정보의 정규화. 두 번째로, 행동식별에 활용될 수 있는 가정 내의 에너지 소모(TV 시청, 온열기의 사용, 인덕션 사용 및 시간 등의 에너지 사용 프로파일)를 분석하여 행동의 맥락적 의미를 Fine-grained WiFi를 통해 얻은 행동 패턴과 접목시켜, 최종적으로 웨어러블 센싱 기술 대비 약 90%이상의 정확도를 확보할 것임.</p> |       |
| 성과달성 책임자<br>(소속기관) | 이현수 (서울대학교)<br>Changbum Ahn (Texas A&M University)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |
| 소요기간               | ' 17.04 ~ ' 18.06 (1년3개월, 1차년도 및 2차년도)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |
| 성과달성<br>확인방법       | Fine-grained WiFi 및 에너지 사용 정보를 활용한 행동식별 알고리즘의 정확도를 기존에 사용되는 웨어러블 센싱 방법을 통한 행동식별 방법(Texas A&M University)이 기술을 보유함)과의 비교를 통해 90%이상의 정확도 확보를 성과달성 확인 방법으로 함.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |
| 성과달성에 따른<br>정량적 성과 | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3건    |
|                    | S/W                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 등록 1건 |
|                    | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 출원 1건 |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 핵심성과 2             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |
| 개념도                | <div><div></div><div><p>부재중 — 타이핑 — 걷기 — 넘어짐</p><p>Near-miss 발생을 통한 낙상 신호 식별</p></div><div><p>[가슴의 움직임에 따른 CSI Phase]</p><p>일반적인 호출 주파수로 필터링</p><p>[피크점 파악을 통한 재실자 호출수 측정]</p><p>호흡 시 CSI Phase 정보를 통한 재실자 호출수 측정</p></div></div>                                                                                                                                              |       |
| 정의                 | 고령자들의 신체적 능력 저하 및 질병으로 인해 발생할 수 있는 응급상황(예: 낙상 및 혼절, 무호흡 등)을 식별하는 알고리즘                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |
| 목적                 | 응급상황에 해당할 수 있는 다양한 상황들을 식별할 수 있는 알고리즘 개발을 그 목적으로 함.<br>이를 위해 응급상황에 해당하는 행동 분석, 단기적 이상 신호 식별 방법, 아차사고 분석을 통한 사고 가능성 예측 모델을 개발함.                                                                                                                                                                                                                                                 |       |
| 성능목표               | <p>(기존기술 수준) 기존의 고령자 낙상을 식별하는 방법은 주로 웨어러블 센싱 디바이스를 활용(예: Inertial Measurement Unit의 가속도계)하여 기존에 파악한 낙상으로 판별되는 신호의 패턴과의 비교를 통해 이루어짐.</p> <p>(개발기술 수준) 고령자의 일상생활 활동 중에 발생할 수 있는 응급상황에 대한 정의를 바탕으로, 응급상황 별 시퀀스를 분석(예: 누워있는 자세의 경우 휴식의 의미로 누워있는 경우와 낙상으로 인한 경우로 나눌 수 있음. 이때, 보행 혹은 서있는 상태에서 어떤 과정[시퀀스]를 거쳐 누워있는 자세에 도달하였는지를 분석)하여 이를 단기적 이상 신호와 결합하여 응급상황 여부를 식별하는 모델을 개발할 것임.</p> |       |
| 성과달성 책임자<br>(소속기관) | Changbum Ahn (Texas A&M University)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |
| 소요기간               | ' 18.01 ~ ' 18.12 (1년, 2년차)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |
| 성과달성<br>확인방법       | 본 시스템을 위한 실험환경 설정 후 실험결과 제시 및 향후 출판물의 성격으로 검증할 예정임.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |
| 성과달성에 따른<br>정량적 성과 | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | -     |
|                    | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3건    |
|                    | 저작                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -     |
|                    | S/W                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 등록 2건 |
|                    | 신기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -     |
|                    | 기타                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -     |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 핵심성과 3             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 개념도                | <p style="text-align: center;"><b>고령자 기능저하 식별</b></p> <p style="text-align: center;">일상생활 활동 변동성 정도에 따른 이미지 복잡도 분석      일상생활 활동 변동성 정량화</p>                                                                                                                                                                                          |
| 정의                 | 고령자의 일상생활 활동 중 신체적/인지적 기능감소에 따른 이상 행동 식별 알고리즘 및 정량화 방법 개발                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 목적                 | <p>고령자의 신체기능 혹은 인지기능 저하를 정량화 할 수 있는 지속적 모니터링 방법을 개발하는 것을 그 목적으로 함.</p> <p>정량화를 위해 고령자의 일상생활 활동 중 이상 행동을 크게 두 가지 개념 (비일관성, 비정상성)으로 정의하고 이상 행동의 수행 빈도, 수행 시점, 위치 및 수행 기간에 따른 행동의 적절성 등을 기반으로 패턴으로부터의 거리 및 비정상 행동 빈도를 산정함.</p> <p>고령자의 인지적 저하와 비정상적 행동의 관계를 검증하여, 신체적/인지적 기능감소 여부를 장기적 관점에 모니터링하여 고령자 건강을 증진시키는 데 활용하는 것을 그 목적으로 함.</p> |
| 성능목표               | <p>(기존기술 수준) 기존의 고령자의 일상생활 활동 중 신체적/인지적 기능감소를 측정하는 방법은 의료기관에서 검진을 받거나 일상생활 수행 능력 혹은 도구적 일상생활 수행 능력을 테스트 하는 방법 등이 있음.</p> <p>(개발기술 수준) 신체적/인지적 기능의 감소는 비정상적 행동을 유발한다는 점에 착안하여, 비정상적 행동의 빈도, 강도, 불규칙성, 행동의 적절성등을 종합적으로 정량화하여 비정상적 값과 일상생활 수행능력과의 상관관계를 증명함으로써 비정상적 행동 식별을 통해 고령자의 신체적/인지적 능력을 지속적으로 모니터링할 수 있는 모델을 구축함.</p>            |
| 성과달성 책임자<br>(소속기관) | 이현수 (서울대학교)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 소요기간               | ' 18.01 ~ ' 19.04 (1년 4개월, 2년차 및 3년차)                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 성과달성<br>확인방법       | 본 시스템을 위한 실험환경 설정 후 실험결과 제시 및 향후 출판물(논문 및 특허)의 성격으로 검증할 예정임.                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 성과달성에 따른<br>정량적 성과 | 특허 출원/등록      출원 1건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                    | 논문      3건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                    | 저작      -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    | S/W      등록 1건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                    | 신기술      -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                    | 기타      -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 핵심성과 4             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 개념도                | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>단기 행동 기반<br/>신체적 건강 정보 도출</b></p> <p>단기 행동패턴<br/>↓<br/>신체 활동량 도출<br/>↓<br/>건강 상태 정보 도출</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>고령자 스마트홈 헬스케어 시스템 계획 및<br/>파일럿 테스트 수행</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>  <p>파일럿 테스트 수행<br/>결과 분석</p> </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5가구 이상 파일럿 테스트 수행</li> <li>• 기존 ADL 평가 메트릭과의 결과 비교</li> </ul>  </div> </div> </div> </div> |
| 정의                 | <p>디바이스 프리 행동 패턴 식별을 통해 고령자의 일상생활 활동 내의 응급상황 및 그 사고 가능성, 그리고 지속적인 모니터링을 통해 신체적/인지적 기능저하를 평가할 수 있는 시스템 제안</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 목적                 | <p>파일럿 테스트를 통해 수집한 데이터를 바탕으로 개발한 모델을 구동하여 적용성을 검증하고 실제 사용자의 의견을 수용하여 사용성을 높이는 것을 목적으로 함.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 성능목표               | <p>(기존기술 수준) 기존의 고령자 스마트 홈 헬스케어는 웨어러블 센싱기술을 중심으로 하여 스마트 장비에 익숙하지 못한 노인들에게 사용의 불편함 및 어려움을 야기시켰음. 또한 기존의 고령자 건강관리는 일회성의 검진을 통해서만 수행되어왔음.</p> <p>(개발기술 수준) 본 연구에서 개발할 고령자 스마트 홈 헬스케어 시스템은 크게 두 가지 기반 기술로 구성됨. 첫째, 개별 주거 공간 내에서의 디바이스 프리 기술 기반 고령자 행동 식별과 둘째, 실시간 네트워킹을 통한 식별된 행동의 분석 및 응급상황 판별 및 신체적/인지적 기능저하 발견임. 이를 위해서는 실시간 데이터 처리기술 및 대용량 데이터 처리기술 등의 기술이 필요할 것으로 판단됨. 개별 주거공간에서 나오는 데이터의 양은 전파의 밀도에 따라 편차가 존재하긴 하지만, 빅데이터 수준의 분석 능력이 필요할 것으로 판단됨.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 성과달성 책임자<br>(소속기관) | <p style="text-align: center;">이현수 (서울대학교)<br/>Changbum Ahn (Texas A&amp;M University)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 소요기간               | <p style="text-align: center;">' 19.01 ~ ' 19.12(12개월, 3년차)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 성과달성<br>확인방법       | <p>본 연구진이 최종적으로 개발할 플랫폼은 프로그램 등록이 예정되어 있으며, 이와 동시에 파일럿 테스트를 통한 실제 고령자 독거 가구 대상 파일럿 테스트 수행을 통해 성과달성을 검증받을 예정임.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 성과달성에 따른<br>정량적 성과 | <p>특허 출원/등록</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                    | <p>논문</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    | <p>저작</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                    | <p>S/W</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    | <p>신기술</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                    | <p>기타</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

#### (4) 성과 목표에 대한 자체 평가

| 성과 목표                              | 자체 평가                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 비정상적 활동 정량화 방법 개발                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>이미지 복잡도 측정 메트릭을 통해 일상생활 활동 로그의 변동성을 측정하는 방법을 제안함.</li> <li>재실자의 일상생활 활동을 반영한 시·공간 로그 데이터를 회색조 이미지로 변환했을 때 해당 이미지의 복잡도가 일상생활 활동의 변동성을 대표할 수 있는지 확인함.</li> <li>실제 발생 가능한 일상생활 활동 변동성의 세 가지 경우를 정의하고 이를 반영한 Synthetic data를 활용하여 각 변동성 정도와 이미지 복잡도가 상관관계를 가짐을 확인함.</li> <li>핵심내용의 국외 비SCI 논문 작성, S/W 등록을 통해 관련 양적 성과를 달성함.</li> </ul>                                                                                          |
| 비일관성/이상 정도 정량화 방법<br>적용 파일럿 테스트 수행 | <ul style="list-style-type: none"> <li>독거 고령 피실험자로부터 수집한 시·공간 로그 데이터를 이미지로 변환하고 그 복잡도 추이와 실제 피실험자의 일상생활 활동에 관한 내용을 비교하여 방법의 타당성을 확인함.</li> <li>또한 기존 관련 연구에서 사용된 일상생활 활동의 정량 평가 지수들을 병렬로 산출하고 각 결과로부터의 변동성 추이가 일치하는지 확인함.</li> <li>이미지 복잡도로부터 산출된 일상생활 활동 변동성 추이가 각 피실험자의 데이터 내에서 피실험자의 답변과 일관된 결과를 나타냄.</li> <li>이미지 복잡도로부터 산출된 변동성 값의 상위-하위 기간과 기존 일상생활 활동 정량 평가 지수들의 상위-하위 기간이 유의하게 일관된 결과를 보임을 확인함.</li> <li>핵심내용의 국외 비SCI 논문 작성을 통해 관련 양적 성과를 달성함.</li> </ul> |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>고령자 스마트홈 헬스케어<br/>시스템 계획</p>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 연구에서 적용하는 디바이스 프리 방식의 센서들 (Motion detecting sensors, Smart plug, WiFi CSI data)로부터 데이터를 수집하고 각 데이터의 특성 및 식별 대상 행동의 특성 등을 고려하여 데이터 수집 DB를 각각 장기-단기로 분류함.</li> <li>▪ 향후 본 연구에 사용된 센서들 외 타 디바이스 프리 센서 적용 시에도 통합 적용이 가능하도록 각 데이터의 수집 타임스탬프 (timestamp)를 중심으로 데이터를 결합·분석하는 방법을 제시함.</li> <li>▪ 모니터링 기간 동안의 일상생활 활동 비일관성 정도 및 이상행동 정도를 도출하고 이를 장기적 관점에서 추적하여 신체적/정신적 기능저하가 의심되는 시점을 식별할 수 있음.</li> <li>▪ 해당 시점에서 의료 전문가에 진단을 의뢰하거나 모니터링 대상 고령자에게 주기적으로 리포트하여 관련 질환에 대하여 능동적 (proactive) 으로 대처할 수 있음.</li> </ul> |
| <p>Fine-grained WiFi 신호<br/>변화량을 활용한 신체 활동량<br/>측정</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 복수의 리시버로부터 수집 · 계측된 CSI data를 Data-level Integration을 통해 모니터링 시스템 성능을 향상시킴.</li> <li>▪ Target 일상생활 활동은 8가지 (수면, 자가 위생, 용변, 식사, 식사 준비, 외출, 보행, 낙상)이며 Hybrid CNN-LSTM 모니터링 시스템 개발을 통해 정확도를 향상시킴.</li> <li>▪ MET 지수 (1분 간 소비되는 단위 체중 당 에너지 소비량)와 신체활동 정보를 활용하여 신체 활동량을 측정함.</li> <li>▪ 개발된 CNN-LSTM 모델을 통해 신체 활동의 종류와 지속 시간을 식별하고 이를 기반으로 신체 에너지 소비량을 예측함.</li> <li>▪ 핵심내용의 국외 SCI 및 비SCI 논문 작성, 특허 출원, S/W 등록을 통해 관련 양적 성과를 달성함.</li> </ul>                                                                   |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>이상 정도 정량화 방법 활용<br/>이상 행동패턴 도출</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기 개발된 CSI data 기반 행동식별 알고리즘의 장기적 행동식별 성능을 확인하기 위해 장기 (한 달) 실험을 진행함.</li> <li>▪ 행동식별 알고리즘의 성능 측정을 위해 피실험자의 행동을 카메라로 녹화한 후 이를 ground-truth로 활용함.</li> <li>▪ 실험 시 수면, 식사, 자가 위생, 외출은 매일 반복적으로 수행하도록 하였으며 그 외 활동은 자유롭게 수행하도록 함.</li> <li>▪ 위 실험 결과, 알고리즘의 장기로 수집된 CSI data의 행동식별에 대한 성능이 시간 (일별)에 따라 일관적이지 않음을 확인함.</li> <li>▪ Transfer learning 알고리즘을 활용하여 시간에 따른 모델의 성능 변동 정도를 최소화 하여 재실자의 행동을 장기적으로 모니터링 할 수 있음을 확인함.</li> <li>▪ 또한 재실자의 행동, 행동의 지속 기간, CSI data의 변화량 정보를 특성 값으로 사용하여 행동의 이상 정도를 정량화 할 수 있음.</li> <li>▪ 특히 재실자의 ‘보행’ 활동의 경우, 개발된 CNN-LSTM 모델과 Transfer learning 알고리즘을 활용하여 장기 모니터링 할 경우 재실자의 이동 속도, 이동 방향에 대한 변동 정도를 측정할 수 있음.</li> <li>▪ 변동 정도가 증가할 때 이를 이상 행동으로서 감지할 수 있음.</li> <li>▪ 핵심내용의 국외 비SCI 논문 작성을 통해 관련 양적 성과를 달성함.</li> </ul> |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## 4. 연구개발성과의 활용 계획

### 가. 연구개발성과의 활용 방안

#### (1) 최종성과물의 현장 적용 방안

- 본 연구의 최종 성과물인 ‘고령자를 위한 스마트 홈 헬스케어 시스템’은 1) 낙상, 의식상실 등의 응급상황 발생 시 이를 식별하여 신속한 대응이 가능하도록 하고, 2) 장기적 모니터링을 통해 이상행동 (잦은 균형상실, 배회, 단기 기억 상실 등) 발생 시 이를 식별하여 노인성 치매 등의 뇌 질환을 조기에 진단하는 데 도움을 줄 수 있음.
- 고령자의 신체적 능력 저하 및 질병으로 인한 응급상황 발생 시 동반되는 급격한 균형 상실 등이 감지되면 즉시 보호자 또는 인근 병원, 소방서 등에 자동적으로 연락하여 당사자의 추가적인 노력 없이 대응이 가능하도록 함.
- 본 시스템을 활용한 장기적인 모니터링을 통해 고령자의 주거공간 내 공간사용 패턴, 일상생활 활동에 대한 패턴을 파악하고, 이와 크게 벗어나는 행동이 발견되거나 비정상적 행동이 발견되는 경우 해당 결과를 보호자, 노인돌보미, 의료 기관 등에 알릴 수 있도록 함.
- 직접적인 관찰 없이도 고령자의 일상생활 활동 추적이 가능하며, 이는 우울증이나 치매와 같은 정신질환의 조기 진단에 도움을 주는 근거자료로 활용될 수 있음.
- 본 연구의 완료 및 성숙단계에서는 노인복지 유관기관과의 협업을 통해 독거노인과 같은 고령자 가구에 WiFi 라우터와 스마트 플러그 등의 기 개발 장비와 본 시스템을 보급할 수 있을 것임. 이를 통해 기존의 사회적 차원에서의 고령자 건강 관리를 위해 사용된 사회적 비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대됨.

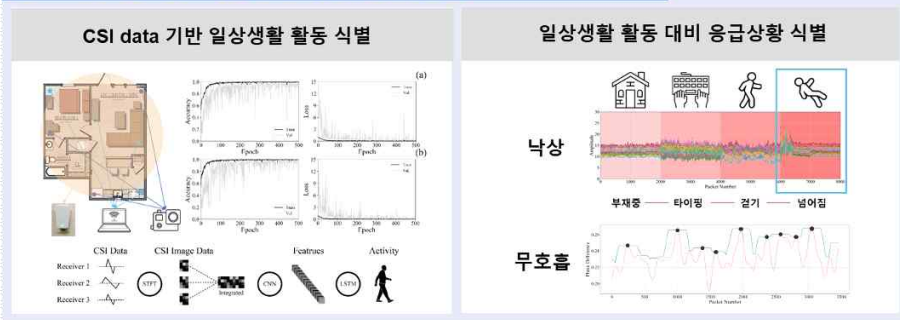
#### (2) 법·제도 및 정책반영을 위한 활용방안

- 기존에 개발된 유사 스마트 홈 헬스케어 시스템 관련 법·제도로는 ‘개인정보 보호법 (2011년 시행)’ 또는 ‘지능형 홈네트워크 설비에 관한 법률 (2008년 시행)’ 등이 있으나 시스템별로 다루는 개인의 건강 데이터 범위 등이 다름에 따라 일괄적으로 적용되기 어려운 측면이 있었음.
- 본 연구의 최종 성과물인 고령자를 위한 스마트 홈 헬스케어 시스템은 기존 유사 시스템에 비해 개인 건강에 관한 제한적인 정보 (다수의 생체정보가 아닌 일상생활 패턴)만으로 결과를 도출할 수 있기 때문에 기존의 법·제도보다 좁은 범위에서 적용이 가능할 것임.
- 또한 본 연구의 최종 성과물은 독거가구 혹은 고령자로만 구성된 가구를 대상으로 개발되며, 활용되는 장비 (WiFi 라우터)의 보급이 용이하므로 저소득층 가구에 대한 우선적인 적용 등 노인복지 정책과 연계할 수 있음.

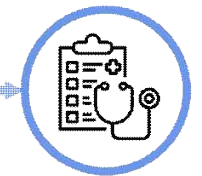
### (3) 시나리오 기반 최종 성과물 활용방안

- 본 연구의 최종 성과물이 고령자의 건강한 삶 지속에 기여할 수 있는 상황은 크게 두 가지 경우, 1) 단기적 행동패턴 분석을 통한 응급상황 대응, 2) 장기적 행동패턴 분석을 통한 치매질환 조기진단으로 나눌 수 있음.

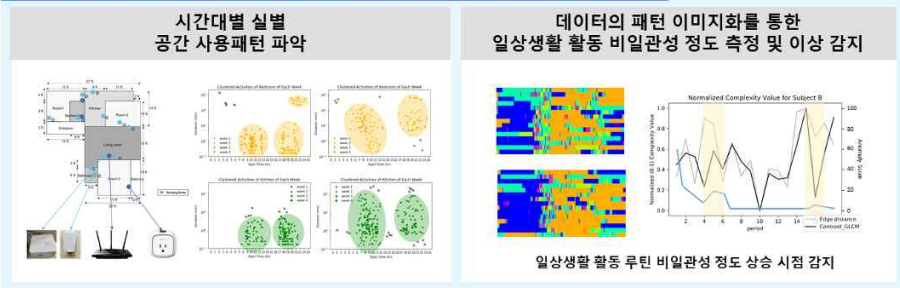
#### 단기적 일상생활 활동 패턴 분석을 통한 응급상황 대응 시나리오



보호자·의료기관 연락



#### 장기적 일상생활 활동 루틴 분석을 통한 정신적 기능저하 조기진단 시나리오



- 단기적 행동패턴 분석을 통한 응급상황 대응 시나리오: 고령자들은 심장 및 혈관 기능이 약화돼 있는 경우가 많아서 자세를 변경할 때 (앉았다가 일어나는 등) 일시적으로 혈압이 낮아지고 이로 인해 뇌로 가는 혈류량이 일정시간 줄어둘 수 있음. 이 때 의식을 잃거나 일시적으로 실신해서 균형을 잡지 못하고 넘어지는 사고를 당하기 쉬움 (소비자안전국 2010). 이 때 급격한 행동 변화(쓰러짐)가 발생하면 WiFi 전파 신호가 크게 분산되면서 국지 이상신호가 식별됨. 본 연구의 시스템은 이를 응급상황으로 식별하여 보호자 및 의료기관 등에 자동적으로 상황을 알림으로써, 자발적인 대응이 불가능한 고령자의 응급상황에 대응함.
- 장기적 행동패턴 분석을 통한 치매질환 조기진단 시나리오: 본 연구의 시스템으로 상시 모니터링을 실시하는 경우 고령자의 시간대별 실별 공간 사용패턴, 시간대별 에너지 사용패턴을 파악할 수 있음. 예를 들어, '해당 고령자는 주로 오전 7~8시에 기상하고, 저녁시간 외는 TV를 거의 사용하지 않으며, 주로 거실 및 안방에 길게 머무르다가 오후 9시 이후에는 안방에서 취침한다' 와 같은 공간 사용 프로파일을 구성할 수 있음. 다량의 데이터 누적을 통해 '일상생활 활동'의 정상 패턴 (normal behavior pattern)이 식별되면, 정상 패턴에서 크게 벗어난 이상행동 (abnormal behavior)이 의심되는 상황을 다음의 예시와 같이 추출할 수 있음.

\* 이상행동 감지 알고리즘 예시

- 본 연구에서 제안하는 이상행동 감지 알고리즘은 Fine-grained WiFi를 기반으로 한 재실자의 행동 패턴과 위치, 그리고 스마트 플러그를 활용한 가정 내의 제품들의 에너지 사용 정도를 기반으로, “재실자의 행동, 공간, 시점, 소요시간 등”을 속성값(Attribute)으로 가지는 멀티레이어 방식으로 결합한 Context에서 행동의 비정상 정도(Context내에서 Attribute 간의 일치 여부)를 감지하는 역할을 함. 이러한 속성값을 기반으로 다음과 같은 이상행동 감지 알고리즘을 구성할 수 있음.
  - 공간과 일상생활 행동의 불일치: [예시] 주방에서 노인이 누워있는 경우
  - 시점과 일상생활 행동의 불일치: [예시] 새벽에 노인이 주간에 하는 행동을 하는 경우
  - 평소와는 다른 행동의 소요시간: [예시] 평소 샤워하는데 20분의 시간이 필요한데 화장실에서 평소보다 오래 머물러 있는 경우
- 위의 예시는 인지기능 저하 초기단계가 의심될 때 고령자가 보일 수 있는 증상으로서, 위 정보를 담당 의료기관에 전달하여 조기진단에 도움을 줄 수 있음.
- 응급상황 (낙상사고) 발생 또는 아차사고 (Near-miss Accident) 상황의 정도 및 빈도에 관한 데이터를 수집하고, 이를 장기적 행동패턴 분석의 input 데이터로 활용할 수 있음. 마찬가지로 응급상황이 발생한 경우, 해당 고령자의 장기적 행동패턴 분석 결과도 함께 의료기관에 전달해서 병력 파악 등의 진단활동에 도움을 줄 수 있음.

#### (4) 실용화 · 제품화 방안

- 본 연구에서 제안하는 고령자를 위한 스마트 홈 헬스케어 시스템의 목적은 기존 스마트 기기 착용 방식의 스마트 홈 헬스케어 시스템보다 간편하고 적은 비용으로 고령자의 건강 모니터링이 가능하도록 하는 것임.
- 따라서 본 연구 결과의 1차 수요자는 독거노인과 같은 고령자 가구와 고령자 가구를 둔 보호자 (가족, 담당 노인돌보미 등)가 될 것으로 예상됨.
- 본 시스템은 WiFi 라우터, 에너지 사용 패턴 측정을 위한 스마트 플러그 등 기 개발된 디바이스를 연계 · 활용하여 데이터를 수집하고 이를 분석 후 결과를 전송하는 프로세스를 포함함.
- 따라서 개별 고령자 가구 단위로 본 시스템을 제품화할 수 있을 것으로 예상됨.
- 또한 노인복지를 위한 정책의 일환으로 본 시스템을 보급할 경우 복지 사각지대에 놓여있는 고령자 가구에 대한 사회적 차원에서의 지원 · 관리가 가능하며 기존의 인력투입 방식에 비해 훨씬 적은 비용으로도 같은 효과를 가질 수 있을 것으로 예상됨.

## 나. 추가 연구의 필요성

### (1) CSI data 분석의 정확도 향상을 위한 환경 조건의 일반화 필요

- CSI data 기반 일상생활 활동 식별 정확도 향상을 위해 기존 연구에서의 실험실 (통제) 조건과 다른 일반 주거환경에서의 적용 가능성에 대해 추가 연구가 필요함.

- 특히 CSI data의 수·발신에 영향을 줄 수 있는 wifi 사용 기기 및 재실자의 물리적 움직임·크기 등의 영향을 고려한 배치 등에 관한 연구가 필요함.
- 또한 건축재료 및 이웃 거주자의 움직임, 반려동물의 존재 등과 같은 조건에서의 일상생활 활동 식별 성능을 테스트하고 일반화를 위한 추가 연구가 수행된다면 실제 적용에 도움이 될 것임.

## (2) 일상생활 활동 변동성 측정 방법의 정확도 향상

- 본 연구에서의 간접적 센싱 방식을 통한 일상생활 활동 변동성 측정 방법 중 이미지 복잡도 측정 방식은 기존의 데이터 프로세싱 방법을 기반으로 다양한 일상생활 활동의 변동성 증가 경우를 정확히 반영할 수 있도록 정확도의 향상이 필요함.
- 일상생활 활동 변동성 및 이상 정도에 대한 실측 값 (ground-truth)이 부재함으로 인해 정확도 측정에 어려움이 있으며 이를 해결하기 위해 다수의 피실험자의 일상생활 활동을 직접 라벨링하는 등의 대규모 파일럿 테스트가 수행된다면 본 연구개발의 결과를 일반화 하는 데 도움이 될 것임.

## (3) 장기 모니터링 중 일상생활 활동 변동성 추이 증가 시점 감지 방법 개발

- 본 연구에서 개발한 일상생활 활동 변동성 측정 방법을 활용하여 동일 피실험자에 대한 1년 이상의 일상생활 활동 모니터링을 수행하고 변동성의 증가 추이를 감지하는 방법을 통해 변동성의 증가와 피실험자의 건강 상태와의 관련성을 밝히는 연구를 수행할 수 있음.

# 다. 타 연구에의 응용

## (1) 재실자 일상생활 활동 정보 기반 스마트 홈 디자인

- 고령자 맞춤형 주거공간 설계 시 본 과제의 디바이스 프리 센싱 환경 및 고령자 일상생활 활동 모니터링 환경을 조성하도록 미리 고려할 수 있음.
- 고령자 및 재실자 응급상황에 대응 가능한 주거환경 구축 기술 개발에 활용할 수 있음.
- 사용자 중심의 건축환경 구성 (주거공간 뿐 아니라 사무공간 등으로의 확장)을 위한 기반 기술로서 삶의 질 개선에 기여함.
- 재실자 특성 (연령, 생활패턴 등)을 고려한 공간활용 플랫폼 구축의 요소기술 개발에 활용 가능함.

## (2) 독거 고령자 건강상태 진단 관련

- 다수의 독거 고령 피실험자 중 노인성 질환을 가진 환자군과 건강한 정상군을 모집하여 장기 일상생활 활동 모니터링을 실시하고 변동성 정도를 비교하여 본 연구의 개발 방법이 노인성 질환의 조기 진단에 기여할 수 있음을 확인 가능함.
- 사용자 중심의 일상생활 활동 모니터링 시스템을 구축하고 재실자에게 일상생활 활동 관련 정보를 피드백함으로써 맞춤형 건강관리 서비스를 제공 가능함.



## 붙임. 참고문헌

- Blankevoort, Christiaan G., Marieke JG Van Heuvelen, Froukje Boersma, Helga Luning, Jeltsje De Jong, and Erik JA Scherder. (2010). "Review of Effects of Physical Activity on Strength, Balance, Mobility and ADL Performance in Elderly Subjects with Dementia." *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 30(5), pp.392-402.
- Cooper, James K., Dan Mungas, and Philip G. Weiler. (1990). "Relation of Cognitive Status and Abnormal Behaviors in Alzheimer's Disease." *Journal of the American Geriatrics Society*, 38(8), pp.867-870.
- Cummings, Jeffrey L., Michael Mega, K. Gray, Susan Rosenberg-Thompson, Daniela Anne Carusi, and Jeffrey Gornbein. (1994). "The Neuropsychiatric Inventory Comprehensive Assessment of Psychopathology in Dementia." *Neurology*, 44(12), pp.2308-2308.
- Ditzler, K. (1991). "Efficacy and Tolerability of Memantine in Patients with Dementia Syndrome. A Double-Blind, Placebo Controlled Trial." *Arzneimittel-Forschung*, 41(8), pp.773-780.
- Huo, H., Xu, Y., Yan, H., Mubeen, S., & Zhang, H. (2009). "An elderly health care system using wireless sensor networks at home." *In 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, IEEE*. pp. 158-163.
- Hussain, A., Wenbi, R., da Silva, A. L., Nadher, M., and Mudhish, M. (2015). "Health and emergency-care platform for the elderly and disabled people in the Smart City." *Journal of Systems and Software*, 110, pp. 253-263.
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K., & Rockwood, K. (2001). "Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons." *Archives of neurology*, 58(3), pp.498-504.
- Lehrner, J., R. Kalchmayr, W. Serles, A. Olbrich, E. Patariaia, S. Aull, J. Bacher, et al. (1999). "Health-Related Quality of Life (HRQOL), Activity of Daily Living (ADL) and Depressive Mood Disorder in Temporal Lobe Epilepsy Patients." *Seizure*, 8(2), pp.88-92.
- Levy, R. (1994). "Aging-associated cognitive decline." *International Psychogeriatrics*, 6(1), pp. 63-68.
- Lopez, Oscar L., Stephen R. Wisniewski, James T. Becker, François Boller, and Steven T. DeKosky. (1999). "Psychiatric Medication and Abnormal Behavior as Predictors of Progression in Probable Alzheimer Disease." *Archives of Neurology*, 56(10), pp.1266-1272.
- Mega, Michael S., Jeffrey L. Cummings, Tara Fiorello, and Jeffrey Gornbein. (1996). "The Spectrum of Behavioral Changes in Alzheimer's Disease." *Neurology*, 46(1), pp.130-135.
- Ray, P. P. (2014). "Home Health Hub Internet of Things (H 3 IoT): An architectural framework for monitoring health of elderly people." *In 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research, IEEE*. pp. 1-3.
- Saha, S., Pal, M., Konar, A., and Janarthanan, R. (2013). "Neural network based gesture recognition for elderly health care using kinect sensor." *In International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, Springer*. pp. 376-386.
- Zhang, Jin, Bo Wei, Wen Hu, and Salil S. Kanhere. (2016). "Wifi-Id: Human Identification Using Wifi Signal." *In Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2016 International Conference, pp.75-82.
- 고경화 (2011). "고령친화산업 현황 및 전망", *고령친화산업 REPORT*, 한국보건산업진흥원.

- 대한상공회의소 (2015). “실버산업에 대한 기업의 대응실태와 시사점 연구” .
- 박정아, 양동석, 윤영호 (2011). “헬스케어 기반의 고령친화적 스마트 홈 모델 구상” , 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계, 31(1), pp.87-88.
- 소비자안전국 위해정보팀 (2010). *고령자 안전사고 유형별 실태 조사; 위해정보 심층 분석을 중심으로*.
- 이영주, 이주희, 나지영 (2015). “노인의 스마트 홈 헬스케어 이용 경험” , *한국콘텐츠학회논문지*, 15(15), pp.414-425.
- 이재순, 고아라, 박환용 (2011). “헬스케어 기반의 고령친화적 스마트홈을 위한 가이드라인 비교” , 대한건축학회 학술발표대회 논문집-계획계, 31(1), pp.163-164.
- 이현심, 신지현 (2014). “노인안전사고 실태와 예방” , *한국시큐리티융합경영학회지*, 3(2), pp.25-42.
- 중앙치매센터 (2016). *대한민국 치매현황 2016*.
- 최봉문, 조병호, 박환용 (2013). “고령자 중심의 헬스케어 도입을 위한 관련 법제도 개선방안” , *한국콘텐츠학회논문지*, 13(7), pp.203-213.
- 최상만 (2013). “국내 스마트홈 시장 현황분석 및 활성화 방안” , 한국스마트홈산업협회.
- 통계청 (2015). *2015 고령자 통계*.
- 통계청 (2016). *장래인구추계*.

## 뒷면지

### 주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.