2024 한양대학교

# SW/ICT/AI 종합학술대회

[분야 : 산학연구개발/연구인턴]

제목: 인공지능 기반 4자유도 상지 재활 로봇의 제어 및 사용자 보조 알고리즘

최수연(21학번), 서하은(21학번), 서민주(24학번)

2024. 11. 21

한양대학교 ERICA 소프트웨어융합대학 / 한양대학교 ERICA SW중심대학사업단

# ‘재활 로봇을 위한 인공지능 기반 사용자 보조 알고리즘’

HEXAR




<헥사휴먼케어의 4자유도 상지재활로봇 U30A>

건강한 사람들로부터 데이터를 수집한 데이터로 **인공지능 제어 모델을 수립하여 휴먼라이크한 궤적을 생성**하고 이 궤적을 바탕으로 **사용자의 목표 위치를 실시간으로 생성해주는 AAN 기반 궤적 제어 시스템을 개발**하는 **AI 기반의 상지 재활 로봇 프로젝트**로 교내 산학연협력단에 위치한 **헥사휴먼케어**와의 산학과제로 진행하였습니다.

## 02. 작품 구성

개발배경 / 목표 시스템

**Human - like**

### ‘로봇이 아닌 사람 중심의 움직임’

현재 재활 로봇은 사람이 아닌 로봇에게 편한 자세를 기반으로 동작하여 사용자는 재활운동 중에 어색하거나 불편함을 느끼는 문제가 있음. 따라서 실제 건강한 사람의 다양한 동작 데이터를 수집하여 재활로봇이 **인공지능 기반의 자연스러운 Human-like 궤적을 따라가도록** 하는 시스템을 목표로 함.

**Trajectory control**

### ‘실시간 상태를 고려하여 유동적으로 궤적 제어’

환자 개개인을 고려하지 않고 수동적인 운동을 기반으로 하는 로봇 재활은 환자의 능동성을 낮추고 뇌 가소성 회복에 도움을 주지 못해 치료의 효율성이 떨어짐. 따라서 실제 재활 치료사처럼 **환자와의 상호작용을 고려하여 목표 위치를 실시간으로 생성해주는 AAN 기반의 제어 시스템**을 목표로 함.

## 03. 개발 세부 내용

인공지능 기반 Human - like 제어

### 학습 데이터 수집 및 전처리

# 296,754 samples

상지재활로봇 U30A를 사용하여 3번에 걸쳐 총 20명의
피험자로부터 약 1211 Set(296,754 Samples) 데이터수집

피험자는 18가지 동작을 최소 5번씩 수행하고 운동 수행 중에
로봇에 부착된 센서를 통해 초당 30회의 Sampling rate로,
각 Joint 별 힘, 토크, 각도 및 End-effector의 위치 데이터 측정



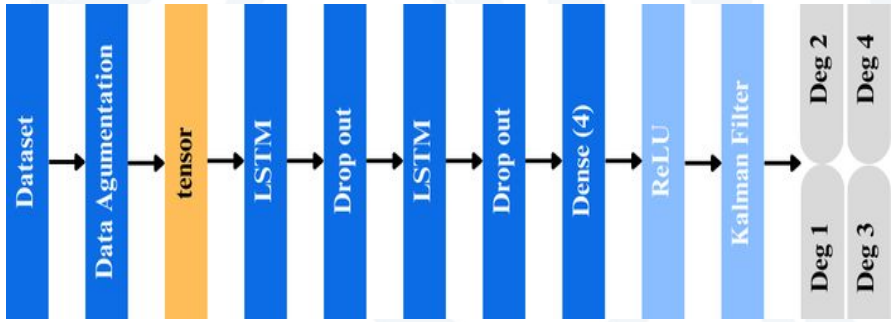
<재활운동 동작데이터 수집. (좌) 시계방향 작은 원 운동, (중) 좌측 수직 운동, (우) 하단 수평 운동>

### 데이터 학습

# Time Series Learning

수집한 데이터는 각 시점의 Deg 값의 차분 값 등을 고려하고,
로봇의 Constraint 값을 고려하여 음수 범위를 처리하여 전처리

전처리 이후 데이터는 시계열 학습 중 LSTM 모델을 사용하여 학습 후
예측된 Deg 값에 Kalman Filter를 적용하여 최종 Deg 값을 추출



## 03. 개발 세부 내용

AAN 기반 궤적 제어 시스템

### 사용자 보조 알고리즘 구현

# AAN algorithm

---

궤적 예측 인공지능을 통해 계산된 각도(Degree)값들을 목표 궤적으로 설정, 초기 현재 위치와 궤적이 속한 각 지점 간의 유클리드 거리 계산 후, 최솟값을 가지는 지점을 목표로 지정하고 진행 상황을 고려해 다음 지점 업데이트

$$d_i = \|x_{current} - p_i\|$$
$$x_{target} = \arg\min_{p_i \in P} d_i$$

<초기 지점 거리 비교>

시뮬레이션 상에서 목표 궤적을 잘 따라가는지 검증을 진행한 후, 로봇에 적용하여 실시간으로 로봇으로부터 각 관절 각을 받아오고 계산된 관절 각을 보내며 필요한 경우에만 수행하는지 확인함

$$total\ length = \sum_{i=1}^{N} \text{distance}(\deg_{i-1}, \deg_i)$$
$$cumulative\ distance = \sum_{j=1}^{i} \text{distance}(\deg_{j-1}, \deg_j)$$
$$target\ progress = \left(\frac{cumulative\ distance}{total\ length}\right) \times 100$$

<진행률 계산>

**헥사휴먼케어 내부의 통신 프로토콜을 사용해 deg(관절각)값을 실시간으로 주고 받음.

## 04. 구현 결과

인공지능 기반 Human - like 제어

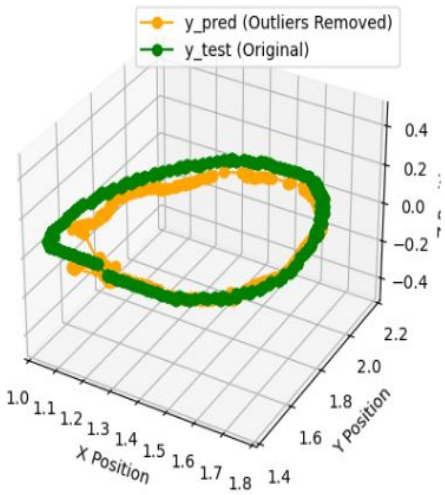
### End-effector 예측 성능

# 96.95 %

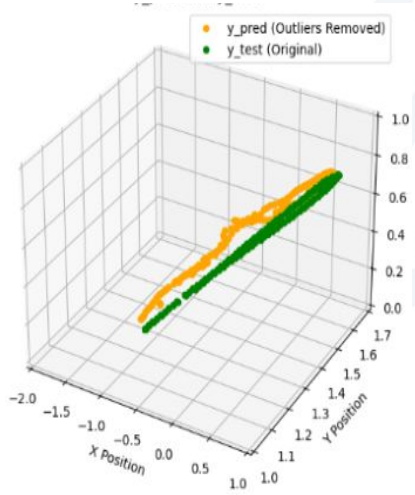
**시계/반시계 방향, 수직/수평 등의 18가지 동작의 End-effector 궤적을 실제 사람의 움직임**

**각 Joint의 예측 값과 실제 측정 값도 비교한 결과, 알고리즘의 예측 값이 실제 사람의 데이터와 매우 일치함을 확인**

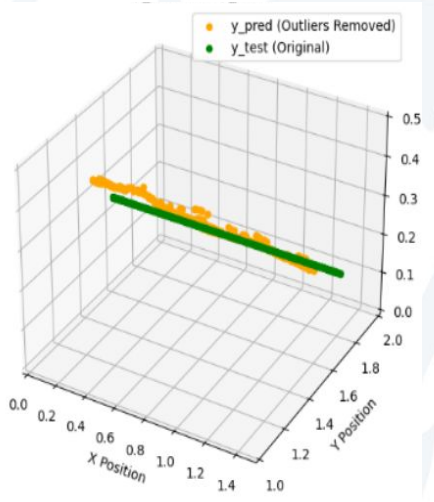
<원 운동>




<대각선 운동>



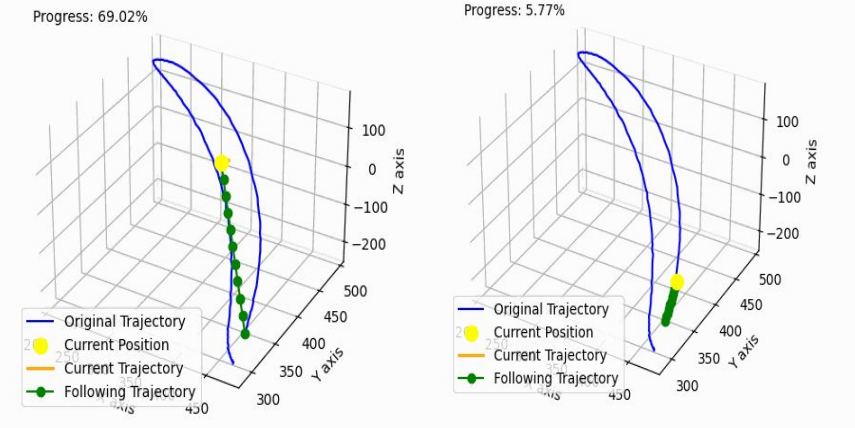

<수평 운동>



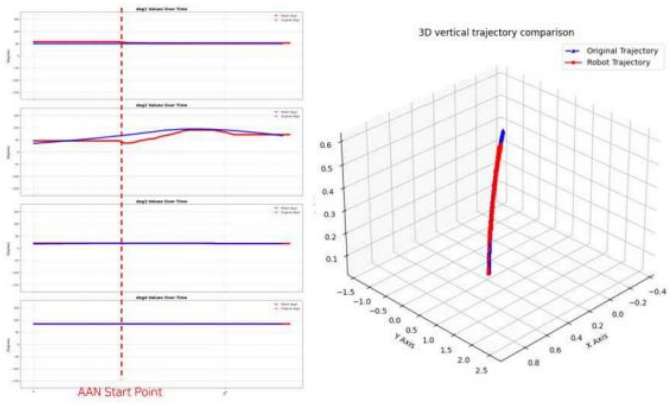

<End-effector의 궤적. 목푯값: 초록색 궤적, 예측 값: 노란색 궤적>

## 04. 구현 결과

AAN 기반 궤적 제어 시스템




<시뮬레이션 End-effector 궤적 >




<로봇 deg 오차(좌), End-effector 궤적(우) >

**End-effector 궤적 오차**

# 0.62cm 이내

로봇과 실시간 통신을 통해 현재 위치의 각도 값을 받아오고 로봇의 진행 상황에 따라 로봇에 목표 각도 값을 전송

세가지 상황에서의 테스트 결과, 사용자의 힘 방향이 목표에서 벗어나더라도 목표 궤적을 잘 따라가도록 제어함을 확인 (외력이 가해지지 않은 경우, 사람의 팔 무게와 비슷한 1kg의 추가 달린 경우, 반대 방향으로의 외력이 가해지는 경우)

## 05. 기대 효과

**인공지능 기반의 AAN 제어를 통한**
**재활 로봇 치료의 효율성 증대**

# AI 기반 재활 로봇

**01** 인공지능 모델을 통해 Human - like한 움직임을 적용하여
**사용자가 어색하거나 불편함을 느끼지 않는 재활 로봇 치료**

**02** 실제 재활 치료처럼 움직임을 잘 수행하지 못하는 경우에
**실시간으로 궤적을 제어해 환자 개개인을 맞춤형으로 보조함**

**03** 하지재활 및 더 복잡한 자유도의 재활로봇에서의 적용과
정형화되지 않은 자유 궤적으로의 확장을 통한 상용화 가능성