

# IMU를 활용한 모듈형 손 모양 인식 장치 개발

## IMU-Based Modular Hand Recognition System

16-060 원선재, 16-077 이원준, 16-083 이진원 | 지도교수 KAIST 김경수, 조교 KAIST 정석환

### Introduction

#### 연구 배경 및 목적

-VR, 드론 등 3차원 공간 내의 제어 기술 발달  
-입력 장치의 더딘 발달이 기술의 사용을 제한  
-손 모양 자체를 이용해 입력  
→ 보다 직관적이고 세밀한 조작 가능

편리성, 정확성, 범용성  
중심으로 하는  
손 모양 인식 장치 개발

### Theory & Method

#### 입력 장치

##### 디바이스

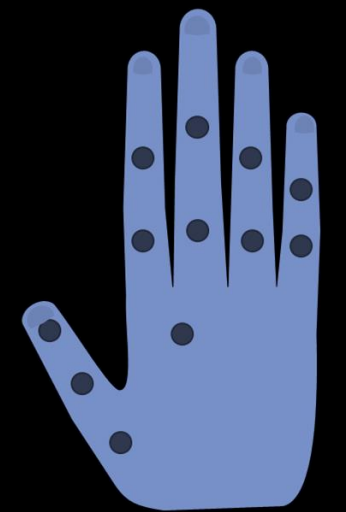
##### 구성 부품

센서 | Adafruit LSM9DS0 Flora  
IC 멀티플렉서 | TCA9548A  
주연산장치 | Arduino Mega 2560

##### 회로 구성 및 센서 배치

##### 센서 배치

$\theta_{DIP} = \frac{2}{3} \times \theta_{PIP}^{[5]}$   
- 각 손가락의 DIP회전각 연산  
- 한 손가락 당 두 개의 센서  
- 예외  
- 기존 센서는 손등에 부착  
: 총 3+2×4+1=12개 사용  
: 우측 그림과 같이 배치

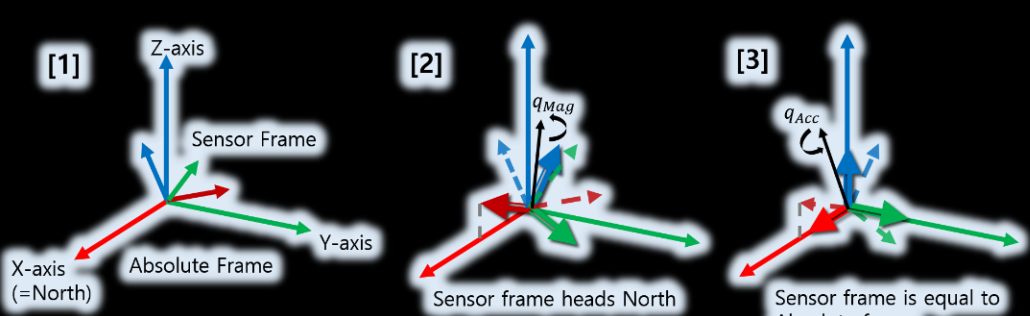


##### 내장 소프트웨어

##### 쿼터니언(Quaternion)

쿼터니언 | 벡터의  $i, j, k$  형, 스칼라 항  $w$ 로 이루어진 수  
단위 쿼터니언 | 크기가 1인 쿼터니언

벡터 회전 표현 시 사용  
센서의 기울기는  $q_{Mag} \times q_{Acc}$ 로 표현 가능하며 다음과 같음



$$q_{Acc} = \begin{cases} \left[ \sqrt{\frac{a_x+1}{2}}, -\frac{a_y}{\sqrt{2(a_x+1)}}, \frac{a_z}{\sqrt{2(a_x+1)}} \right]^T, a_x \geq 0 \\ \left[ \sqrt{\frac{a_x+1}{2}}, -\frac{a_y}{\sqrt{2(a_x+1)}}, \frac{a_z}{\sqrt{2(a_x+1)}} \right]^T, a_x < 0 \end{cases}$$

$$q_{Mag} = \begin{cases} \left[ \sqrt{\frac{l_x+l_y\sqrt{l_x^2+l_y^2}}{2}}, 0, 0, \frac{l_y}{\sqrt{2}\sqrt{l_x^2+l_y^2}} \right]^T, l_x \geq 0 \\ \left[ \frac{l_y}{\sqrt{2}\sqrt{l_x^2+l_y^2}}, 0, 0, \frac{l_x-l_y\sqrt{l_x^2+l_y^2}}{\sqrt{2}} \right]^T, l_x < 0 \end{cases}$$

##### 칼만 필터(Kalman Filter)

##### 칼만 필터:

센서의 출력에서 노이즈를 제거하기 위해 사용

$$\begin{aligned} \hat{x}_k^- &= A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \\ P_k^- &= AP_{k-1}A^T + Q \\ \hat{x}_k &= \hat{x}_k^- + K_k(y_k - H\hat{x}_k^-) \\ P_k &= (I - K_kH)P_k^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_k &= \begin{bmatrix} q_1 & q_2 & q_3 & q_4 \\ q_1' & q_2' & q_3' & q_4' \end{bmatrix}_k, z_k = Hx_k + v_k \\ A &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\Delta t \end{pmatrix}, B = \Delta t \\ Q &= \begin{pmatrix} Q_\theta & 0 \\ 0 & Q_{\theta_b} \end{pmatrix} \Delta t \\ u_k &= q_k, q_{\theta_b,k} = -\frac{1}{2}\omega_{q,k}q_{t,k-1} \end{aligned}$$

##### 소프트웨어

- Unity 기반 3D 모델 시뮬레이터 개발  
- C# 기반으로 직접적인 Windows 입력 장치로 발전 가능

##### 시각화

- 시리얼 통신을 통해 각 센서의 쿼터니언 정보 수신  
- PIP 회전각의 2/3에 해당하는 각도를 돌도록 DIP 회전 쿼터니언 생성 및 지정  
- 각 관절은 Unity 내장함수로 해당 쿼터니언만큼 회전

##### 특정 손 모양 인식

##### 손 모양 코드

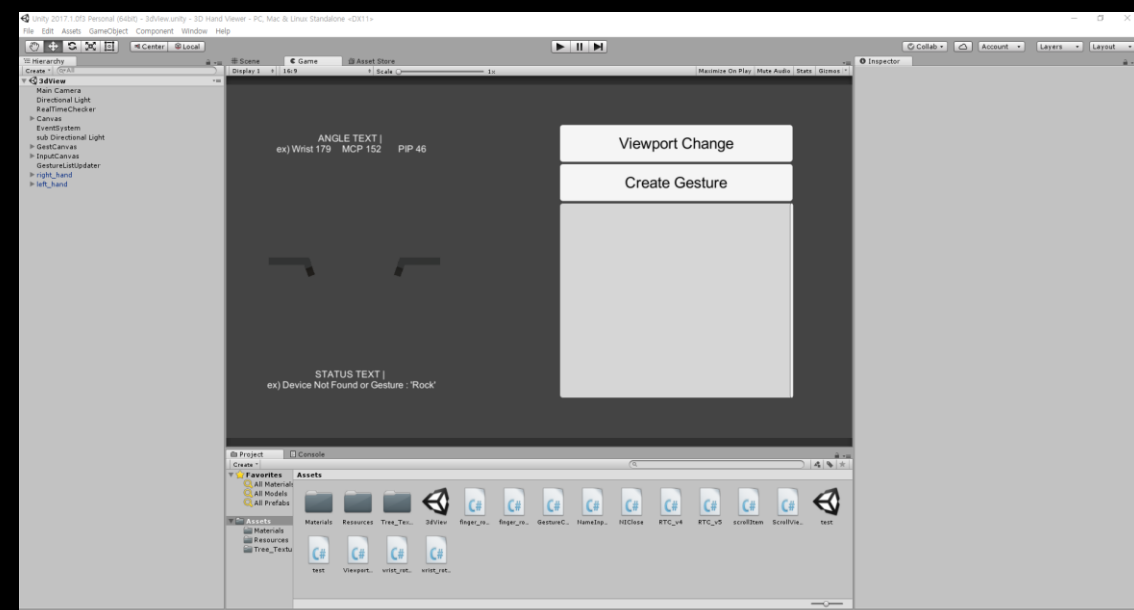
설정된 각 손가락 마디 길이를 기준으로 각 주요 관절의 3차원 좌표를 특정 형식으로 변형

##### 손 모양 등록

표준 값과 오차 범위를 나타내는 16진수로 구성  
- 표준 값 | 누적된 손 모양 코드의 평균값  
- 오차 범위 | (손 모양 코드의 표준편차 + 0.5)  
다음의 경우 등록할 수 없음  
1. 기존에 등록된 손 모양과 유사한 경우  
2. 측정된 오차 범위가 일정 기준보다 큰 경우

##### 손 모양 인식

각 시점의 손 모양을 통해 코드를 생성, 이 코드가 등록된 손 모양 코드의 오차 범위에 포함되면 인식

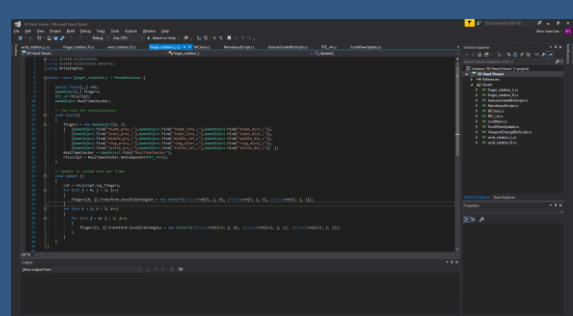
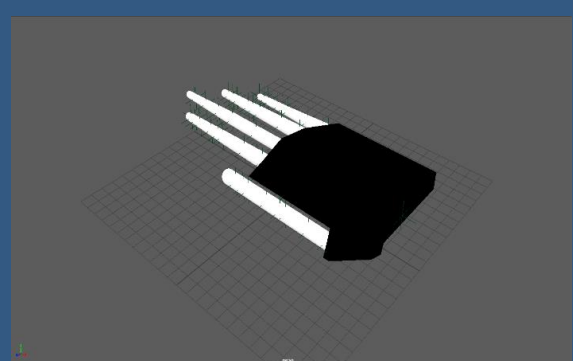
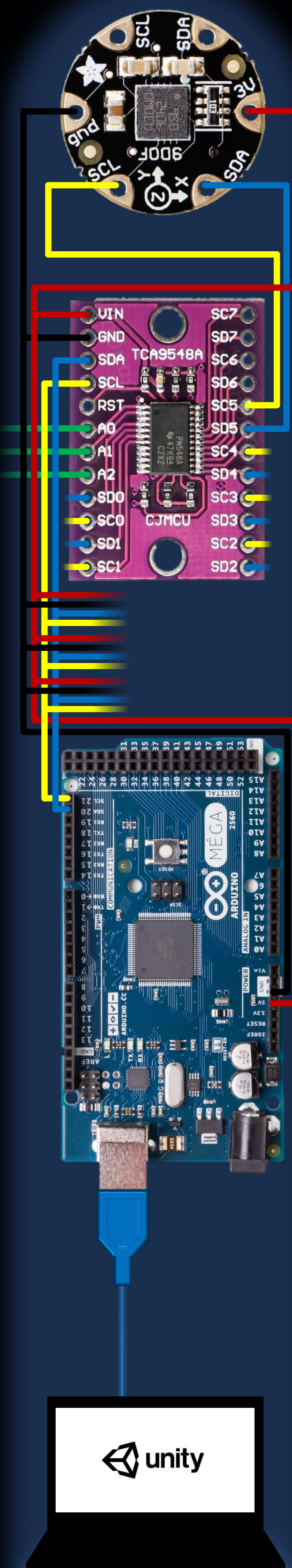


##### 실험

- 실험의 대조군은 연구원이나 대학 연구실에서 일반적으로 쓰이는 5DT Data Glove 5 Ultra로 설정하였다.

##### 관절 회전각 측정

목적 | 손가락이 구부러진 정도와 각 기기가 인식한 각도를 측정해 정확도를 비교  
표준 | 검정: 촬영이 용이, 다른 손가락의 영향이 최소  
방법 | 세 가지 각도에 대해 두 기기를 각각 착용 후 실험 진행  
- 실제 회전각 측정  
- 촬영 후 이미지 분석을 통해 각 관절의 좌표를 통해 관절의 회전 각도 측정  
- 5DT Data Glove 5 Ultra  
- 자체 제공 소프트웨어 화면을 캡처 후 이미지 분석을 통해 각 관절의 좌표를 기반으로 측정  
- 개발한 기기  
- Unity에서 각 마디 모델을 회전시킨 회전각을 추출



### Result & Discussion

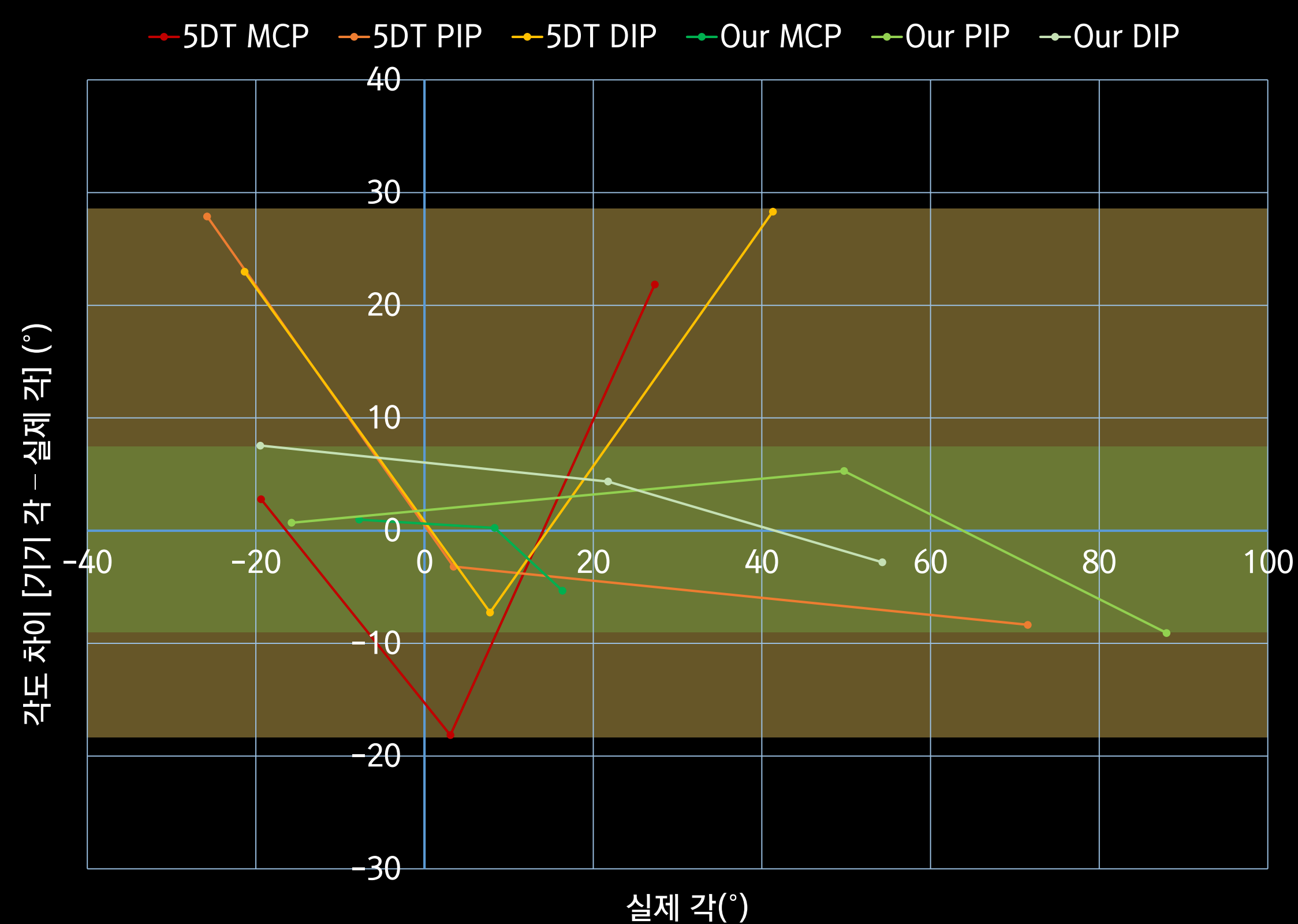
#### 실험 결과 비교 및 분석

##### 관절 회전각 측정

5DT Data Glove 5 Ultra	MCP		PIP		DIP	
	실제 각(°)	기기 각(°)	실제 각(°)	기기 각(°)	실제 각(°)	기기 각(°)
1	27.30	49.15	71.54	63.19	41.31	69.62
2	3.06	-15.07	3.44	0.25	7.77	0.52
3	-19.39	-16.60	-25.79	2.09	-21.35	1.62

Our Device	MCP		PIP		DIP	
	실제 각(°)	기기 각(°)	실제 각(°)	기기 각(°)	실제 각(°)	기기 각(°)
1	16.34	11.02	49.74	55.04	21.76	26.12
2	8.31	8.56	87.99	78.92	54.29	51.49
3	-7.75	-6.76	-15.77	-15.06	-19.48	-11.93

#### Difference of Angle



### Conclusion & Prospect

#### 결론

반지 형태의 클립형 모듈로 구성되어 착용의

편의성

IMU로 손가락의 회전각을 측정하여

정확성

모듈 구조로 특정 부분만 활용할 수 있게 함으로써

범용성

#### 전망

- 3차원 정밀 조작에 이용 가능
- 자연스러운 손 모양 데이터 수집
- 새로운 입력 인터페이스

#### 향후 과제

- 선형 가속도의 영향 보정
- 착용의 편리성 위한 장착 방식 변형
- 실제 입력 장치로의 소프트웨어 개발

### Reference

- [1] Bachmann, D., Weichert, F., Rinkenauer, G. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors* 15(1), 214-233. (2015)
- [2] Sturman, D.J., Zeltzer, D. A survey of glove-based input. *IEEE Computer Graphics and Applications* 14(1), 30-39. (1994)
- [3] Ozyagcilar, T. Implementing a tilt-compensated eCompass using accelerometer and magnetometer sensors. *Freescall Semiconductor Application Note*, rev 3. (2012)
- [4] Valenti, R.G., Dryanovskii, I., Xiao, J. Keeping a good attitude: A quaternion-based orientation filter for IMUs and MARGs. *Sensors* 15(8), 19302-19330. (2015)
- [5] Rijpkema, H. & Girard, M. Computer animation of knowledge-based human grasping. *ACM Siggraph Computer Graphics* 25(4) 339-348. (1991)
- [6] Su, Z., Yang L., Kong Q. Quaternion Kalman filter design based on MEMS sensors. *Advanced Science and Technology Letters* 76, 93-97. (2014)
- [7] Kim, A., Golnaraghi, M. F. A Quaternion-based orientation estimation algorithm using an inertial measurement unit. *PLANS 2004*, 268-272. (2004)