



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 논문

댄서의 군무에 활용 가능한
동작 인식 웨어러블 디바이스 개발

Development of Motion Recognition Wearable Device
for Dancer's Group Dance



국민대학교 일반대학원

융합디자인테크놀로지학과

융합전자/소재/컴퓨터전공

이 나 영

2018

댄서의 군무에 활용 가능한 동작 인식 웨어러블 디바이스 개발

Development of Motion Recognition Wearable Device
for Dancer's Group Dance

지도교수 김 기 두

이 논문을 석사학위 청구논문으로 제출함

2019년 08월

국민대학교 일반대학원

융합디자인테크놀로지학과

융합전자/소재/컴퓨터전공

이 나 영

2018

이나영의

석사학위 청구논문을 인준함

2019년 08월



심 사 위 원 장 박 영 일 ⑨

심 사 위 원 김 기 두 ⑨

심 사 위 원 오 정 현 ⑨

국민대학교 일반대학원

목 차

목차.....	i
그림 목차.....	iii
표 목차.....	v
국문 요약.....	vi
제 1 장 서론.....	1
제 2 장 이론적 고찰.....	3
2.1. 동작 인식기술과 응용.....	3
2.2. 동작 인식 센서와 각도 추정.....	6
2.2.1. 가속도 센서의 각도 추정.....	8
2.2.2. 자이로 센서의 각도 추정.....	10
2.2.3. 단일 센서에서 각도 추정의 오차.....	10
2.3. 동작 인식 방법.....	14
2.3.1. 상보 필터.....	14
2.3.2. 칼만 필터.....	18
2.3.3. 쿼터니언.....	22
2.4. 동작 인식 방법 비교.....	27
제 3 장 동작 인식 실험.....	33
3.1. 실험 구성.....	33
3.2. 실험.....	35
3.2.1. 테스트 동작.....	35
3.2.2. 댄서의 동작.....	40
3.3. 실험 결과.....	42

제 4 장 웨어러블 디바이스 개발.....	44
4.1. 적용 시나리오.....	44
4.2. 시스템 설계.....	45
4.3. 의상 설계.....	47
4.4. 결과.....	51
제 5 장 결론.....	54
참고문헌.....	56
Abstract.....	60



그림 목차

그림 2.1 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 착용 위치별 분류 그래프.....	5
그림 2.2 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 응용방법별 분류 그래프.....	5
그림 2.3 센서의 축별 각도 표시.....	7
그림 2.4 pitch(θ) 값을 구할 때 가속도 센서의 출력.....	8
그림 2.5 가속도 센서를 이용해 각도를 측정할 때 오류가 생기는 경우[25].	11
그림 2.6 서보모터에 부착한 센서로 측정한 가속도, 자이로 값으로 계산한 roll 값.....	12
그림 2.7 상보 필터의 블록선도.....	15
그림 2.8 가속도 센서, 자이로 센서, 상보 필터를 이용해 구한 roll 값....	17
그림 2.9 가속도 센서, 자이로 센서, 칼만 필터를 이용해 구한 roll 값....	20
그림 2.10 짐벌(Gimbal)의 회전 운동(좌)과 짐벌락 상태(우)[31].....	22
그림 2.11 쿼터니언의 예[32].....	23
그림 2.12 가속도 센서, 자이로 센서, DMP의 쿼터니언을 이용해 구한 roll 값을 나타내는 그래프.....	25
그림 2.13 상보 필터, 칼만 필터, DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 roll 값 을 나타내는 그래프 (서보모터값 = $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$).....	27
그림 2.14 상보 필터, 칼만 필터, DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 roll 값 을 나타내는 그래프 (서보모터값 = $0^{\circ} \sim -180^{\circ}$).....	29
그림 2.15 자이로 센서와 DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 yaw 값.....	31
그림 3.1 테스트 동작 실험 회로도.....	33

그림 3.2	댄서의 동작 실험 회로도	34
그림 3.3	뒤에서 보았을 때 모듈의 축과 테스트 동작	36
그림 3.4	손목 위치에 따른 3가지 동작의 뒷모습 이미지	36
그림 3.5	동작 1의 속도별 각도 변화량	37
그림 3.6	동작 2의 속도별 각도 변화량	38
그림 3.7	동작 3의 속도별 각도 변화량	38
그림 3.8	동작 별 각도 변화량	39
그림 3.9	오른손 디바이스로 측정한 값	41
그림 3.10	왼손 디바이스로 측정한 값	41
그림 4.1	시나리오 ①	44
그림 4.2	시나리오 ②	44
그림 4.3	시스템 구성도	45
그림 4.4	디바이스의 구성	46
그림 4.5	디바이스 모습	46
그림 4.6	설계에 사용한 의상	48
그림 4.7	의상에 배치하는 디바이스 투영도	49
그림 4.8	디바이스를 손목에 부착한 모습	50
그림 4.9	완성된 웨어러블 디바이스	51

표 목차

표 2.1 사용자 인터페이스에 따른 장·단점에 분석	3
표 2.2 센서로 측정한 각도의 장·단점	13
표 2.3 상보 필터와 칼만 필터의 차이점	21
표 2.4 쿼터니언의 장·단점	26
표 2.5 그림 2.13에서 필터 오차의 평균	28
표 2.6 그림 2.14에서 필터 오차의 평균	30
표 2.7 필터의 장·단점 비교	32
표 3.1 댄서의 동작 이미지	40
표 3.2 댄서의 동작 실험 결과	43
표 4.1 선택 요소로 선정한 의상	48
표 4.2 완성된 웨어러블 디바이스의 동작별 LED 색상 변화 모습	52



국문 요약

댄서의 군무에 활용 가능한 동작 인식 웨어러블 디바이스 개발

이 나 영

융합디자인테크놀로지학과 융합전자/소재/컴퓨터전공
국민대학교 일반대학원

최근 4차 산업혁명의 관심이 증가하면서 핵심 기술들의 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 다양한 분야와 정보통신기술(Information & Communication Technology, ICT)의 융합에 관심과 연구가 증가하고 있다. 이러한 융합의 결과물 중 하나인 웨어러블 디바이스의 궁극적인 목표는 사용자가 거부감 없이 신체 일부처럼 항상 착용하고 사용할 수 있고, 인간의 능력을 보완하거나 배가시키는 것이다. 기술이 발전해가면서 공연예술 분야 또한 발전하고 있다. 공연예술이 가지고 있는 미디어 인터랙티브리티의 주요 특성 가운데 하나인 다른 장르, 다른 미디어의 인터페이스를 병합 및 응용해 온 것이다.

본 논문에서는 댄서들이 무대에서 시각적 퍼포먼스로 활용 가능한 동작 인식 웨어러블 디바이스를 개발하였다. 이에 동작 인식기술과 관련된 상보 필터, 칼만 필터, 쿼터니언을 살펴보고 실험하여 웨어러블 디바이스에 사용하기 적합한 필터를 선정하여 동작에 대한 실험을 진행하였다. 그리고 이를 이용하여 웨어러블 디바이스를 설계하고 제작하였다.

주제어: 동작 인식, 자이로 센서, 가속도 센서, 쿼터니언, 댄싱, 무대, 퍼포먼스, 웨어러블 디바이스

제 1 장 서론

제 4차 산업혁명의 핵심 기술인 빅 데이터(Big Data), 인공지능(Artificial Intelligence, AI), 로봇공학(Robot Engineering), 사물인터넷(Internet of Thing, IoT), 양자암호(Quantum Cryptography) 등이 주목받고 있다. 제 4차 산업혁명의 가장 큰 특징은 ‘초연결성(Hyper-Connected)’, ‘초지능화(Hyper-Intelligent)’라고 볼 수 있고, 이를 통해 ‘모든 것이 상호 연결되고 보다 지능화된 사회로 변화’되는 것이다. 이미 우리 사회는 제 4차 산업혁명으로 진입하였고 이에 따라 다양한 분야와 정보통신기술(Information & Communication Technology, ICT)의 융합에 관심과 연구가 증가하고 있다.^[1]

이러한 융합의 결과물 중 하나인 웨어러블 디바이스(Wearable Device)는 시계, 안경, 의류 등 착용하는 것에 IT(Information Technology) 기술을 융합한 첨단제품으로 주요 IT 기업들이 미래 혁신 분야로 웨어러블 기기 시장 진출을 확대하고 있다.^[2] 웨어러블 디바이스의 궁극적인 목표는 사용자가 거부감 없이 신체 일부처럼 항상 착용하고 사용할 수 있고, 인간의 능력을 보완하거나 배가시키는 것이다. 현재 액세서리형^[3], 의류형, 신체부착 및 생체이식형 등 다양한 형태의 제품들로 나타나고 있고 점차 신체에 근접하는 방향으로 진화되어가고 있다. 그리고 관련된 다양한 핵심 기술들도 연구되고 있다.^[4]

기술이 발전해가면서 공연예술 분야 또한 발전하고 있다. 공연예술은 다른 장르, 다른 미디어의 인터페이스를 병합 및 응용해 왔고 이는 공연예술이 가지고 있는 미디어 인터랙티비티(interactivity)의 주요 특성 가운데 하나이다.^[5] 실제 배우, 공연 영상 등의 기술이 융합되어 서로 인터랙티브하게 역동적인 퍼포먼스를 다루는 다양한 형태의 공연들이 나타나고 있다.^[6]

본 논문에서는 공연예술 분야에서 사용하는 웨어러블 디바이스를 제안하였다. 공연이라는 환경에서 효과적으로 전달할 수 있는 시각적인 부분을 이용하고자 했고 사용자(배우, 댄서)의 동작에 맞춰 시각적인 효과를 표현하고자 하였다. 즉, 동작 인식 웨어러블 디바이스를 구현하고 구현한 디바이스는 사용자의 동작에 맞춰 RGB LED(Red Green Blue Light Emitting Diode)의 빛과 밝기를 변경하여 퍼포먼스를 보여주고자 한다. 또한, 이는 댄서의 의상에 사용하여 댄서들의 시각적 퍼포먼스에서의 요소로 사용할 수 있는 방법을 제시한다.

2장에서는 이론적 고찰을 통해 가속도 센서와 자이로스코프를 사용하여 각도를 구하는 계산 방법과 앞서 구한 센서값과 각도 값들을 이용하여 정확한 각도 값을 유추하고 계산하는 방법들에 대해 고찰한다. 3장에서는 앞서 고찰한 사용자의 동작을 인식하는 방법을 이용하여 시스템을 구현하고 여러 동작 별로 실험을 진행하고 실험의 결과와 오류가 나는 원인을 분석한다. 4장에서는 앞서 구현한 시스템을 이용한 시나리오를 작성한 후에 웨어러블 디바이스를 설계하고 제작한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 제언한다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1. 동작 인식기술과 응용

MEMS(Micro Electromechanical System, 미세전자기계 시스템) 기술의 발전은 제품의 소형화, 저가격화, 고부가가치화가 가능해지도록 하고 있다.[7] 이로 인해 MEMS 동작 인식 센서들의 사용이 증가하면서 다양한 분야에서 동작 인식기술 사용이 증가할 것으로 전망되고 있다. 대표적으로 스마트폰, 태블릿, 웨어러블 순으로 많이 사용되고 있다.[8] 이러한 센서를 사용한 동작 인식기술은 주로 사용자 인터페이스(UI, User Interface) 기술, 즉, 동작을 통해 시스템 또는 컴퓨터 프로그램을 사용하기 위해서 사용되고 있다. 사용자 인터페이스 기술은 음성, 촉감, 시점, 제스처(동작 인식)로 나눌 수 있다. 표 2.1은 사용자 인터페이스에 따른 장단점과 응용 분야를 비교한 내용이다.[9]

표 2.1 사용자 인터페이스에 따른 장·단점에 분석[9]

사용자 인터페이스	장점	단점	응용 분야
음성기반	<ul style="list-style-type: none"> • 간단한 입출력 장치 이용 • 화자, 감정 정보 포함 	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 소음에 취약함 • 공공장소에서 사용하기 부적합함(프라이버시 보장이 어려움) 	<ul style="list-style-type: none"> • 음성-문자 변환기 • 음성 자동 주문 시스템 • 콜-센터
촉감기반	<ul style="list-style-type: none"> • 힘, 무게 반발력 체험 가능 • 반응이 시, 청각에 비해 빠름 	<ul style="list-style-type: none"> • 고가의 장치 • 고정형 	<ul style="list-style-type: none"> • 체험형 시뮬레이션(게임, 자동차, 비행기, 의료, 수술 재활 등)
시점기반	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자의 의도, 관심 파악에 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 고해상도의 카메라 • 주변 환경 변화에 영향을 받음 	<ul style="list-style-type: none"> • 거동이 불편한 사용자들을 위한 인터페이스
제스처기반	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 동작 표현 가능 • 다양한 표현 가능 • 적용 분야 다양함 	<ul style="list-style-type: none"> • 고가의 센싱 장비 • 주변 환경 변화에 영향을 받음 	<ul style="list-style-type: none"> • 영화, 게임, 애니메이션 등을 위한 모션 캡처

동작 인식기반 사용자 인터페이스 기술은 크게 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 먼저 비접촉식은 주로 카메라와 적외선 센서 등을 응용하여 사용자의 동작 데이터를 획득하는 방식이다. 이러한 비접촉식 동작 인식 디바이스의 응용은 대표적으로 애니메이션을 위한 모션 캡처를 대표적으로 꼽을 수 있다. 그리고 접촉식 동작 인식 디바이스는 장치를 이용하여 동작 데이터를 획득하는 방식으로 익히 익숙한 마우스, 터치스크린 그리고 웨어러블 디바이스도 이에 속한다.^[10] 이러한 접촉식 동작 인식기반 사용자 인터페이스 시스템에서 사용되는 센서는 관성측정장치(IMU: Inertial Measurement Unit)인 가속도계(Accelerometer)와 각속도 센서(자이로, 자이로스코프, Gyroscope) 외에도 지자기(Magnetometer) 센서, 근전도(EMG, Electromyography) 센서 등을 꼽을 수 있다.

접촉식 동작 인식 디바이스의 형태는 주로 웨어러블의 형태를 띠고 있는데 대표적으로 스마트 워치(smart watch)와 밴드 그리고 스마트 글라스(smart glasses)를 꼽을 수 있다. 동작 인식기술이 포함되어있는 웨어러블 디바이스의 국내외 특허의 출원수도 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 웨어러블 디바이스는 사용 방법에 따라 신체의 다양한 위치에 부착되어 사용되고 있다. 그림 2.1은 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 착용 위치별 분류 그래프로 신체에 부착되는 위치는 팔, 손목 부분(32%), 머리(27%) 순으로 가장 많은 것을 확인할 수 있다. 팔, 손목 부분은 사용자가 접근하기 쉬운 형태와 디자인이면서(워치, 밴드) 가장 운동변화량이 크기 때문에 동작 구분에 대해 가장 접근성이 높기 때문이다. 그림 2.2는 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 응용방법별 분류 그래프로 모션캡처&장치제어(24%), 운동&재활(20%) 순으로 가장 많이 제품들이 나오고 있다는 것을 볼 수 있다.^[11]

착용 위치별 분류

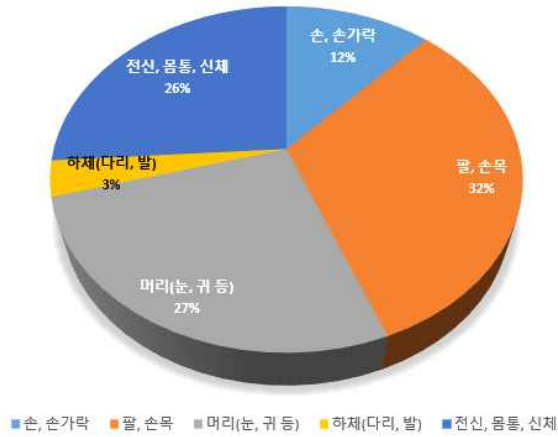


그림 2.1 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 착용 위치별 분류 그래프[11]

응용 방법별 분류

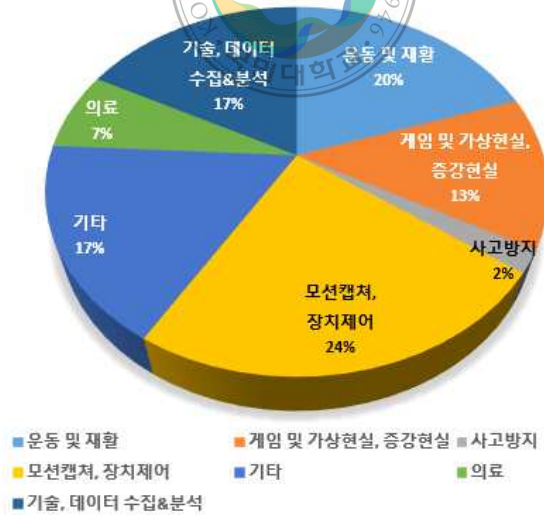


그림 2.2 접촉식 동작 인식 웨어러블 디바이스의 유효특허의 응용방법별 분류 그래프[11]

2.2. 동작 인식 센서와 각도 추정

본 장에서는 IMU인 가속도계(Accelerometer)와 각속도(자이로, 자이로스코프, Gyroscope) 센서를 이용하여 각도를 추정하고 같이 사용하는 이유에 관해 설명한다.

본 논문에서 사용된 모듈은 MPU-6050으로 자이로스코프와 가속도 측정이 가능한 6축 센서로 I2C(Inter Integrated Circuit) 통신 프로토콜을 통해서 데이터를 송수신한다. 6축 센서란 3축(x축, y축, z축) 공간상의 움직임을 인식하는 가속도계와 3축의 방향성을 감지하는 자이로스코프가 합쳐진 것을 의미한다. 그리고 자이로 센서는 코리올리의 힘을 측정하여 전기신호로 변환하고 힘에 대한 각속도를 계산하는 MEMS 센서이다.^[12] 코리올리 힘은 회전하는 물체에서 느껴지는 관성력을 뜻한다. 센서에서 가속도계의 값의 단위는 g(중력 가속도, $1g = 9.8m/s^2$)로 측정 범위는 $\pm 2g$ 이다. 자이로스코프의 측정 범위는 $\pm 250 [^\circ/s]$ 이다.

본 논문의 센서의 각도 표시는 그림 2.3과 같이 x축을 기준으로 회전한 각을 Roll(ϕ), y축을 기준으로 회전한 각을 Pitch(θ), z축을 기준으로 회전한 각을 Yaw(ψ)로 표시한다. 그리고 회전에 대해 오른손 법칙을 기준으로 설명한다. 이는 1)오일러 각(Euler's Angle)을 이용한 표시로 물체가 놓인 방향을 3차원 공간에 표시하기 위해 레온하르트 오일러(Leonhard Euler)가 도입한 세 개의 각도를 의미한다.^[13] 오일러 각은 직관적으로 표현되어 항공^[14-16], 차량^[17-20], 자세 추정^[21-23] 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

1) 오일러 각(Euler's Angle)은 레온하르트 오일러(Leonhard Euler)가 물체가 놓인 방향을 3차원 공간에 표시하기 위해 도입한 3개의 각도로 좌표계의 축에 대한 회전을 구성하여 얻게 되는 각이다.

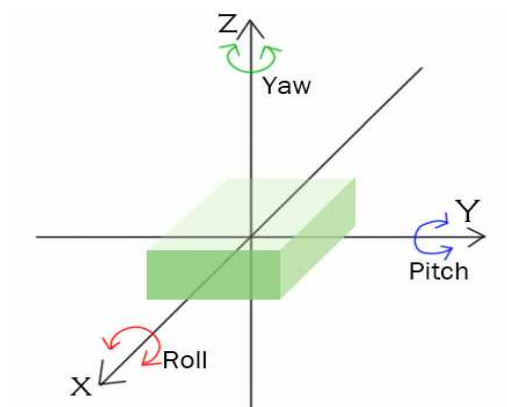


그림 2.3 센서의 축별 각도 표시



2.2.1. 가속도 센서의 각도 추정

가속도 센서는 중력 가속도 값을 포함한 물체의 가속도 값을 측정한다. 출력되는 값은 센서의 x, y, z 축의 벡터값으로 가속도 센서에 중력 가속도를 제외한 외부의 힘이 가해지지 않는다면, 중력 가속도 값은 각각의 벡터값을 합성하여 나타낼 수 있다. 그림 2.4는 pitch(θ) 값을 구할 때 가속도 센서의 출력을 나타낸 것으로 A_z 는 z축 가속도 값, A_x 는 x축 가속도 값을 나타낸다. 이를 삼각함수를 사용하여 식 (1)과 같이 각도를 유추할 수 있다^[24].

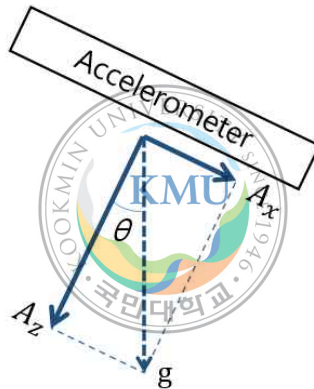


그림 2.4 pitch(θ) 값을 구할 때 가속도 센서의 출력

$$\theta(pitch) [\text{rad}] = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{A_z} \right) \quad (1)$$

이처럼 가속도에서 각도를 측정할 때 중력 가속도 g 를 이용하여 측정하기 때문에 각도의 변화는 지표면과 평행한 상태를 기준으로 pitch 값과 roll 값을 측정하게 된다. 이를 3차원 좌표계로 적용하면 식 (2), (3)과 같이 roll과 pitch 값을 구할 수 있다. 반면에 yaw 값은 z축의 회전각도로 중력 가속도와 방향이 일치하므로 구할 수 없다.

$$\varphi[rad] = \tan^{-1} \left(\frac{A_y}{\sqrt{A_z^2 + A_x^2}} \right) \quad (2)$$

$$\theta[rad] = \tan^{-1} \left(\frac{A_x}{\sqrt{A_z^2 + A_y^2}} \right) \quad (3)$$



2.2.2. 자이로 센서의 각도 추정

자이로 센서는 물체의 각속도 값($^{\circ}/s$)을 측정한다. 센서로 측정한 각속도 값을 w 라고 놓았을 때 시간으로 적분하게 되면 각 축의 각도 값을 식 (4)-(6)과 같이 구할 수 있다. 지표면을 기준으로 각도를 측정하는 가속도 센서와 달리 센서의 처음 위치를 기준으로 각도를 측정하게 된다.

$$\varphi[^{\circ}] = \int w_x dt \quad (4)$$

$$\theta[^{\circ}] = \int w_y dt \quad (5)$$

$$\psi[^{\circ}] = \int w_z dt \quad (6)$$

2.2.3. 단일 센서에서 각도 추정의 오차

먼저, 가속도 센서는 간단한 삼각함수로 각도를 구하므로 적분으로 인한 오차의 누적 현상은 존재하지 않는다. 하지만 진동과 이동에 취약하여 노이즈 값이 심하다는 한계를 가지고 있다. 또한, 그림 2.5는 회전축이 센서가 아닌 경우의 모습이다. 이 경우에는 접선과 법선 방향의 가속도 성분이 가속도 센서에 같이 인가가 되므로 결과에 오류가 생기게 된다.^[25]

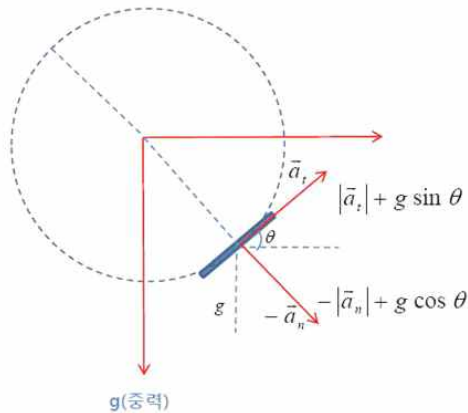


그림 2.5 가속도 센서를 이용해 각도를 측정할 때 오류가 생기는 경우[25]

다음으로 자이로 센서값은 가속도 센서와 비교하면 진동과 이동에 강하다. 또한, 가속도 센서로 측정할 수 없는 yaw 값을 계산할 수 있다. 하지만 적분하여 구하는 각도 값은 시간이 흐르면서 값이 점차 증가하거나 감소하는 드리프트 현상이 일어난다. 이러한 드리프트 현상은 센서의 미세한 오차가 적분 값에 누적되면서 각도 값이 한쪽으로 흐르게 되는 현상이다.

센서의 측정값 오차를 계산하기 위해 정확한 각도를 제공하는 서보모터를 사용하였다. 그림 2.6은 서보모터로 센서를 회전시키며 측정한 가속도 센서값과 자이로 센서값의 그래프이다. 파란색은 서보모터값, 빨간색은 가속도 센서로 측정한 각도 roll 값, 초록색은 자이로 센서로 측정한 각도 roll 값이고 x축은 시간, y축은 각도로 단위는 x축 10ms, y축 1°이다. 그래프에서 파란색의 서보모터는 0°부터 시작하여 -90° ~ 90°를 반복하고 다시 0°로 돌아오도록 설정하였다. 그림 2.6에서 확대한 부분을 살펴보면 서보모터값이 바뀌고 시간(약 0.03초)이 흐른 후에 센서값이 바뀌는 것을 볼 수 있는데 이는 관성 센서가 각도의 변화를 인지하는데 걸리는 시간이다. 빨간색의 가속도 센서로 구한 각도 값이 그래프를 통해서 움직임에 대한 노이즈가 심한 경향을 확인할 수 있다. 그리고 초록색은 자이로 센서값을 적분

하여 구한 x축의 각도를 나타낸 것으로 가속도 센서보다 노이즈에 강한 모습을 보이지만 움직인 후, 그림 2.6의 b.에서 시간이 흐르면서 값이 한쪽으로 흐르는 모습을 확인할 수 있다.

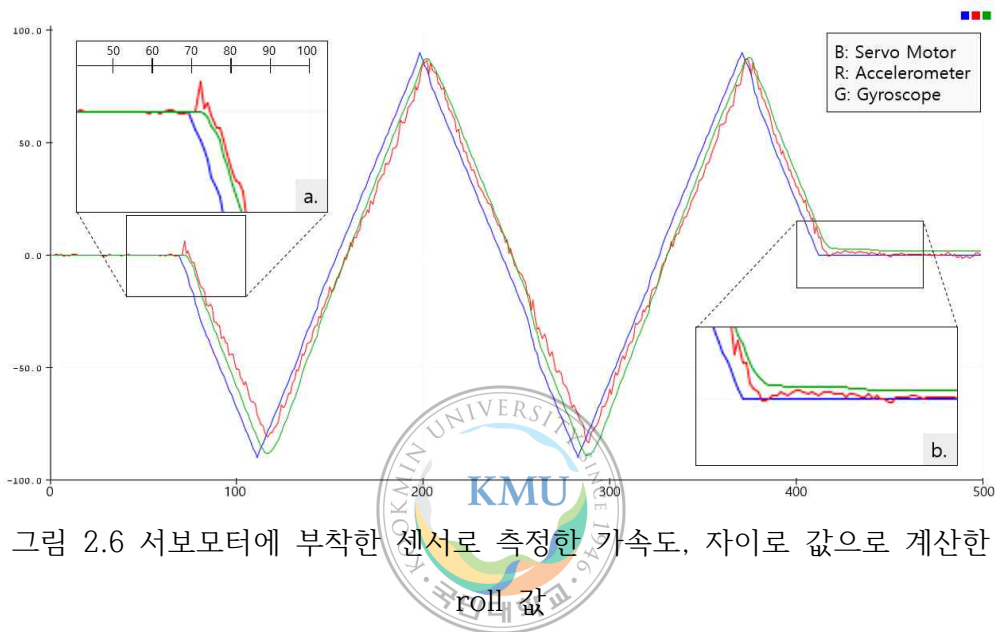


그림 2.6 서보모터에 부착한 센서로 측정한 가속도, 자이로 값으로 계산한 roll 값

표 2.1은 각 센서로 측정한 각도의 장단점에 대해 정리한 내용이다. 이와 같은 센서의 한계는 익히 많이 알려져 있고 이러한 단일 센서의 한계를 해결하고 정확한 값을 추정하기 위해서 대부분의 동작 인식기술들은 두 개 이상의 센서 융합이 사용되고 있다. 다음 장에서는 가속도 센서와 자이로 센서값을 융합하여 각도를 측정하는 방법에 관해 설명한다.

표 2.2 센서로 측정한 각도의 장·단점

센서	장점	단점
가속도	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 기준값은 중력 가속도에 기반한다. • 오차의 누적이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 진동과 이동에 취약 • yaw를 계산할 수 없다.
자이로	<ul style="list-style-type: none"> • 진동과 이동에 강하다. • yaw를 계산할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 적분에 의한 오차의 누적이 존재 • 초기 기준값은 처음 자세에 기반



2.3. 동작 인식 방법

본 장에서는 센서값을 이용하여 정확한 각도를 구하기 위하여 보편적으로 사용되고 있는 상보 필터(Complementary filter)와 칼만 필터(Kalman filter), 쿼터니언(Quaternion)에 대하여 고찰하고 사용했을 때의 값을 비교한다.

2.3.1. 상보 필터

상보 필터는 가속도 센서와 자이로 센서의 단점을 보완하고 장점을 살려 각도를 추정하는 가장 기본적인 방법이다.^[26] 먼저, 표 2.1과 같이 가속도 센서는 진동과 이동에 취약하지만, 초기 기준값과 오차의 누적이 적기 때문에, 상대적으로 저주파 영역에서 좋은 특성을 가진다고 볼 수 있다. 그리고 자이로 센서는 진동과 이동에 강하지만 적분 오차 누적인 드리프트 현상이 존재한다. 이러한 드리프트 현상을 저주파 노이즈로 볼 수 있으므로 고주파 영역에서 좋은 특성을 가진다고 볼 수 있다. 이러한 두 센서의 장점을 취합하는 것이 상보 필터의 기본 개념이다. 그림 2.7은 이러한 상보 필터의 블록선도로 저역통과필터(LPF, Low Pass Filter)를 통과한 가속도 값과 고역통과필터(HPF, High Pass Filter)를 통과한 자이로 값을 합하여 구한다.^[27]

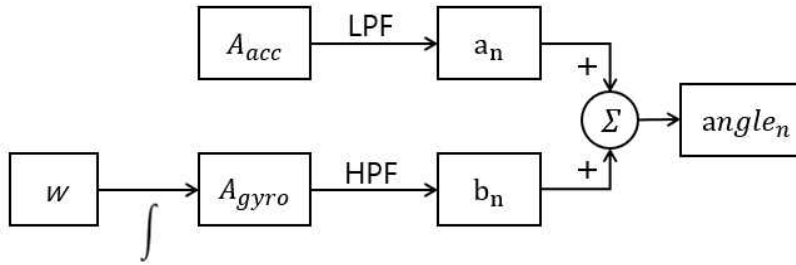


그림 2.7 상보 필터의 블록선도

일반적인 1차 LPF와 HPF는 각각 식 (7), (8)과 같이 표현될 수 있다. 이는 라플라스 변환²⁾이 되어 있는 값으로 전개 후 라플라스 역변환을 계산하여야 한다. 따라서 라플라스 역변환을 하면 식 (9)와 (10)을 얻을 수 있다.

이때, 미분하는 값인 $\frac{d}{dt}y_n$ 과 $\frac{d}{dt}x_n$ 은 $\frac{y_n - y_{n-1}}{\Delta t}$, $\frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta t}$ 로 표현이 가능하다. 이를 이용하여 정리를 하면 각각 식 (11), (12)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{Y}{X} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (7)$$

$$\frac{Y}{X} = \frac{\tau s}{\tau s + 1} \quad (8)$$

$$\tau s Y + Y = X \rightarrow \tau \frac{d}{dt}y_n + y_n = x_n \quad (9)$$

$$\tau s Y + Y = \tau s X \rightarrow \tau \frac{d}{dt}y_n + y_n = \tau \frac{d}{dt}x_n \quad (10)$$

2) 라플라스 변환(Laplace transform)은 미분 방정식을 대수(代數) 계산으로 바꾸는 방법의 하나로 $s = \sigma + j\omega$ 를 파라미터로 $F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt$ 로 표현되며 $f(t)$ 와 $F(s)$ 는 대응되고 역변환은 $f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int F(s)e^{st}ds$ ($t > 0$)로 표현된다.

$$y_n = \frac{\tau}{\tau + \Delta t} y_{n-1} + \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} x_n \quad (11)$$

$$y_n = \frac{\tau}{\tau + \Delta t} y_{n-1} + \frac{\tau}{\tau + \Delta t} (x_n - x_{n-1}) \quad (12)$$

(X: 입력, Y: 출력, τ : 시간상수, $s = \sigma + j\omega$, Δt : 입력시간 간격)

앞서 구한 식 (11), (12)를 이용하여 자이로 센서로 측정한 각속도 값을 w , 각도 값을 A_{gyro} , 가속도 센서로 측정한 각도 값을 A_{acc} 로 놓았을 때, A_{acc} 가 LPF를 통과한 값 a_n 은 식 (13)으로 표현하고, A_{gyro} 가 HPF를 통과한 값 b_n 은 식 (14)로 표현할 수 있다. 여기서 $A_{gyro,n} - A_{gyro,n-1}$ 은 각속도 $\times \Delta t$ 와 같다. 식 (13), (14)에서 상수값 α (weight factor)는 식 (15)로 표현된다.

$$a_n = \alpha a_{n-1} + (1 - \alpha) A_{acc} \quad (13)$$

$$b_n = \alpha b_{n-1} + \alpha (A_{gyro,n} - A_{gyro,n-1}) = \alpha b_{n-1} + \alpha w \Delta t \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + \Delta t} \quad (15)$$

상보 필터는 식 (13)와 (14)의 합으로 $angle_n$ 로 표현하여 식 (16)으로 정리할 수 있다. 그림 2.8은 식 (12)를 이용하여 구한 각도 값과 가속도, 자이로 센서값으로 구한 각도 값을 비교한 그래프로 파란색은 서보모터값, 빨간색은 A_{acc} 값, 초록색은 A_{gyro} 값, 노란색은 상보 필터로 구한 roll 값을 나타내고 x축은 시간, y축은 각도로 단위는 x축 10ms, y축 1°이다. 그래프를 보면 가속도 센서값은 계속해서 노이즈가 있는 모습을, 자이로 센서값은 움직임 후에 드리프트 현상이 일어나는 모습을 보인다. 그리고 노란색의 상보 필터값은 노이즈가 제거되고 드리프트 현상이 거의 제거 되는 모습을 볼

수 있다.

$$angle_n = \alpha (angle_{n-1} + w \Delta t) + (1 - \alpha) A_{acc} \quad (16)$$

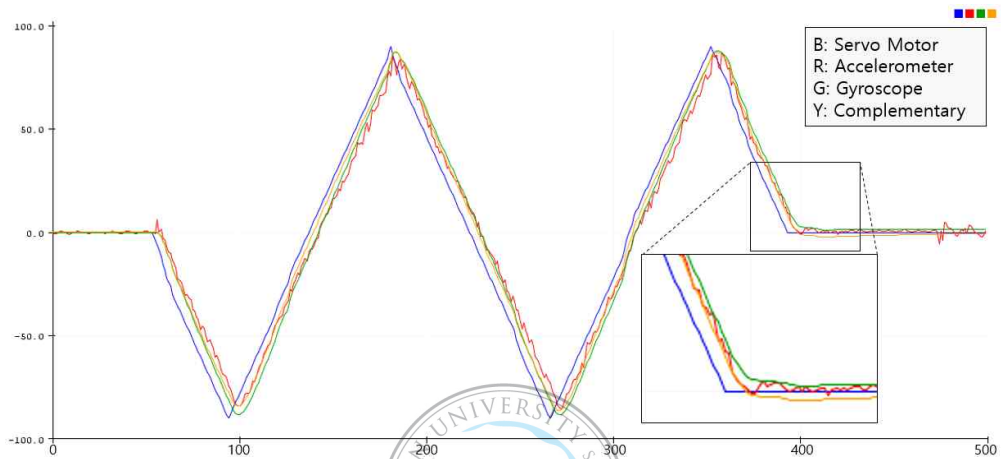


그림 2.8 가속도 센서, 자이로 센서, 상보 필터를 이용해 구한 roll 값

2.3.2. 칼만 필터

칼만 필터(Kalman filter)는 루돌프 칼만(Rudolf E. Kalman, 1960)에 의해 처음 소개되었으며, 측정된 데이터에 포함된 잡음을 제거하는 재귀 필터이다.[28] 칼만 필터의 특징[29] 중 하나는 순차 처리(recursive processing)로 이 경우 모든 데이터를 메모리에 기억해둘 필요가 없다. 즉, 직전의 값 $m(k-1)$ 을 기억하면 그 이전의 데이터를 기억할 필요가 없는 연역적 추론(deductive reasoning)을 바탕으로 하고 있다.

그리고 칼만 필터는 시스템 출력값과 새로운 입력값을 이용하여 최적값을 계산하는 측정갱신 알고리즘(measurement update algorithm)의 스칼라 형태로 각 값에 가중치(weight)를 부여하여 계산하게 된다.

칼만 필터는 크게 예측(prediction)과 보정(update) 단계로 나눌 수 있다. 먼저, 예측 단계에서는 이전 시간에 추정된 상태에서 새로운 입력을 했을 때 예상되는 상태를 계산하게 된다. 그리고 보정단계에서는 예측 상태와 실제 측정된 상태를 토대로 정확한 상태를 계산하는 단계이다.[30]

먼저, 예측 단계에서의 계산은 식 (17), (18)과 같다. 식 (17)에서는 연역적 상태 예측 단계로 이전 상태(\hat{x}_{k-1})를 토대로 현재 상태(\hat{x}_k)를 추정한 값이다. 식 (18)에서는 연역적 공분산 예측 단계로 이전 값을 토대로 한 상태의 공분산 행렬을 나타낸다. 여기서 사용하는 공분산은 측정된 값의 확률변수 사이의 상관관계를 의미하고 P 로 표시한다. F 는 선행 상태에 기반한 상태 전이 행렬로 값은 일정하고 식 (19)와 같이 정의된다. B 는 제어입력모델로 식 (20)과 같이 정의된다. Q 는 프로세스 노이즈 공분산 행렬로 가속도계 분산(Q_θ)과 바이어스 추정치의 분산 값을 가지고 있고 식 (21)과 같다.

$$\text{<prediction>} \quad \hat{x}_{k|k-1} = F\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad (17)$$

$$P_{k|k-1} = FP_{k-1}F^T + Q \quad (18)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$B = \begin{bmatrix} \Delta t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$Q = \begin{bmatrix} Q_\theta & 0 \\ 0 & Q_{\dot{\theta}_b} \end{bmatrix} \Delta t \quad (21)$$

다음은 보정단계로 식 (22)-(26) 과 같다. 식 (22)에서는 예측값과 실제 측정값 사이의 오차를 구한다. 식 (23)에서는 혁신 공분산(innovation covariance)을 계산한다. 식 (24)에서는 최적 칼만 이득(Kalman gain)을 구하게 된다. 식 (25), (26)에서는 귀납적 상태와 공분산을 보정한다. I 는 항등 행렬로 식 (27)과 같다.

$$\text{<update>} \quad \tilde{y}_k = z_k - H\hat{x}_{k|k-1} \quad (22)$$

$$S_k = HP_{k|k-1}H^T + R \quad (23)$$

$$K_k = P_{k|k-1}H^TS_k^{-1} \quad (24)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k\tilde{y}_k \quad (25)$$

$$P_{k|k} = (I - K_kH)P_{k|k-1} \quad (26)$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

그림 2.9는 앞에서 구한 예측, 보정단계의 칼만 필터를 이용하여 구한 각도 값과 가속도, 자이로 센서로 구한 각도 값을 비교한 그래프로 파란색은

서보모터값, 빨간색은 A_{acc} 값, 초록색은 A_{gyro} 값, 노란색은 칼만 필터로 구한 roll 값을 나타내고 x축은 시간, y축은 각도로 단위는 x축 10ms, y축 1°이다. 이때, a.와 b.부분은 그래프 일부를 확대한 것이다. 그림 2.9의 a.부분을 보면 값이 일정하게 증가할 때 다른 값에 비해 빠르게 값을 구하는 것을 볼 수 있다. 하지만 b.부분을 보면 값이 일정하지 않고 변하는 구간에서 완만한 곡선으로 값을 찾아가며 알맞은 값을 추정하는 것에 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다.

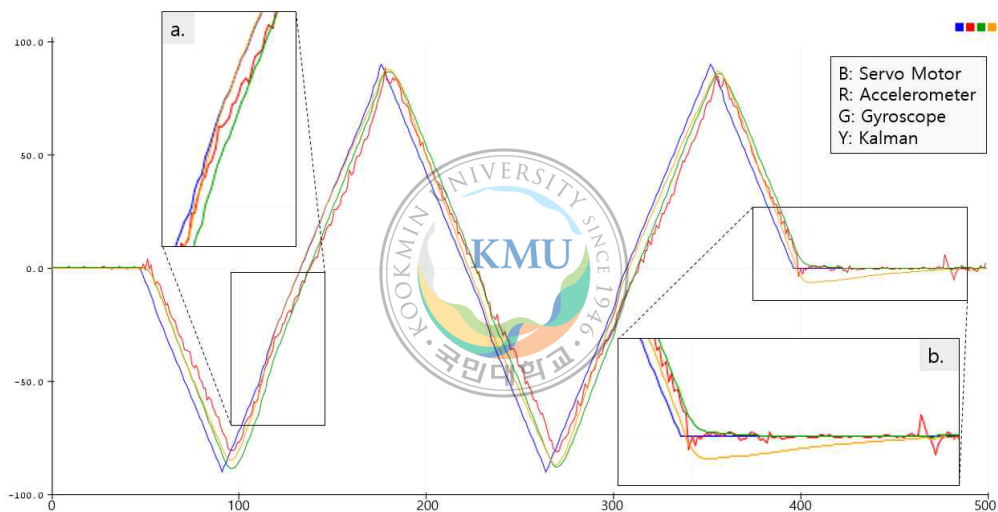


그림 2.9 가속도 센서, 자이로 센서, 칼만 필터를 이용해 구한 roll 값

표 2.3은 상보 필터와 칼만 필터의 차이점에 대한 설명이다. 먼저, 공통점은 1차 저주파 통과 필터라는 점으로 두 필터 모두 각 센서값에 가중치를 주어 합한다는 것이다. 또한, 직전 값을 기반으로 계산되어 영향을 받는다. 그리고 칼만 필터는 동작 중에 가중치 값(칼만 이득)이 지속해서 변화하기 때문에, 칼만 필터는 상보 필터보다 응답성이 빠른 특징을 가지고 있다.

표 2.3 상보 필터와 칼만 필터의 차이점

공통점	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 저주파 통과 필터로 가속도, 자이로 센서의 값에 가중치를 주어 계산한다. • 직전값을 포함하여 계산하여 영향을 받는다.
상보 필터	<ul style="list-style-type: none"> • 가중치가 고정되어있다.
칼만 필터	<ul style="list-style-type: none"> • 예측값과 측정값에 가중치를 곱하여 계산된다. • 가중치 값(칼만 이득)이 매번 새로 계산된다.



2.3.3. 쿼터니언

짐벌락(Gimbal lock) 현상은 하나의 축을 중심으로 물체가 회전하도록 만들어진 구조물인 짐벌(Gimbal)이 축에 대한 자유도를 상실하게 되는 현상을 말한다. 그림 2.10은 3개의 축을 가진 짐벌의 짐벌락 현상을 보여준다.[31]

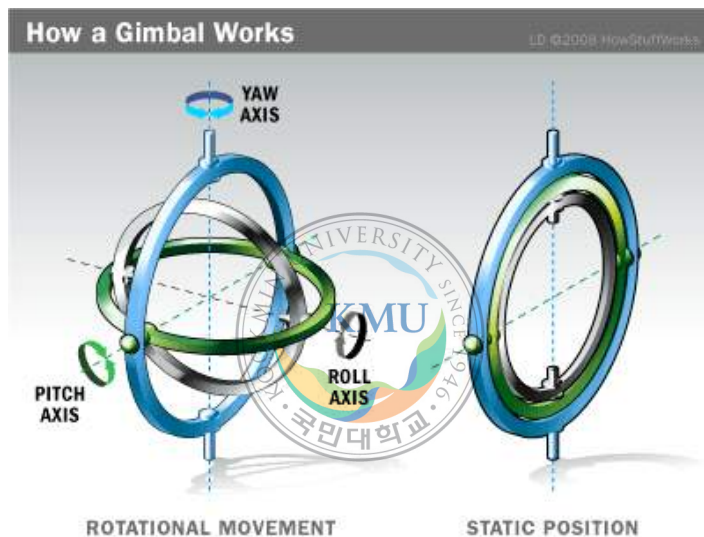


그림 2.10 짐벌(Gimbal)의 회전 운동(좌)과 짐벌락 상태(우)[31]

오일러 각은 각 축을 순서대로 회전을 적용하여 위치를 구하게 된다. 하지만 이렇게 순서에 따라 물체를 회전시킴으로 다른 축의 회전에 영향을 미친다. 즉, 짐벌락 현상이 발생한다는 것이다. 이를 피하기 위해서는 두 번째 축의 각도가 90도가 되는 것을 피하고, 회전 순서를 바꾸거나 임의의 축으로 회전하는 방법이 있다.

쿼터니언(사원수, Quaternion)은 복소수를 확장하여 만든 수 체계로 오

일러 각의 짐벌락을 해결하기 위한 임의의 축에 대한 변환으로 사용할 수 있다. 쿼터니언은 4차원 복소수 공간의 벡터로 식 (28)과 같이 나타낼 수 있다. 쿼터니언의 실수부(w)는 스칼라로, 허수부(x, y, z)는 3차원 벡터로 간주할 수 있다.[32]

$$q = (w, \vec{v}) = \langle w, x, y, z \rangle = w + xi + yj + zk \quad (28)$$

$$q = \left(\cos \frac{\vartheta}{2}, \frac{\mathbf{r}}{\|\mathbf{r}\|} \sin \frac{\vartheta}{2} \right) \quad (29)$$

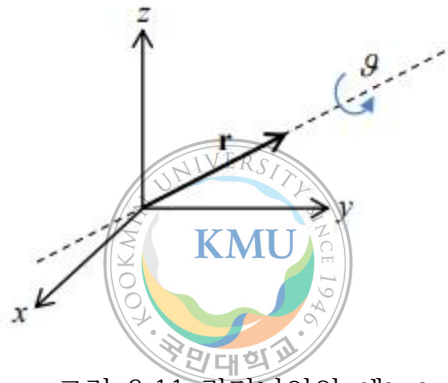


그림 2.11 쿼터니언의 예[32]

그림 2.11과 같이 회전축이 되는 벡터 \mathbf{r} 과 회전각 ϑ 로부터 쿼터니언은 식 (29)와 같이 계산된다.

쿼터니언 값을 계산하는 것에 삼각함수(sin, cos, tan)를 사용하기 때문에 계산될 수 있는 값의 범위는 총 360° 로 제한된다. 쿼터니언 값은 식 (30)-(32)와 같이 yaw, pitch, roll로 계산할 수 있다.

$$\psi = \arctan \left(\frac{2(xy + wz)}{w^2 + x^2 - y^2 - z^2} \right) \quad (30)$$

$$\theta = \arcsin(-2(xz - wy)) \quad (31)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{2(yz + wx)}{w^2 - x^2 - y^2 + z^2}\right) \quad (32)$$

이러한 쿼터니언을 이용하여 각도를 구할 때는 앞서 사용한 칼만 필터를 이용하여 필터를 구축한다.[33]

본 논문에서는 DMP(Digital Motion Processor), MPU-6050에서 자체적으로 제공하는 자이로 가속도 연산 프로그램을 이용하였다. 여기에서 제공되는 쿼터니언 값을 사용하였다. 이를 이용하여 식 (33)-(35) 와 같이 각 x, y, z축에 대한 중력 가속도 값을 구할 수 있다. 이 식들과 함께 식 (36)-(37) 과 같이 roll, pitch, yaw 값을 구할 수 있다.

$$G_x = 2 * (xz - wy) \quad (33)$$

$$G_y = 2 * (wx + yz) \quad (34)$$

$$G_z = w^2 - x^2 - y^2 + z^2 \quad (35)$$

$$\text{roll}(\varphi) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_z}\right) \quad (36)$$

$$\text{pitch}(\theta) = \arctan\left(\frac{G_x}{\sqrt{G_y^2 + G_z^2}}\right) \quad (37)$$

$$\text{yaw}(\psi) = \arctan\left(\frac{2xy - 2wz}{2w^2 + 2x^2 - 1}\right) \quad (38)$$

(단, $G_z < 0$ 일 때, $\text{pitch} > 0$ 이면, $\text{pitch} = \text{PI} - \text{pitch}$,

$\text{pitch} \leq 0$ 이면, $\text{pitch} = -\text{PI} - \text{pitch}$)

그림 2.12는 가속도 센서, 자이로 센서, 그리고 DMP 쿼터니언 연산을 이용하여 구한 roll의 각도 값을 표현한 그래프이다. 각각 파란색은 서보모터

값, 빨간색 가속도 센서, 초록색 자이로 센서, 노란색 DMP 쿼터니언 연산으로 구한 각도 값이고 x축은 시간, y축은 각도로 단위는 x축 10ms, y축 1°이다. 쿼터니언 값은 가속도 센서와 자이로 센서의 각도 값보다 빠르게 변하는 것을 확인할 수 있다. 이는 센서 내부에서 제공하는 디지털 모션 처리(DMP)로 계산되므로 값이 빠르게 변환되는 것이다. 하지만 $\pm 90^\circ$ 부분에서 값이 급격하게 증가하거나 감소하는 모습을 확인할 수 있는데 이는 중력 가속도 값이 적용되는 축이 센서가 회전하면서 yaw에서 pitch로 바뀌게 되면서 생기는 오류로 보인다. 이 경우 자이로 센서값과 비교하였을 때 최대 약 15° 정도의 오차를 가졌다.

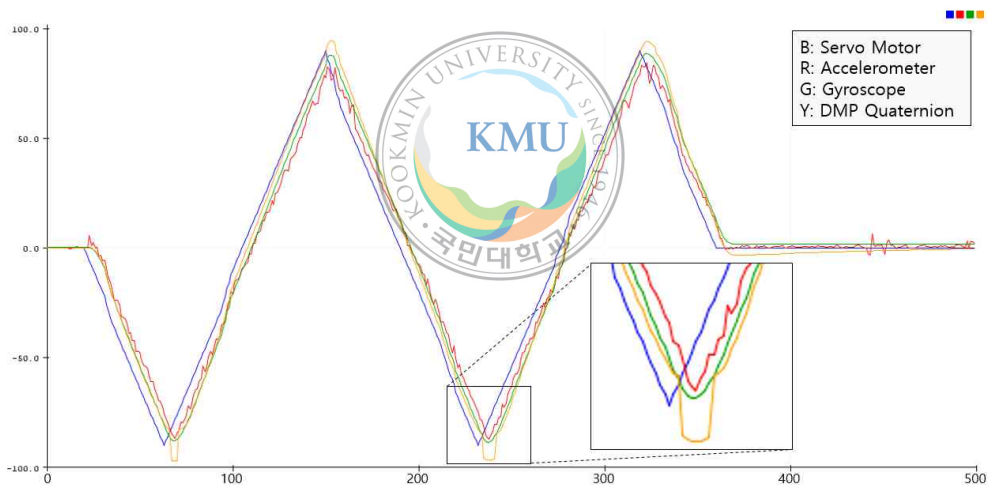


그림 2.12 가속도 센서, 자이로 센서, DMP의 쿼터니언을 이용해 구한 roll 값을 나타내는 그래프

표 2.4 쿼터니언의 장·단점

장점	<ul style="list-style-type: none"> • 짐벌락을 방지할 수 있다. • 4개의 실수로 각도를 처리하기 때문에, 연산속도와 메모리 효율이 높다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 각이 $\pm 90^\circ$에 근접하였을 때 오차가 생길 확률이 증가한다. • 오일러 각보다 직관적이지 않다.



2.4. 동작 인식 방법 비교

그림 2.13과 그림 2.14는 서보모터(파랑)에 센서를 부착하여 상보 필터(빨강), 칼만 필터(초록), DMP 쿼터니언(노랑)을 이용하여 x축의 각도(roll)를 구한 그래프로 x축은 시간, y축은 각도로 단위는 x축 10ms, y축 1°이다. 그림 2.13은 서보모터를 0°, -90°, 90°, -90°, 90°, 0° 순으로 약 200°/s의 속도로 회전시켰을 때의 모습으로 a.와 b.는 그래프 일부를 확대시킨 것이다. 그림 2.13에서 a.와 b.를 보면 90°와 0°에 상보 필터와 DMP 쿼터니언 값이 가장 먼저 도달한다. 하지만 DMP 쿼터니언 값이 90° 근처에서 10° 이상 오차가 생긴다. b.를 보면 칼만 필터가 이전값에 영향을 많이 받아 정확한 값을 측정하는 데 시간이 소요되는 모습을 볼 수 있다.

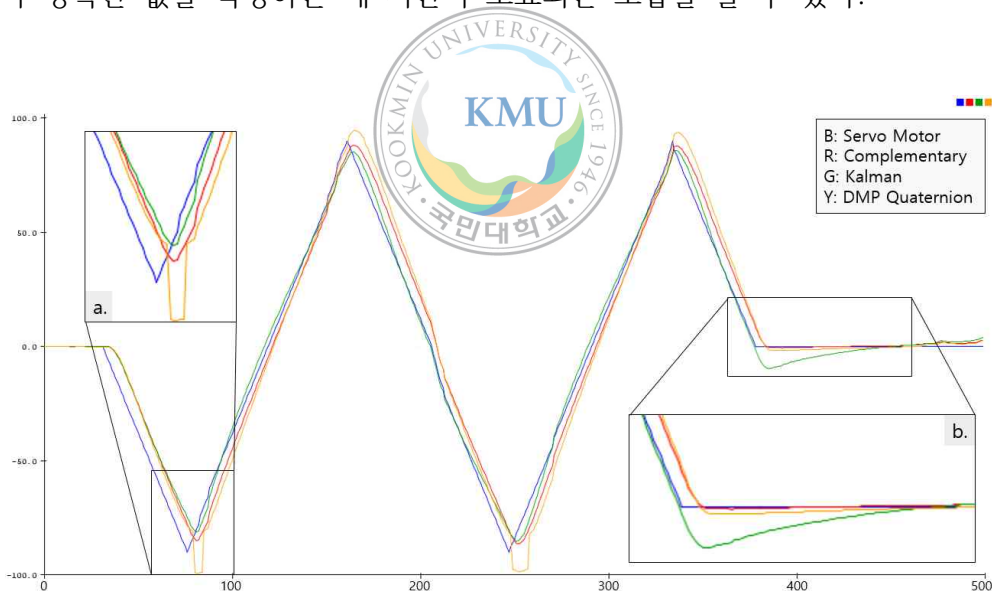


그림 2.13 상보 필터, 칼만 필터, DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 roll 값을 나타내는 그래프 (서보모터값 = -90° ~ +90°)

표 2.5는 그림 2.13에서 필터로 구한 각의 오차의 평균으로 오차는

|서보모터각 - 필터를 통과한 값|이다. 또한, 센서에서 인식하는 시간을 고려하여 서보모터의 값을 10ms씩 시프트(shift)하여 오차를 구하였고 각 측정 데이터값은 350회이다. 이에 기본 오차의 평균값은 칼만 필터가 가장 낮았지만 시프트하여 구한 오차는 -50ms 시프트 했을 때의 상보 필터 오차 평균값이 2.746°로 가장 적었다. 그리고 평균이 가장 낮았을 때는 -40ms 시프트한 경우로 센서가 회전 후 약 40ms 후에 알맞은 값을 측정하는 것을 알 수 있다.

표 2.5 그림 2.13에서 필터 오차의 평균

서보모터값 측정시간 - 각도 측정시간	상보 필터 오차 평균	칼만 필터 오차 평균	DMP 쿼터니언 오차 평균	평균
0 ms	9.451	6.550	9.520	8.51
-10 ms	7.023	4.360	7.814	6.40
-20 ms	5.369	3.295	6.433	5.03
-30 ms	3.724	3.088	5.289	4.03
-40 ms	3.010	3.805	4.740	3.85
-50 ms	2.746	4.660	4.545	3.98
-60 ms	3.540	6.295	5.436	5.09

그림 2.14는 서보모터를 0°에서 -180°로 약 300°/s의 속도로 움직인 후에 놔두었을 때의 모습이다. 각도를 측정할 때 가속도 센서와 쿼터니언은 삼각함수로 계산되므로 360°의 범위를 가진다. 때문에, 센서에서 측정되는 값은 180°와 -180°를 같은 값으로 볼 수 있다. 가속도 센서값과 자이로 센서값을 기반으로 계산되는 상보 필터와 칼만 필터값 또한 이를 따라가게 된다. 하지만 이전 값이 계산되는 값에 영향을 미치기에 그림 2.14와 같이 곡선을 그리며 따라가게 된다. 이는 필터에서 180°와 -180°를 전혀 다른 값으로 보기 때문인데 이는 큰 오차를 가져오게 되고 상당한 시간을 소요하게 된다. 이러한 오차는 표 2.6에서 나타내었다.

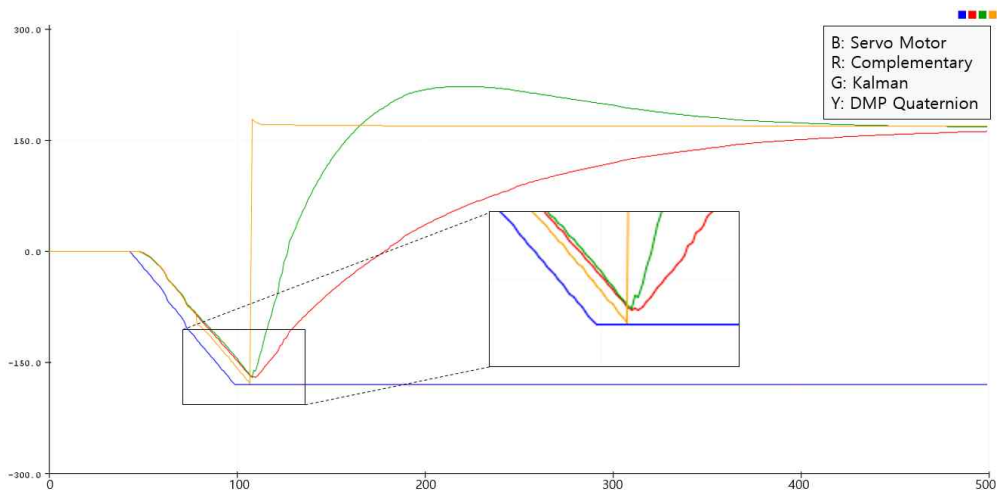


그림 2.14 상보 필터, 칼만 필터, DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 roll 값을 나타내는 그래프 (서보모터값 = $0^{\circ} \sim -180^{\circ}$)

표 2.6은 그림 2.14에서 측정한 각 필터의 각도 값과 서보모터값의 오차의 평균값을 구한 것이다. 표 2.5와 같이 10ms씩 시프트하여 오차를 구하였고 각 측정 데이터값은 400회이다. 또한, $0^{\circ} \sim -180^{\circ}$ 로 바뀌는 구간과 -180° 로 바뀌고 멈춰있는 구간으로 나누어 평균을 구하였다. 0ms 시프트했을 때의 값을 보면 표 2.5에 비해 구한 각도의 값이 상보 필터와 칼만 필터 모두 오차가 매우 커진 것을 볼 수 있다. 또한, 전체 구간의 오차 평균값은 서보모터값을 시프트하여도 거의 차이가 없는데 이는 오차가 매우 커서 센서에서 지연된 값이 영향을 거의 미치지 않은 것이다. 먼저 $0^{\circ} \sim -180^{\circ}$ 로 바뀌는 구간에서는 서보모터를 약 $300^{\circ}/s$ 의 속도로 움직였는데 이때, 센서의 인식시간이 그림 2.13보다 길어져 오차값이 커졌고 서보모터값을 시프트하여 오차를 구함으로 오차의 평균값이 감소하였다. 그리고 180° 로 바뀌고 멈춰있는 구간에서는 서보모터값을 시프트하여도 오차값이 변화가 없었고 상보 필터, 칼만 필터값은 약 64° , 약 40° 로 매우 큰 오차값을 보였다.

하지만 DMP 쿼터니언 값은 이전값에 영향을 받지 않고 센서에서 측정 및 계산되는 값이기 때문에 $0^{\circ}\sim-180^{\circ}$ 로 바뀌는 구간에 비해 -180° 로 바뀌고 멈춰있는 구간에서 더 안정적이고 모든 구간에서 비슷한 오차를 보였다.

표 2.6 그림 2.14에서 필터 오차의 평균

서보모터값 측정시간 - 각도 측정시간	상보 필터 오차 평균			칼만 필터 오차 평균			DMP 쿼터니언 오차 평균		
	전체	$0^{\circ}\sim-180^{\circ}$	-180°	전체	$0^{\circ}\sim-180^{\circ}$	-180°	전체	$0^{\circ}\sim-180^{\circ}$	-180°
0 ms	59.306	27.781	64.564	36.614	27.493	38.145	11.698	25.705	9.378
-10 ms	58.192	24.772	64.090	38.094	24.424	40.506	10.900	22.481	8.856
-20 ms	59.319	21.287	65.788	35.849	20.867	38.403	11.292	19.307	9.940
-30 ms	57.686	19.215	64.493	36.909	19.004	40.082	10.352	17.164	9.156
-40 ms	57.468	16.681	64.828	37.027	16.379	40.754	9.934	14.467	9.124
-50 ms	56.625	11.495	64.450	34.590	10.471	38.773	9.729	9.092	9.845
-60 ms	56.041	10.361	64.439	35.797	9.880	40.564	7.834	7.944	7.820

그림 2.15는 센서를 서보모터에 부착하여 자이로 센서와 DMP 쿼터니언으로 측정한 센서값이다. 이때 DMP 쿼터니언은 초기의 yaw 값이 roll과 pitch 값과 달리 0이 아니므로 초기값을 0으로 바꿔준 후에 측정한 값이다. 앞서 말했듯이 자이로 센서로 측정한 값은 적분하기 때문에, 오차가 생기면 누적되어 값이 한쪽으로 흐르는 드리프트 현상이 일어난다. 상보 필터와 칼만 필터는 가속도 센서값과 자이로 센서값에 가중치를 주어 계산하는데 가속도 센서가 yaw를 측정할 수 없으므로 자이로 센서값을 그대로 사용하게 된다. 그리고 roll과 pitch 값은 삼각함수로 계산하는 가속도 센서에 영향을 받아 값의 범위가 $-180^{\circ}\sim180^{\circ}$ 를 크게 벗어나지 않는데 자이로 센서값만을 사용하므로 값의 범위가 정해지지 않는다. 이 때문에 자이로 센서로 측정한 yaw 값은 시간이 지나면 드리프트 현상으로 인해 값이 끝없이 증가하거나 감소하게 된다.

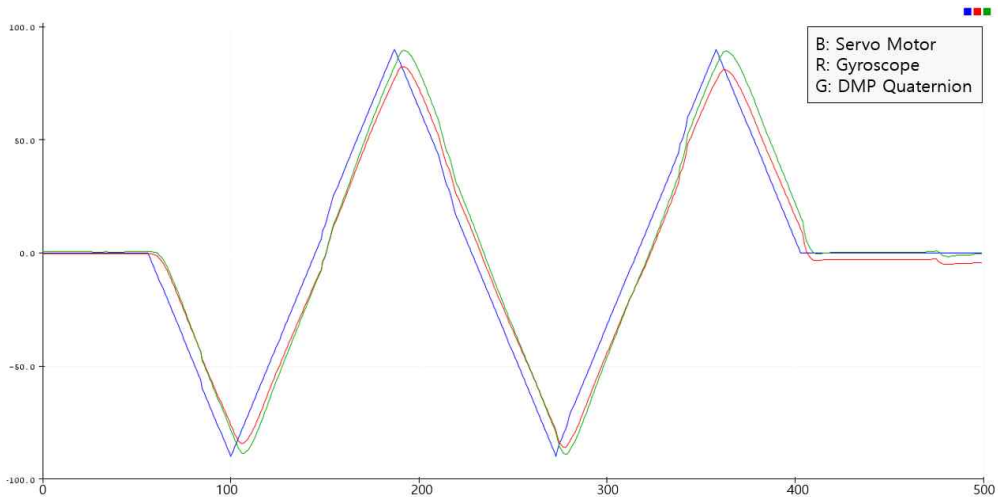


그림 2.15 자이로 센서와 DMP 쿼터니언을 이용하여 구한 yaw 값

상보 필터는 계산할 때의 가중치를 한번 정하고 지속해서 사용하여 다른 필터에 비해 구현이 쉽다는 장점이 있다. 하지만 가중치 값이 정해져 있으므로 값이 빠르게 변할 때 정확한 값을 추정하는 응답성이 느리다. 이에 비해 칼만 필터는 지속해서 가중치 값을 변화시키므로 상보 필터보다 응답성이 빠르다. 하지만 계산량이 많다는 단점을 가지고 있다. 그리고 상보 필터와 칼만 필터 모두 가속도의 각도 계산의 한계로 yaw 값을 추정할 수 없는 한계를 지니고 있다. 쿼터니언 값은 센서에서 제공되기도 하고 4개의 수로 연산하므로 연산속도가 다른 필터에 비해 빠르다. 그리고 이전값의 영향을 받지 않아 180° 와 -180° 의 경계에서 자유도가 높다. 그리고 쿼터니언 값으로 yaw 값의 계산이 가능하다. 하지만 빠른 반응속도에 반해 오차가 크며 $\pm 90^\circ$ 근처에서는 큰 오차를 보인다. 표 2.7은 이러한 필터들의 장·단점을 정리한 내용이다.

표 2.7 필터의 장·단점 비교

	장점	단점
상보	<ul style="list-style-type: none"> 가중치 값이 정해져 있어 연산식이 쉬워 구현이 쉽다. 일정한 변화에 오차가 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> 가속도 센서의 계산 한계로 yaw 값을 추정할 수 없다. 가중치 값이 정해져 있어 응답성이 느리다. 180°와 -180°의 경계에서 자유도가 매우 낮다.
칼만	<ul style="list-style-type: none"> 가중치 값이 지속해서 변화하여 응답성이 빠르다. 	<ul style="list-style-type: none"> 가속도 센서의 계산 한계로 yaw 값을 추정할 수 없다. 계산속도가 다른 필터에 비해 느리다. 180°와 -180°의 경계에서 자유도가 매우 낮다.
쿼터니언	<ul style="list-style-type: none"> 센서에서 제공되는 값, 4개의 수를 연산하므로 연산속도가 빠르다. yaw 값을 추정할 수 있다. 180°와 -180°의 경계에서 자유도가 매우 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> 센서값을 그대로 사용하여 오차가 크다. $\pm 90^\circ$ 근처에서는 큰 오차를 보인다.

댄서의 의상에 사용되는 동작 인식 센서로, 각도를 추정하는데 빠른 연산이 필요하고 빠르게 변환되는 값을 인식해야 한다. 그리고 의상에 부착되어 다양한 방향의 동작을 인식해야 한다. 이에 180°와 -180°의 경계에서 자유도가 높아야 하고 yaw 값의 연산이 필수적으로 필요하다. 그리고 표 2.6에서 확인할 수 있듯이 180°와 -180°의 경계에서도 DMP 쿼터니언 값으로 계산하는 경우 일정한 오차율을 가지므로 본 논문의 실험과 웨어러블 디바이스에서는 DMP 쿼터니언으로 각도를 계산하여 사용한다.

제 3 장 동작 인식 실험

3.1. 실험 구성

실험에서는 관성 센서(IMU)와 MCU(Micro Controller Unit), LED로 시스템을 구성한다. 이 시스템은 관성 센서에서 측정된 가속도와 자이로 값을 MCU에서 동작을 분석하고 출력하게 된다.

본 논문에서 디바이스는 사용자의 손목에 부착하게 된다. 이는 동작을 하면서 사용자가 가장 자연스럽게 다양하면서 쉽게 움직일 수 있는 위치이고 부착하여 고정하기 적합하게 사용되었다.

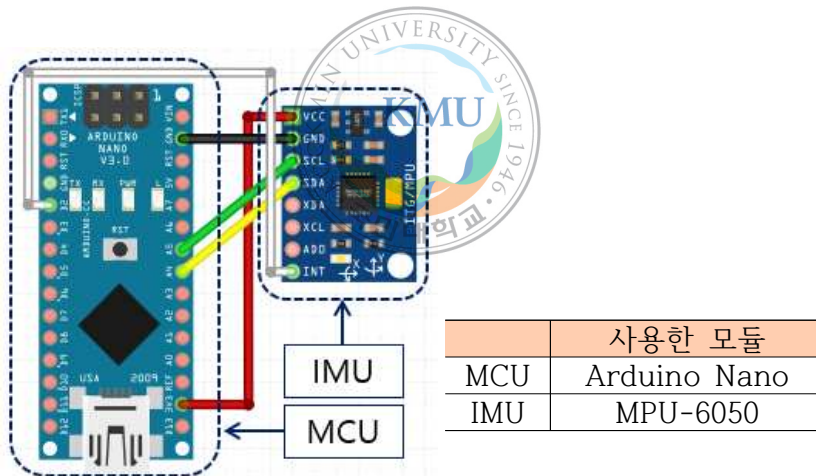


그림 3.1 테스트 동작 실험 회로도

그림 3.1은 테스트 동작 실험에서 사용한 회로도를 나타낸다. 테스트 동작 실험은 간단한 동작에 대해 출력되는 결과를 관찰하고 측정하기 위해 진행된다. 그 때문에 관성 센서(IMU, MPU-6050)와 MCU(Arduino NANO)로만 구성하여 진행하였다.

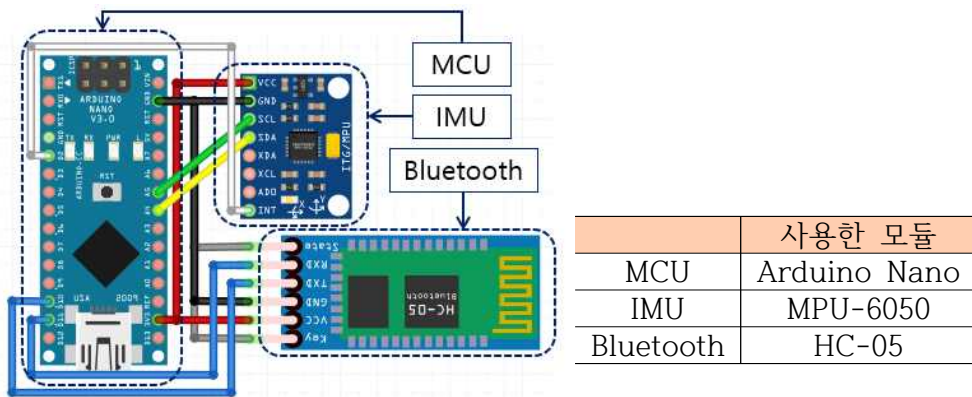


그림 3.2 댄서의 동작 실험 회로도

그림 3.2는 댄서의 동작 실험에서 사용한 회로도이다. 테스트 동작 실험의 회로도와는 달리 양손을 이용하여 동작을 구별하는 것이 목적이다. 이는 양손의 동작 조합에 따라 다른 결과가 나오기 때문에 양손의 값을 지속해서 비교해야 한다. 그러므로 두 디바이스의 통신이 필요하기에 테스트 동작 실험 회로도와 달리 단거리 통신기기인 블루투스(HC-05)를 추가하여 시스템을 구성하였다.

실험에서 두 가지의 예상 변수가 존재한다. 첫째, 디바이스의 사용자가 기계가 아니므로 정확하게 같은 동작을 반복할 수 없는 것이다. 이 때문에 값을 측정하는 데에는 일정한 값의 오차가 있음을 예상하고 진행해야 한다. 둘째, 센서에서의 yaw 값은 초깃값에 기인해서 진행된다. 센서의 내부에 자기계 센서가 없으므로 처음 값을 기준으로 각도의 변화량을 살피게 된다. 이 때문에 처음 시작 자세를 이용하여 초기화하는 단계가 필요하다. 이러한 단점은 초기의 자세가 틀어지게 되면 다음 동작의 측정이 정확하게 되지 않는다는 것이다.

3.2. 실험

본 장에서는 앞서 고찰한 상보 필터, 칼만 필터, 쿼터니언 필터를 비교하여 실험에 사용할 필터를 선정하고 테스트 동작과 댄서의 동작을 선정하여 알맞게 작동하는지 실험한다.

3.2.1. 테스트 동작

테스트 동작은 그림 3.3와 같이 모듈을 손목에 착용한 후 팔을 편 상태에서 어깨높이까지 옆으로 손을 들어 올리는 동작이다. 그림 3.3에서는 뒤에서 보았을 때 손목에 착용한 모듈의 축과 테스트 동작을 했을 때 옮겨진 모듈의 축을 표시하였다.

테스트 동작의 변수는 2가지로 볼 수 있다. 먼저, 손을 들어 올리는 속도 그리고 동작을 하고 멈추었을 때 손목의 모듈 위치이다. 오른 손목의 모듈 위치는 그림 3.4와 같이 3가지로 세분화해서 살펴볼 수 있다. 동작 1은 기본자세에서 손을 그대로 들어 올려 손바닥이 바닥을 바라보고 있을 때이고 동작 2와 3은 손을 들어 올리면서 손목을 회전하여 각각 손바닥이 정면과 뒤를 바라보고 있는 모습이다.

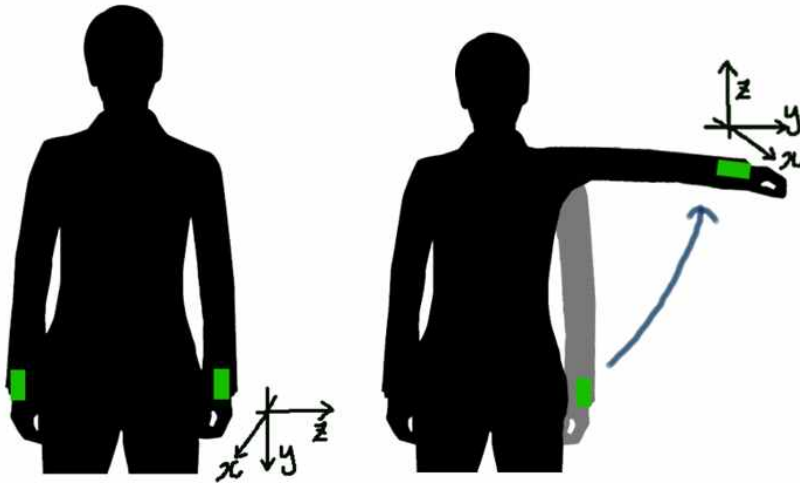
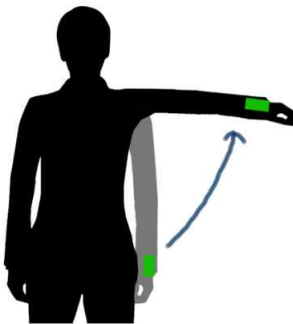


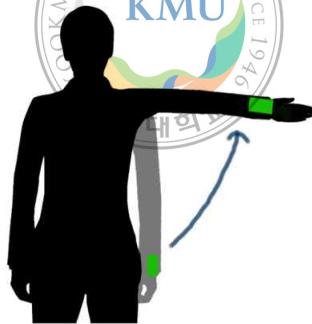
그림 3.3 뒤에서 보았을 때 모듈의 축과 테스트 동작

[오른손을 들어올릴 때의 뒷모습 이미지]

1. 손바닥이 바닥을 바라볼 때



2. 손바닥이 정면을 바라볼 때



3. 손등이 정면을 바라볼 때

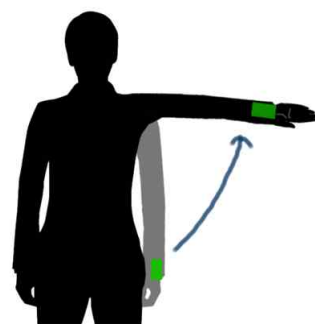


그림 3.4 손목 위치에 따른 3가지 동작의 뒷모습 이미지

1) 속도변화

그림 3.5, 3.6, 3.7은 각각 테스트 동작의 1, 2, 3번 동작을 했을 때 속도를 다르게 하여 나온 각도 그래프로 x축은 시간, y축은 각도를 나타낸다. 왼쪽부터 오른쪽으로 속도는 점차 증가시키며 실험하였다.

속도에 따라 roll, pitch, yaw 값의 변화는 없었고 다만 값의 증가 경사

도가 커지는 것을 확인할 수 있다.

동작 2와 동작 3의 그래프에서 yaw 값을 보면 마이너스 값으로 급격하게 바뀌는 경우가 있다. 이는 쿼터니언 값을 추정할 때 값의 범위가 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 로 한정되어있어 값이 -180° 에서 180° 로, 180° 에서 -180° 로 넘어갔기 때문이다.

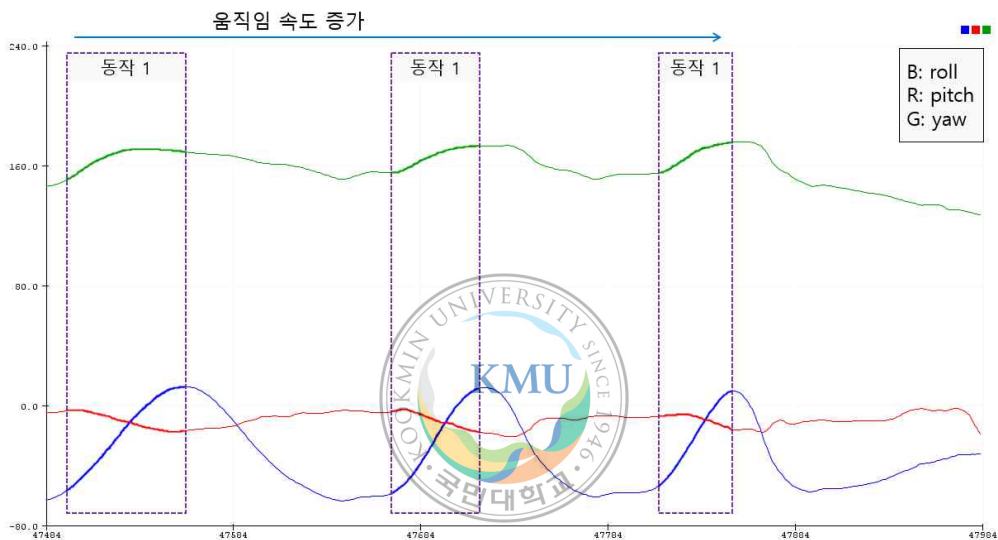


그림 3.5 동작 1의 속도별 각도 변화량

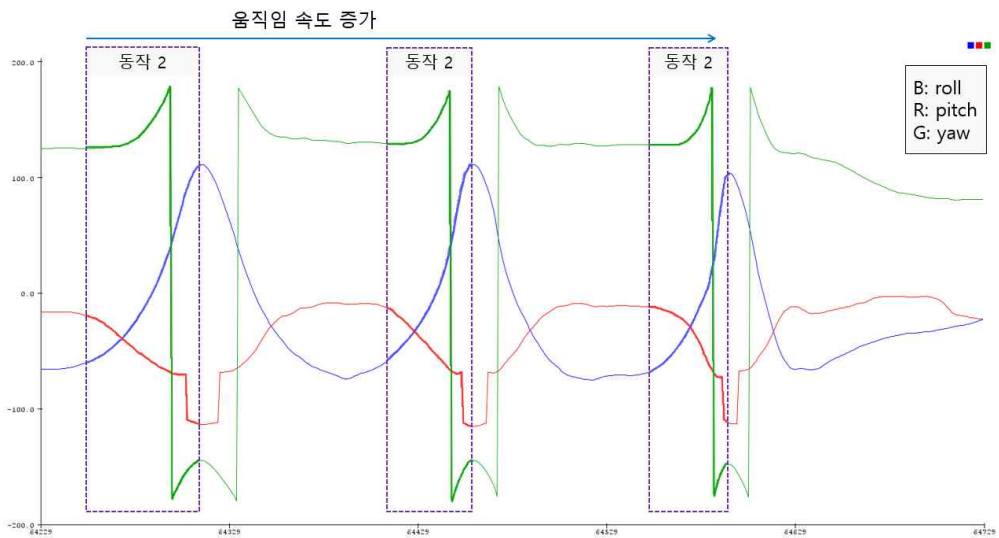


그림 3.6 동작 2의 속도별 각도 변화량

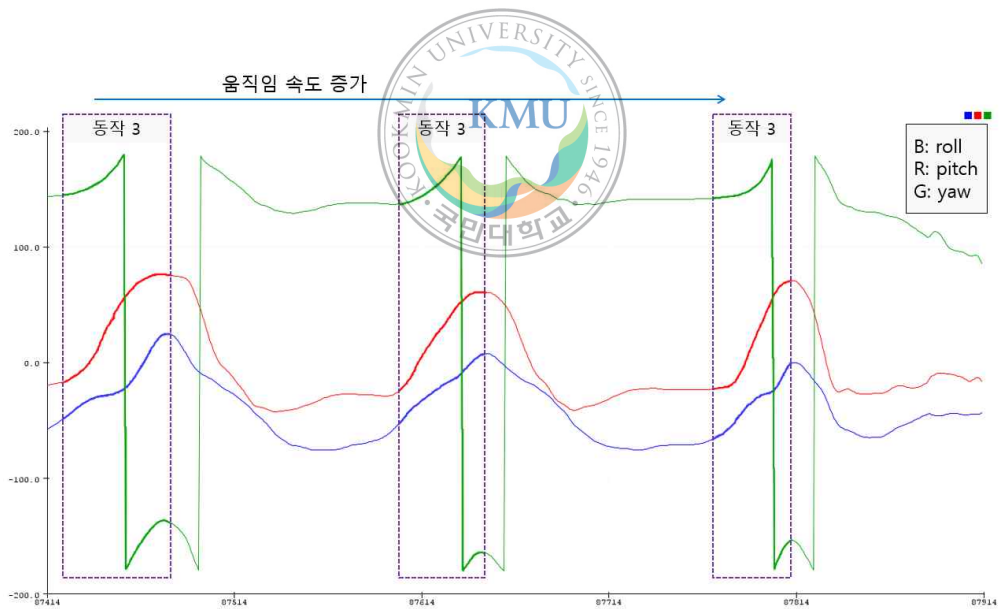


그림 3.7 동작 3의 속도별 각도 변화량

2) 동작 변화

그림 3.8은 그림 3.4의 테스트 동작을 순서대로 했을 때 나타나는 각도

그래프이다. x축의 값(roll)은 비교적 일정하게 증가하면서 변하고 y축의 값 (pitch)과 z축의 값(yaw)이 동작에 따라 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있다.

테스트 동작은 그림 3.3에서 보다시피 x축을 기준으로 회전하는 것을 기본으로 움직인다. 이 때문에 손목이 다른 축으로 움직이지 않는 동작 1에서는 roll 축을 제외하고는 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 반면에 동작 2, 3은 손목이 회전하면서 동작이 이루어져 모듈이 다른 축으로도 회전하게 되어 다른 축의 값들도 변화하는 것을 볼 수 있다.

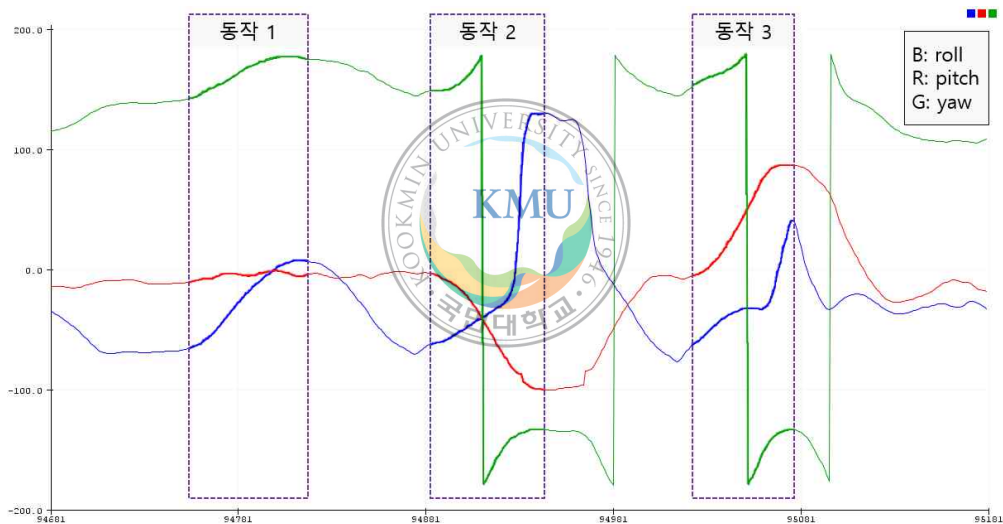


그림 3.8 동작 별 각도 변화량

3.2.2. 댄서의 동작

해당 실험에서는 그림 3.7과 같이 양팔에 디바이스를 부착하고 춤을 추었을 때 나타나는 그래프를 분석하여 동작을 구분한다.

먼저, 댄서의 동작 선정으로 댄서의 동작은 이동 반경이 크고 보는 사람이 구별할 수 있는 동작이어야 한다. 실험에서 선정한 동작은 크게 4가지로 표 3.1과 같다. 동작 0번은 초기 동작으로 처음 초깃값을 선정하기 위한 동작이다. 그리고 동작 4.1과 4.2는 동작 4가 되기 전과 후의 동작으로 4와 다른 동작으로 구별할 수 있다.

표 3.1 댄서의 동작 이미지








동작	0	1	2	3
이미지				
동작	4	4.1	4.2	
이미지				

그림 3.9와 3.10은 댄서의 손목에 디바이스를 부착하여 동작을 측정한 값으로 각각 오른손과 왼손으로 파란색은 roll 값, 빨간색은 pitch 값, 녹색은 yaw 값이다. 하단에 표시된 값은 동작 번호로 회색은 다음 동작으로 넘어가는 부분으로 볼 수 있다.

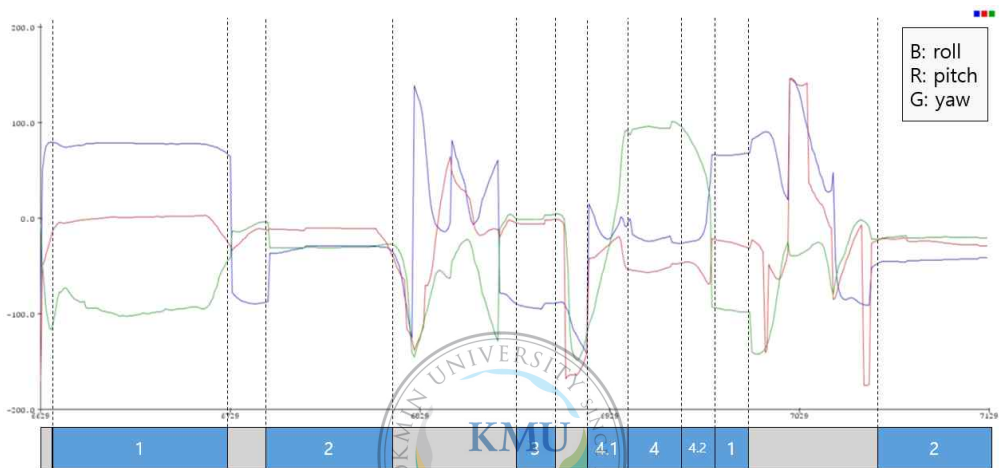


그림 3.9 오른손 디바이스로 측정된 값

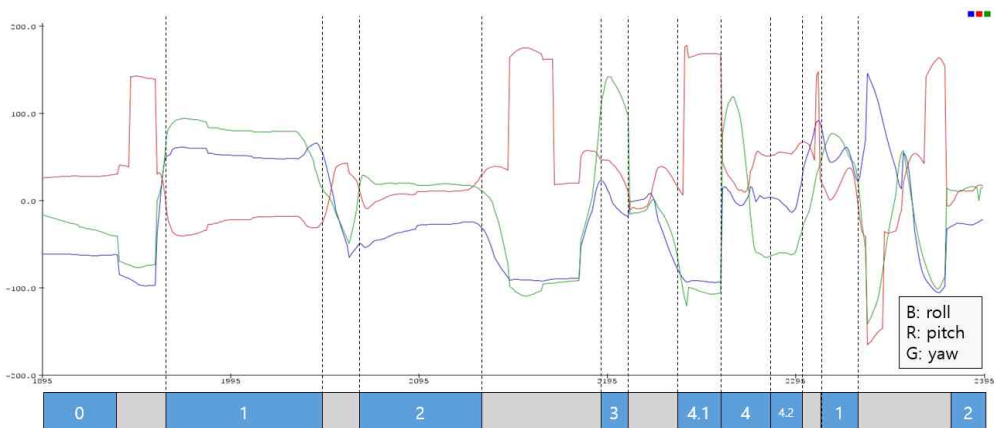


그림 3.10 왼손 디바이스로 측정된 값

오른손의 동작은 크게 3개로 분류되는데 이는 동작 3은 초기 동작인 동작 0과 같기 때문이다. 동작 1과 2는 각각 두 번씩 반복되는데 그래프에서 측정되는 값은 정확하지는 않지만, 일정 범위 내에서 유사하게 값이 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이에 실험에서 측정한 값을 이용하여 4장에서 웨어러블 디바이스를 제작하면서 해당 동작을 인식하여 원하는 시각적 퍼포먼스를 표현할 수 있도록 하였다.

3.3. 실험 결과

먼저, 테스트 동작 실험을 진행한 결과 같은 팔을 드는 동작을 하여도 손목의 비틀어짐으로 인해 전혀 다른 결과가 나오는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 속도는 그래프에서의 경사의 차이만 존재하고 동작을 하는 데에 나오는 결과값은 일정하게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

두 번째, 댄서의 동작 실험 결과를 표 3.2에 정리하였으며, 이는 댄서가 춤을 추었을 때 값의 범위와 인식횟수, 인식률을 나타낸 것으로, 총 20번의 실험을 진행한 결과이다. 실험에서 동작 0을 인식한 후에 진행하였고 기존 순서대로 진행하였다. 각의 인식 범위는 측정값의 최대, 최소값의 $\pm 15^\circ$ 로 측정하였다. 왼손과 오른손의 측정 범위가 다른 이유는 왼손과 오른손의 축이 손목에 부착된 디바이스의 각각의 축으로 설정되어 있기 때문이다. 또한, 왼손과 오른손의 움직임도 달라서 범위는 다르게 측정된다.

실험 결과는 다음과 같다. 첫째, 첫 번째 동작 1의 인식률이 90%로 가장 높았다. 해당 동작 인식의 오류는 실험을 진행하기 전 자세의 틀어짐으로 인해 일어난 경우로 해당 동작이 인식되지 않는 경우 다음 동작들 모두 인식이 되지 않았다. 둘째, 동작 3의 인식률이 85%로 두 번째로 높은 인식률을 보였다. 이는 오른손이 동작 0과 같아 비교적 높은 인식률을 보인 것이

다. 셋째, 동작 4는 가장 낮은 인식률을 보였는데 이는 양팔을 들어 올리면서 생기는 양 손목의 틀어짐이 오차에 영향을 미치는 것으로 실제 몇몇 경우에는 손목을 비틀었을 경우 인식되는 때도 있었다. 마지막으로 두 번째로 하는 동작 1, 2는 첫 번째에 비해 낮은 인식률을 보였다. 이 경우 동작과 동작 사이에 있는 중간 동작에서 손목을 비트는 현상으로 인해 빠르게 각도를 인식하지 못하는 것이다. 하지만 동작 4를 인식 하지 못하였음에도 인식하는 때도 있었는데 이는 동작 4보다 초기 자세인 동작 0과 유사한 동작이기 때문으로 보인다.

표 3.2 댄서의 동작 실험 결과

동작	손	범위 [°]			인식횟수	인식률
		roll	pitch	yaw		
0	R	75~105	-15~15	-15~15	20	-
	L	-105~-75	-15~45	-15~15		
1	R	45~90	-15~15	-70~-110	18	90%
	L	30~75	-45~-15	70~110		
2	R	-60~-15	-30~0	-45~0	15	75%
	L	-60~-10	-15~30	0~30		
3	R	-105~-75	-15~15	-15~15	17	85%
	L	-30~30	0~50	100~140		
4-1	R	-45~30	-60~0	-135~105	14	70%
	L	-120~-90	150~190	-120~-90		
4	R	-30~0	-30~70	80~120	13	65%
	L	-15~15	45~75	-75~-45		
4-2	R	-30~0	-30~70	80~120	13	65%
	L	-15~15	45~75	-75~-45		
1	R	45~90	-40~15	-70~-110	15	75%
	L	30~75	-15~45	45~90		
2	R	-60~-15	-30~0	-45~0	14	70%
	L	-60~-10	-15~30	0~30		

제 4 장 웨어러블 디바이스 개발

4.1. 적용 시나리오

본 논문에서 개발한 댄서의 의상의 동작을 기반으로 사용되는 웨어러블 디바이스의 시나리오는 두 가지를 제시한다. 첫 번째, 댄서가 무대에서 시각적 퍼포먼스를 표현할 때이다. 댄서가 웨어러블 디바이스를 입고 무대에서 춤을 추는데 원하는 동작을 하게 되면 LED의 빛이 변하여 시각적인 퍼포먼스를 가미하는 것이다. 이때 여러 명이 함께 동작하게 되면 같은 빛을 내게 되어 색다른 퍼포먼스를 보일 수 있다. 두 번째, 춤 연습을 하고 싶은 사용자가 웨어러블 디바이스를 착용한 후에 거울을 보면서 춤을 연습한다. 이때 정확한 동작을 하지 않으면 빛으로 사용자에게 알려주어 틀린 부분을 빠르게 알 수 있게 한다. 그림 4.1과 그림 4.2는 해당 시나리오에 대한 간단한 표현내용이다.



그림 4.1 시나리오 ①

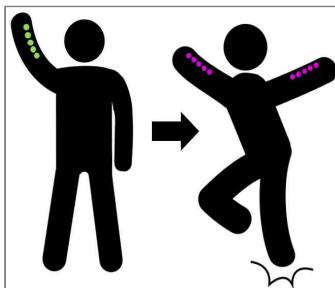


그림 4.2 시나리오 ②

4.2. 시스템 설계

1) 시스템의 구성

댄서의 동작 인식을 위해 디바이스는 사용자의 양팔에 각각 1개씩 들어가게 된다. 의상에 들어가는 디바이스의 구성으로는 댄서의 동작 실험에서 사용한 모듈들 외에 시각적으로 표현하기 위하여 LED가 배치된다. 그림 4.3은 웨어러블 디바이스 시스템 구성도이다. 왼쪽과 오른쪽 디바이스는 모두 MCU, IMU, 블루투스, RGB LED로 구성되어있다. 양팔에 부착된 디바이스는 양팔의 동작을 각각 인식하고 동작에 대한 값을 통신하여 현재의 동작을 판단한 후에 RGB LED를 통해 현재의 동작에 알맞은 값을 보여준다.

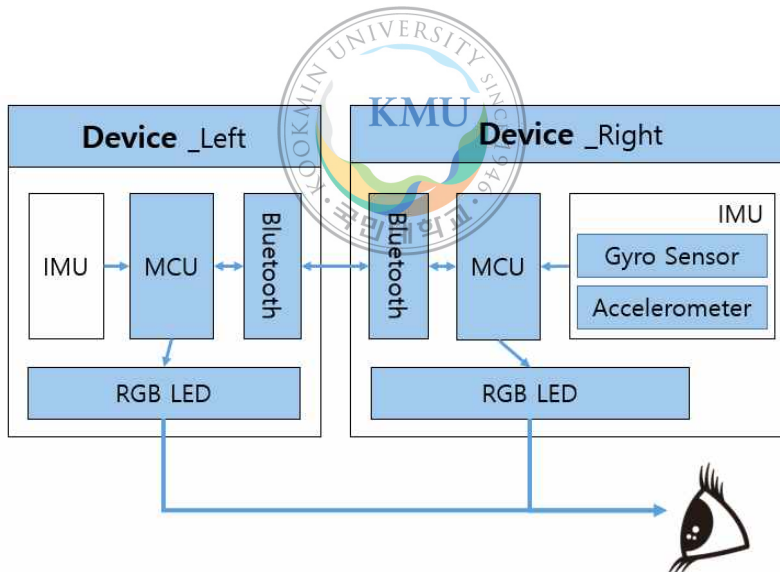


그림 4.3 시스템 구성도

2) 디바이스

그림 4.4는 의상에 들어가는 디바이스의 구성으로 댄서의 동작 실험에서 사용한 모듈들 외에 시각적으로 표현하기 위하여 RGB LED가 추가로 배치

된다. 해당 제작에서 웨어러블 디바이스에 사용된 RGB LED는 사용자(댄서)의 팔길이에 맞추어 총 13개가 들어갔고 디바이스 교체의 자유도를 높이기 위하여 탈착할 수 있게 제작하였다. 그림 4.5는 그림 4.4를 바탕으로 제작한 디바이스의 모습이다.

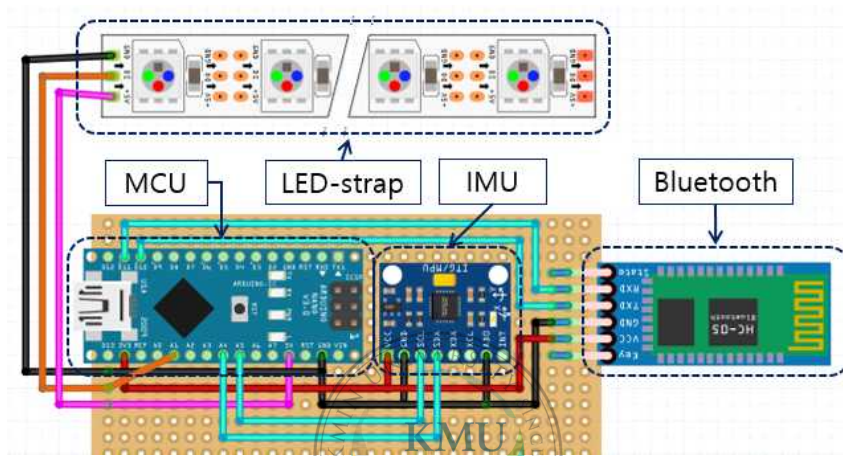


그림 4.4 디바이스의 구성

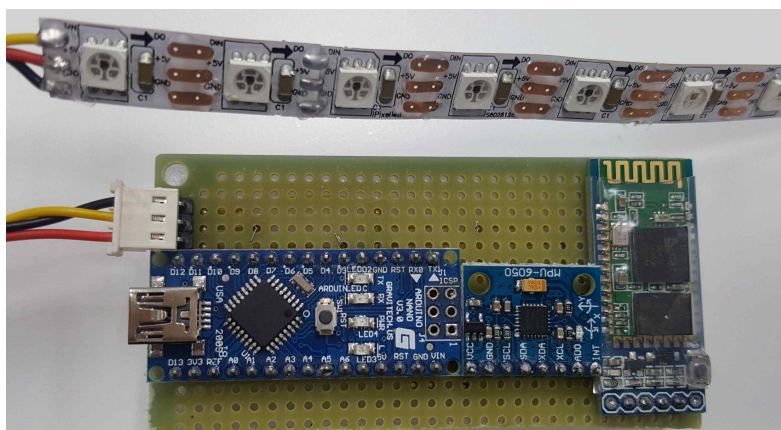


그림 4.5 디바이스 모습

4.3. 의상 설계

1) 의상 선택 요소

첫 번째, 액티브(Active) 감각³⁾ 중 캐주얼(Casual) 또는 스포티(Sporty)한 의상으로 활동적인 댄서의 의상으로 사용되므로 움직임이 편한 의상으로 선정하였다. 이러한 의상의 종류로는 대표적으로 스웨트 셔츠(sweat shirt, 맨투맨), 테니스셔츠(tennis shirt), 후드티(hoodies), 바시티(varsity, 야구잠바), 저지(jersey) 등을 꼽을 수 있다.

두 번째, 편리함이다. 의상에는 디바이스가 들어가기 때문에 의상의 탈착이 쉬워야 한다. 그러므로 사용자가 의상을 탈착하기 쉽고 디바이스가 들어가고도 불편하지 않은 의상이어야 한다. 이러한 조건에는 집업(Zip-up)과 같은 형태가 적합하다.

세 번째, 비주얼라이팅(Visual-lighting)으로 시각적인 효과를 주기 위해 LED-strap을 사용한다. 이 때문에 LED-strap을 효과적으로 배치하기 위하여 팔에 효과적으로 빛을 표현하기 위한 의상을 선정하였다.

이러한 요소들로 표 4.1과 같은 의상을 선정하였고 그중 하나인 그림 4.6을 선정하여 설계를 진행하였다.

3) 액티브(Active) 감각은 패션에서 8가지 미의식 계열(Active, Modern, Mannish, Country, Ethnic, Romantic, Elegance, Sophisticated) 중 하나로 동적, 스포티, 캐주얼한 것이 특징이다.

표 4.1 선택 요소로 선정한 의상

종류	의상 이미지
바시티 (varsity)	
후드티 (hoodies)	
저지 (jersey)	



그림 4.6 설계에 사용한 의상

2) 디바이스 배치

디바이스는 사용자의 양팔에 배치되며 그림 4.7로 투영도를 나타낼 수 있다. 디바이스는 손목에 고정되어야 하므로 사용자의 손목에 맞게 고정할 수 있는 플라스틱 버클을 이용하였다. 또한, LED는 빛이 투영이 잘 되게 하도록 의상의 팔에 존재하는 줄 하단에 배치하도록 하였다.

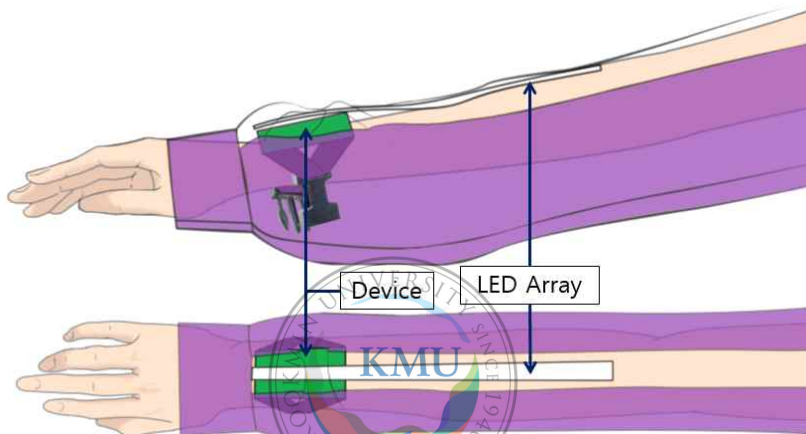


그림 4.7 의상에 배치하는 디바이스 투영도

그림 4.8은 디바이스를 손목에 안정적으로 고정하기 위해 제작한 것을 착용하여 촬영한 것으로, 그림 4.4에서 제작한 Device를 넣고 착용한 것이다. 이는 그림 4.5에서 제작한 디바이스를 넣을 수 있는 주머니 형태로 플라스틱 버클을 부착하여 사용자의 손목에 안정적으로 부착하도록 하였다.



그림 4.8 디바이스를 손목에 부착한 모습



4.4. 결과


그림 4.9는 완성된 웨어러블 디바이스를 착용한 모습으로 어두운 곳과 밝은 곳에서 본 모습이다. RGB LED를 의상에서 빛이 잘 투과되는 부분에 배치하여 시각적 효과를 잘 드러냈고 의상의 내부에 디바이스를 넣어 디바이스가 드러나지 않는 자연스러운 모습을 보여줄 수 있었다.









그림 4.9 완성된 웨어러블 디바이스

표 4.2는 웨어러블 디바이스를 착용하고 3장에서 진행한 댄서의 동작 인식실험을 이용하여 RGB LED의 색을 변화시킨 모습을 정리한 것이다. 처음 0번 동작에서는 양팔의 LED를 off, 1번 동작에서는 양팔의 색을 하얀색, 2번 동작에서는 파란색, 4번 동작에서는 보라색, 3번 동작에서는 오른팔을 off, 왼팔을 녹색으로 변화시켜 한 손만 포인트를 주고자 하였다.

표 4.2 완성된 웨어러블 디바이스의 동작별 LED 색상 변화 모습

동작	오른손		왼손	
0	color	off	off	
				
1	color	white	white	
				

2	color	blue	blue
			
3	color	off	green
			
4	color	purple	purple
			

제 5 장 결론

4차 산업혁명 시대에 맞추어 다양한 분야와 IT 기술의 융합이 이루어지고 있다. 공연예술 분야에도 기술들을 융합하여 다양한 퍼포먼스가 증가하는 모습을 볼 수 있다. 본 논문에서는 무대 퍼포먼스로 사용할 수 있는 웨어러블 디바이스를 제작하여 시각적 무대 퍼포먼스 방법을 제안하고자 하였다. 연구의 내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 동작 인식 센서를 이용한 각도를 추정하는 다양한 방법들인 상보 필터, 칼만 필터, DMP 쿼터니언을 고찰하면서 각 장단점을 도출하였다. 상보 필터는 일정한 변화에 강하지만 큰 각도로, 그리고 측정 범위의 경계인 $\pm 180^\circ$ 부분에서 가장 부정확하고 올바른 값을 추정하는데 가장 긴 시간이 걸렸다. 그리고 칼만 필터는 상보 필터보다 각도의 변화가 바뀌는 부분에서 강한 모습을 보였지만 마찬가지로 측정 범위의 경계인 $\pm 180^\circ$ 부분에서 부정확한 값이 측정되었다. 하지만 상보 필터보다는 빠르게 정확한 값을 계산하는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 쿼터니언은 센서에서 제공하는 값을 사용하였는데 다른 필터값보다는 오차율이 높은 모습을 보였고 $\pm 90^\circ$ 부분에서 값이 튀는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 센서값을 이용하므로 측정 범위의 경계인 $\pm 180^\circ$ 부분에서 강한 모습을 보였고 일정한 오차율을 보였다. 때문에, 다른 필터값에 비해 균일한 오차율과 측정 범위의 경계인 $\pm 180^\circ$ 에서 자유도가 높은 DMP 쿼터니언을 이용하여 3장과 4장을 진행하였다.

둘째, 동작 인식실험에서는 테스트 동작과 댄서의 동작 부분으로 나누어 진행하였다. 디바이스의 구성은 MCU와 IMU로 기본적으로 같지만, 댄서의 동작은 양팔을 사용하므로 서로 통신할 수 있는 블루투스를 추가하여 진행하였다. 먼저, 테스트 동작 실험으로 인해 같은 동작을 하더라도 손목의 비

틀어짐으로 인해 전혀 다른 동작으로 인식할 수 있다는 것이다. 때문에, 같은 동작으로 인식하는 것에 대해 손목의 비틀림에 유의해야 함을 알 수 있었다. 그리고 댄서의 동작 실험으로 양팔의 값을 측정하고 분류하여 같은 동작을 하였을 때 동작을 인식하는 인식률을 구하였다. 인식률은 처음 동작에서 가장 높은 인식률을 보였고 처음 자세와 근사한 동작이 다음으로 높은 인식률을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 의상에 결합한 프로토타입의 웨어러블 디바이스를 제작하였다. 의상 선정에는 액티브 감각의 캐주얼, 스포티하고 편리한 의상 중 비주얼라이팅을 효과적으로 하기 위한 의상을 선정하여 디바이스를 부착하였고 사용자의 손목에 안정적으로 고정시키기 위해 버클을 이용하였다. 또한 3장에서 실험한 댄서의 동작을 기반으로 의상에 부착된 RGB LED를 변화시킬 수 있도록 제작하였다.

향후 연구에서는 가속도, 자이로 센서만이 아닌 방향을 특정할 수 있는 지자계 센서를 포함한 센서를 사용하여 설계하는 것을 제안한다. 이는 두 센서만으로 측정하는 yaw 값에는 한계가 존재하기 때문에 일정하게 방향을 인식할 수 있는 지자계 센서를 포함하여 측정한다면 본 논문에서 생기는 초기 자세로 생기는 오차율을 감소시킬 수 있을 것이다. 또한, 스마트폰 애플리케이션을 같이 사용하여 사용자가 원하는 대로 색상을 바꿔 보다 다양한 시각적 퍼포먼스를 보여줄 수 있는 웨어러블 디바이스를 제작할 수 있을 것이다.

본 논문은 의상 형태의 웨어러블 디바이스를 댄서가 무대에서 사용할 수 있는 방법을 제시하는 것에 의의가 있고 이는 동작 인식 센서의 특성으로 여러 명이 같은 동작을 했을 때 비주얼라이트 퍼포먼스를 보여주는 방법을 제시하였다. 향후 동작 인식률을 높여 무대에서 사용이 가능한 웨어러블 디바이스가 제작되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 김진하, “제4차 산업혁명 시대, 미래사회 변화에 대한 전략적 대응 방안 모색”, KISTPEP InI, 제15호, pp. 45-58, Aug. 2016.
- [2] 권기덕, “웨어러블 기기의 부상과 성공조건”, SERI 경영 노트, 제184호, May 24, 2013.
- [3] 이나영, 라솔지 et. al. “Development of Real Time Fine Dust Smart Fashion Tag Device using Open API”, IJITEE, ISSN:2278-3075, Volume 8, pp. 219-225, Jan. 2019.
- [4] 나연목, 정현태, 최재훈, “웨어러블 컴퓨터의 현황과 전망”, KEIT PD 이슈리포트, 제6호, pp. 59-77, 2013년 6월.
- [5] 고규훈, “인터랙티브 퍼포먼스의 실시간 상호작용과 이로 인한 기존 공연과의 차별성”, 성균관대학원, 석사학위논문, 2002.
- [6] 유미옥, 박경주, “파티클 시스템을 이용한 실시간 인터랙티브 퍼포먼스 : Rhythmic Gesture(마리오네트의 꿈) 사례를 중심으로,” 한국콘텐츠학회논문지, 2010.
- [7] 김정환, “MEMS 기술 및 시장 동향”, ITFIND 주간기술동향, 1092호, 2003년 4월.
- [8] “모션 센서 시장”, 연구개발특구진흥재단, 연구개발특구기술 글로벌 시장동향 보고서, 2018년 2월.
- [9] 홍동표, 우운택, “제스처기반 사용자 인터페이스에 대한 연구 동향”, Telecommunications Review, 제13권 3호, pp. 403-413, 2008년 6월.
- [10] 류한석, “동작인식 기술 트렌드 및 시사점”, DIGIECO Issue&Trend, pp. 1-10, 2015년 3월.
- [11] 이나영, 김기두, “동작 인식 센서를 이용한 웨어러블 디바이스 선행기술 조사 분석”, 지식재산교육연구학회 춘계학술대회, pp. 41-47, 2019

년 4월.

- [12] “Gyroscope”, 위키백과, 2019년 2월 20일 수정, 2019년 3월 28일 접속, <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>
- [13] “Euler angles”, 위키백과, 2019년 4월 7일 수정, 2019년 4월 29일 접속, https://en.wikipedia.org/wiki/Euler_angles
- [14] Hong, Sung Kyung. "Fuzzy logic based closed-loop strapdown attitude system for unmanned aerial vehicle (UAV)." Sensors and Actuators A: Physical 107.2 (2003): 109-118.
- [15] Wendel, Jan, et al. "An integrated GPS/MEMS-IMU navigation system for an autonomous helicopter." Aerospace Science and Technology 10.6 (2006): 527-533.
- [16] Saripalli, Srikanth, James F. Montgomery, and Gaurav S. Sukhatme. "Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle." IEEE transactions on robotics and automation 19.3 (2003): 371-380.
- [17] Vasconcelos, José Fernandes, et al. "Geometric approach to strapdown magnetometer calibration in sensor frame." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 47.2 (2011): 1293-1306.
- [18] Godha, Saurabh. "Performance evaluation of low cost MEMS-based IMU integrated with GPS for land vehicle navigation application." UCGE report 20239 (2006).
- [19] Saadeddin, Kamal, Mamoun F. Abdel-Hafez, and Mohammad Amin Jarrah. "Estimating vehicle state by GPS/IMU fusion with vehicle dynamics." Journal of Intelligent & Robotic Systems 74.1-

- 2 (2014): 147-172.
- [20] Sukkarieh, Salah, Eduardo Mario Nebot, and Hugh F. Durrant-Whyte. "A high integrity IMU/GPS navigation loop for autonomous land vehicle applications." *IEEE transactions on robotics and automation* 15.3 (1999): 572-578.
- [21] 장태호, 김영식, 장태수. “외부가속도와 바이어스 효과를 고려한 칼만 필터 기반 자세추정 방법 비교”, *한국정밀공학회지*, 제35권 제8호, pp. 745-752, 2018년 8월.
- [22] Valerie Renaudin, Christophe Combettes, “Magnetic, Acceleration Fields and Gyroscope Quaternion (MAGYQ)-Based Attitude Estimation with Smartphone Sensors for Indoor Pedestrian Navigation”, *Sensors* 14.12 (2014): 22864-22890.
- [23] 민재홍, 김인규 et. al. “칼만 필터와 가중탐색영역 CAMShift를 이용한 휴먼 바디 트래킹 및 자세추정”, *한국항행학회 논문지*, 제16권 제3호, 2012년 6월.
- [24] 양철오, 이대성 et. al. “3축 가속도 센서를 이용한 이동 물체의 자세 각 측정”, *대한전기학회 학술대회 논문집*, pp. 1728-1729, 2010년 7월.
- [25] “왜 두 개의 센서를 융합하는가?”, *Media Contents*, 2012년 2월 25일 수정, 2019년 2월 1일 접속, <http://www.ntrexgo.com/archives/3930>
- [26] Albert-Jan Baerveldt, Robert Klang, "A Low-cost and Low-weight Attitude Estimation System for an Autonomous Helicopter", *IEEE international conference on intelligent engineering systems, proceeding*, Budapest Hungary, pp. 391-395, Sep. 1997.

- [27] 민형기, 윤주한 et. al. “최소자승법을 이용한 상보필터의 설계”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 125-130, 2011년 2월.
- [28] “칼만 필터”, 위키백과, 2019년 3월 22 수정, 2019년 4월 18일 접속, https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B9%BC%EB%A7%8C_%ED%95%84%ED%84%B0
- [29] 게이오의숙대학 이공학부, “선형 칼만 필터 기초”, HelloT, 2018년 1월, http://magazine.hellot.net/magz/article/articleDetail.do?flag=all&showType=showType1&articleId=ARTI_000000000045572&articleAllListSortType=sort_1&page=2&selectYearMonth=2018&subCtgId=CATEGORY_00000000394
- [30] Lauszus, K. S. "TKJ, Electronics." A Practical APPROACH TO KALMAN FILTER AND HOW TO IMPLEMENT IT. Sep. 2012.
- [31] HowStuffWorks, “What is a gimbal - and what does it have to do with NASA?”, <https://science.howstuffworks.com/gimbal1.htm> (access Mar 15, 2019).
- [32] 양광웅, “Quaternion”, KITECH, May 22, 2014.
- [33] Madgwick, O. H. “An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays”, Report x-io and University of Bristol(UK) 25, April 30, 2010.

Abstract

Development of Motion Recognition Wearable Device for Dancer's Group Dance

by Lee, Nayoung

Department of Convergence Design and Technology
Graduate School, Kookmin University,
Seoul, Korea

Recently, as the interest of the fourth industrial revolution has increased, the interest of core technologies has increased. As a result, interest and research on the convergence of various fields and information and communication technology(ICT) has increased. One of the results of this convergence, the ultimate goal of a wearable device is that the user can wear and use it all the time, like a part of the body, without repulsion, and to complement or double up the human abilities. As technology is developed, the performing arts field is also developing. It has been merging and applying interfaces of other genres and other media as one of the main characteristics of media interactivity of performing arts.

In this paper, we developed motion recognition wearable device that dancers can use as visual performance on the stage.

Therefore, experiments were carried out by selecting filters suitable for wearable devices with complementary filters, Kalman filters, and quaternions related to motion recognition technology. And wearable device is designed and implemented by using filters.

