

VR의 몰입감 향상을 위한 AHRS 센서 데이터 값 보정

오암석*

AHRS Sensor Data Correction for Improved Immersion in VR

Am-Suk Oh*

Department of Digital Media Engineering, Tongmyong University, Pusan, 48520 Korea

요 약

4차 산업혁명의 핵심 기술 분야의 가상현실(Virtual Reality)과 증강현실(Augmented Reality)의 발달로 인해 VR/AR시장이 크게 성장하였다. VR은 기본적으로 공간과 시간에 초점을 맞추고 있고, 인간의 두뇌는 시간적 사건에 매우 민감하기 때문에 두뇌의 인지능력에 영향을 주지 않기 위해선 가상현실 기술 중 하나인 입출력 인터페이스 기술을 정확하게 만드는 것이 중요하다. VR은 디스플레이와 생체신호인식을 위한 센서 등 하드웨어의 기술의존도가 상당하다. 본 논문에서는 VR의 하드웨어 의존도를 고려해 센서 디바이스를 이용하여 민감한 두뇌에 영향을 끼치지 않기 위해 사용자 움직임이 디스플레이 화면에 완전히 반영되는 시간 MTP(Motion to Photon)을 20m/s 이하로 낮추기 위한 여러 가지 보정방법과 필터링에 대한 실험을 진행하였다.

ABSTRACT

The VR / AR market has grown significantly due to the development of virtual reality and augmented reality in the core technology field of the 4th Industrial Revolution. Since VR is basically focused on space and time, and the human brain is very sensitive to temporal events, it is important to make accurate I / O interface technology, one of the virtual reality technologies, not to affect the brain's cognitive ability. VR depends on the technology of the hardware such as the display and the sensor for biometric signal recognition. In this paper, in order to prevent the sensitive brain from affecting the sensor device in consideration of hardware dependency of VR, it is necessary to make various corrections to lower the motion to photon (MTP) to 20m / s or less experiments on the method and filtering were carried out.

키워드 : AHRS, 칼만 필터, 상보 필터, 가상현실, MPU

Key word : AHRS, Kalman filter, complementary filter, VR, MPU

Received 27 September 2018, Revised 8 October 2018, Accepted 20 October 2018

* Corresponding Author Am-Suk Oh(E-mail:asoh@tu.ac.kr, Tel:+82-51-629-1211)

Department of Digital Media Engineering, Tongmyong University, Pusan, 48520 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.11.1413>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

가상현실(Virtual Reality) / 증강현실(Augmented Reality) 기술은 차세대 컴퓨팅 플랫폼 기술로서 향후 기존 ICT(Information & Communication Technology) 시장을 크게 변화시키고 신규 시장을 창출 할 수 있는 파괴적인 기술이다. VR/AR 기술 분야는 4차 산업혁명 시대의 핵심 기술 분야이고 전 세계적으로 집중적으로 연구되고 있다. VR의 성능은 기본적으로 공간적 및 시간적 핵심성과지표 KPI(Key Performance Indicator)의 집합이며, 시간적 성과에 초점을 맞추고 있다. 인간의 두뇌는 시간적 사건에 매우 민감하기 때문에 시간 성능은 매우 중요하다. 민감한 두뇌의 인지능력이 영향을 주지 않기 위해서 가상현실 기술 중 하나인 입출력 인터페이스 기술을 보다 정확하게 만드는 것이 중요하다. 자세히는 입력 디바이스를 통한 정확한 동작 및 위치인식 기술을 말한다[1-3].

입출력 인터페이스 기술은 HMD와 같은 착용형 디스플레이와 제스처나 생체신호 인식을 위한 센서 디바이스 등 하드웨어 기술의 의존도가 높으며 특히 사용자의 인지능력에 많은 영향을 미치는 실시간성과 정확성을 확보하는 것이 중요하다. 다시 말해 민감한 두뇌의 인지능력에 영향을 주지 않기 위해서는 실시간성과 정확성을 확보해야한다. 본 논문은 하드웨어 기술의 의존도가 높은 VR의 환경을 고려해 센서 디바이스를 이용해 실시간성과 정확성을 확보하는 방법을 연구한다. 실시간성과 정확성을 사람의 인지능력에 영향을 주지 않기 위해서는 사용자 움직임이 디스플레이 화면에 완전히 반영되는 시간 MTP(Motion to Photon)을 20m/s 이하로 낮춰야 한다[4-6]. MTP를 낮추기 위해 입력 인터페이스 즉, 센서 하드웨어가 측정된 값이 출력 인터페이스로 전송 될 때의 속도와 정확한 데이터 값의 향상을 위해 단일 센서 하드웨어를 만들고 여러가지 보정 방법과 필터링을 거쳐 비교 실험을 진행하였으며, 센서 하드웨어의 최적의 환경을 찾는다.

II. 하드웨어 구성

하드웨어와 보정에서는 MTP를 낮추는 실험을 위한 하드웨어의 전체 구성과 각 부품의 세세한 정보를 설명

하고 데이터 처리에 필요한 기본 지식과 다양한 필터링, 데이터의 비교를 설명하고 있다.

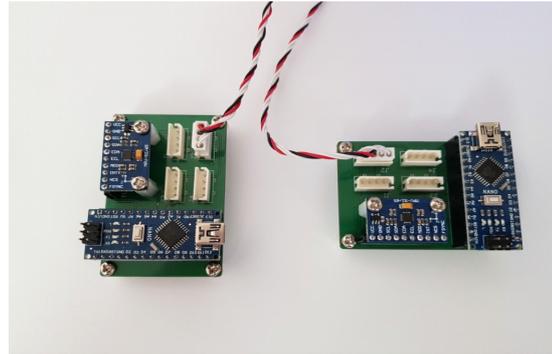


Fig. 1 Full hardware configuration

그림. 1은 데이터 테스트를 위한 하드웨어의 구성이다. 자세를 추정하기 위해서는 여러 곳에서 데이터를 입력 받아야하기 때문에 간단한 테스트를 위해 두 지점에서 테스트 데이터를 받을 수 있게 제작하였다. 단일 하드웨어의 구성은 아두이노 나노(NANO)와 MPU-9250을 결합한 형태이고 2개를 연결한 상태다. PC와의 연결은 Mini-B USB를 사용한다.

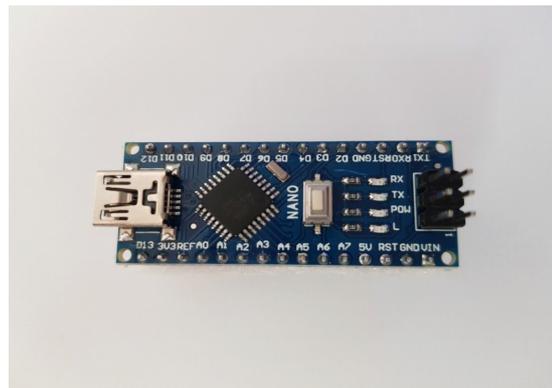


Fig. 2 Arduino NANO

그림. 2는 MPU-9250 센서와 연결을 위한 아두이노 나노(NANO)의 모습이다. 아두이노 나노의 역할은 다수의 스위치나 센서로부터 값을 받아들여, LED나 모터와 같은 외부 전자 장치들을 통제함으로써 환경과 상호작용이 가능한 물건을 만들어 낼 수 있는 임베디드 시스템 중의 하나로 쉽게 개발과 장치 제어를 할 수 있다.

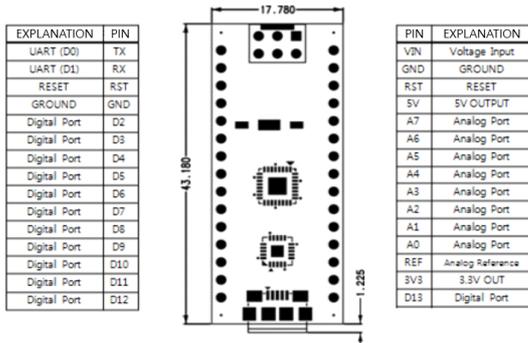


Fig. 3 Arduino NANO Schematic

ARDUINO NANO	
MCU	ATmega168 or ATmega328
Dynamic Voltage	5V
Input Voltage	7 ~ 12V
Digital I/O PIN	14 (Includes 6 PWM)
PWM	6
Analog Input PIN	8
I/O PIN Current	40 mA
Flash Memory	16KB(ATmega168), 32KB(ATmega328) (Using the bootloader 2kb)
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 Byte (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Fig. 4 Arduino Nano Configuration Diagram

그림. 3과 그림. 4는 아두이노 나노의 회로도 및 구성 표이다. 아두이노 나노와 PC의 연결은 Mini-B USB 케이블을 사용하고 전원공급 또한 받는다. 14개의 Digital I/O Pin과 6개의 PWM(Pulse Width Modulation)을 가지고 있다. 그리고 아두이노 우노(UNO)의 6개의 Analog Input Pin 보다 2개 더 많은 8개의 Analog Input Pin을 가지고 있다. 아두이노 나노는 크기가 작기 때문에 회로 구성이 쉽고 MCU(Micro Controller Unit)는 ATmega328을 사용한다.



Fig. 5 MPU-9250 Sensor

그림. 5는 MPU-9250 센서의 모습이며 AHRS (Attitude Heading Reference System) 장치로 9축 이동 정보를 측정하기 위해 아두이노 나노와 MPU-9250 센서를 사용했다. MPU-9250 센서는 가속도 센서, 자이로 센서, 지자기 센서가 1개의 센서에 모두 포함되어 있고 3차원 공간에서 센서의 가속도, 각속도, 지자기를 측정하여 벡터 형태의 자료로 값을 나타낸다. 또한 I2C통신 프로토콜을 통해서 통신 할 수 있고 모듈 내부에 전원 레귤레이터를 포함하고 있어 저전력(3.3V ~ 5V)을 사용할 수 있다. MPU-9250의 포함된 센서 중 지자기 센서는 지구 자기장을 측정하는 센서 이고 측정 단위는 마이크로 테슬라(μT)이고 자이로 센서는 회전하는 물체의 회전각을 감지하는 센서 이며 단위는 degree/sec이고, 가속도 센서는 물체의 가속도를 측정하는 센서 이며 단위는 중력 가속도(g) 이다[7-8].

III. 보정

3.1. Raw Data 처리

다음 그림. 6은 공중이라는 3차원 공간에서 항공기(물체)의 기본 3축에 대한 회전을 의미하는 Roll, Pitch, Yaw를 설명하는 그림이다.

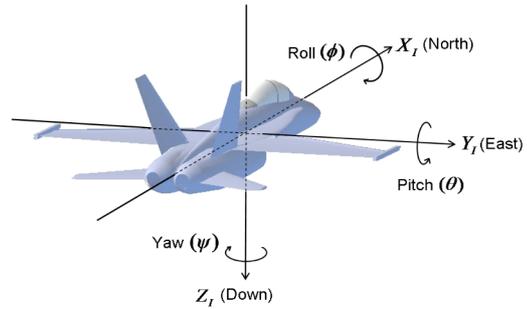


Fig. 6 Information of axes in three-dimensional space

- 롤(Roll)
영어 그대로 구르는 회전을 의미한다. 축으로 말하면 팔 자체를 하나의 축으로 보는 회전을 의미한다.
- 피치(Pitch)
야구에서처럼 야구선수가 공을 던지는 것과 같은 방향이라는 의미로, 던질 때 손목을 이용한 위아래 회전을 의미한다. 축으로 말하면 손바닥 좌우를 잇

는 연장선을 축으로 하는 회전을 의미한다.

• 요(Yaw)

손목 좌우 회전을 의미한다. 축으로 말하면 손바닥과 손등을 꿰뚫는 연장선을 축으로 하는 회전을 의미한다.

mpu-9250 센서의 출력 값은 단순한 측정값이기 때문에 자세추정(Roll, Pitch, Yaw)과 위치추정(x, y, z)에서 사용되는 값들로 보정하여 사용해야 한다[4]. 가속도 센서와 자이로 센서 각각으로 Roll, Pitch값을 구할 수 있다. 가속도 센서로 Roll값을 구하는 방법은 다음 수식(1)과 같다. Pitch값은 yValue 대신 xValue를 사용하면 된다.

$$xAngle_{accel} = \arctan \frac{yValue}{zValue} \times 180 \div \pi \quad (1)$$

다음으로 자이로 센서로 Roll, Pitch값을 구하는 방법은 다음 수식(2)와 같다.

$$(double) Value \div 16383.0 \times 90.0 \quad (2)$$

$$xAngle_{gyro} = xAngle_{gyro} + (xValue \times dt)$$

하지만 하나의 센서 만으로 Roll, Pitch를 구하게 되면 오류가 발생한다. 가속도 센서 만 사용할 경우 진동과 외력(이동)에 측정값이 왜곡될 수 있고 자이로 센서의 경우 각속도 값에서 각도를 구할 때 적분을 해야 하는데 적분을 하는 과정에서 센서의 노이즈도 같이 적분되기 때문에 누적오차가 커지게 된다. 따라서 이 두 센서의 장점만 결합해 값을 보정해줘야 한다[9-11]. 이러한 역할을 하는 것이 칼만 필터(Kalman Filter)와 상보 필터(Complementary Filter) 이고 다음 그림. 7 각각의 센서에서 단순한 측정값을 가지고 상보 필터와 칼만 필터를 통한 Roll, Pitch, Yaw값을 출력하는 과정이다.

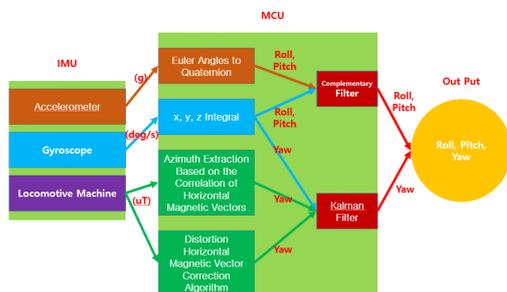


Fig. 7 Process of sensor data

본 논문에서는 Roll, Pitch, Yaw의 값을 상보 필터와 칼만 필터를 비교 분석 하였다.

3.2. 상보 필터(Complementary Filter)

상보 필터는 가속도와 자이로의 형태를 가진다. 가속도는 시간에 따른 속도의 변화량이고 자이로는 각속도를 측정, 즉 특정 축을 기준으로 회전하는 속도를 나타낸다. 가속도 센서는 주로 어느 정도 기울어졌는지 각도 측정에 사용되고 이때 각도는 중력 가속도를 이용한다. 연직방향으로 작용하는 중력을 어느 각이 어느 정도 받고 있는지를 이용해 기울어진 정도를 측정한다. 이때 z 축과 다른 축의 값을 atan2 연산하여 연직방향에 비해 얼마나 기울어졌는지를 측정한다. 실제 센서를 바닥에 두고 측정하였을 때 z 값이 16383, x와 y는 0의 값이 나온다. 하지만 어느 방향으로든 움직일 경우 그 방향으로 가속도가 발생하기 때문에 센서의 값에 오차를 주게 된다. 자이로 센서는 센서 값을 적분하면 각도를 얻을 수 있다. 하지만 자이로 센서에도 오차가 있기 때문에 매 순간 조금씩 오차가 발생하게 되고 이를 적분을 통해 값을 얻어내면 측정된 각도가 틀어지는 드리프트 현상이 나타난다. 이 두 가지를 합쳐 이상적인 값을 얻는 것을 상보필터라 하고 아두이노와 같은 저성능 보드에서도 잘 동작한다. 수식(3)과 같은 공식을 통해 결과 값을 얻는다.[10]

$$Ang = 0.98 \times (Ang + gyrData \times dt) + 0.02 \times (accData) \quad (3)$$

Ang은 출력할 각도, gyrData는 자이로 값, dt는 적분할 시간, accData는 가속도를 이용한 각도 데이터이다. 이때 Ang가 2개 나오는데 오른쪽의 Ang는 매번 업데이트 되는 값이다.

3.3. 칼만 필터(Kalman Filter)

칼만 필터는 루프만 칼만(Rudolf E. Kalman)이 1960년대 초 개발한 필터로 과거의 정보와 새로운 측정값을 사용하여 측정값에 포함된 잡음을 제거시켜 최적의 값을 추적하는데 사용하는 알고리즘이다. 선형적 움직임을 갖는 대상에 재귀적으로 동작한다[12-14]. 이는 누적된 과거 데이터와 현재 얻을 수 있는 최선의 측정치로 현재 상태를 추정하고자 함으로 결국, 자연계의 움직임

은 어느 정도 예측 가능하고 일반적 움직임의 물성을 갖기 때문이다. 선형 시스템은 행렬 연산을 가능하게 만들고 잡음은 시간에 영향이 없는 백색 잡음이고 정규 분포표를 따라야 한다. 칼만 필터는 크게 2가지 구조를 가지고 있다. 예측(Prediction)단계와 보정(Update)단계이다. 예측 단계에서는 이전시간에 추정된 상태에 따라 사용자 입력이 들어왔을 경우 예상되는 상태를 계산한다. 보정단계에서는 앞의 예측 상태와 실제 측정 상태를 토대로 정확한 상태를 계산한다. 즉, 예측과 보정 단계를 반복적으로 수행해 올바른 값으로 유도된다[15-16].

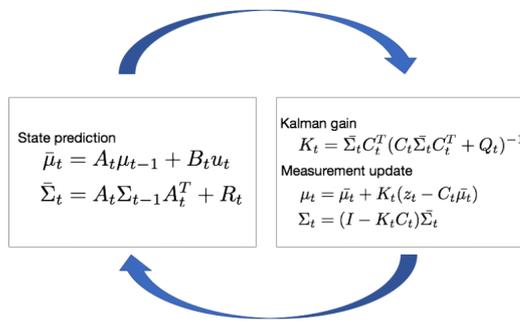


Fig. 8 Circular process of step-by-step formula of multidimensional Kalman filter

그림. 8은 칼만 필터의 예측 단계와 보정 단계의 반복적으로 수행되는 공식들을 나타낸다.

IV. MPU-9250 센서 실험

4.1. 가속도 센서 측정

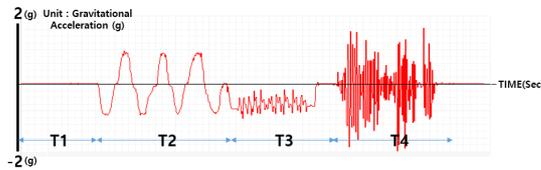


Fig. 9 Data measurement of acceleration sensor

그림. 9는 가속도계로 측정된 x축의 데이터를 단위변환을 한 그래프로 나타낸 것이다. 가속도 센서의 설정은 2g (중력가속도) 까지 측정할 수 있게 설정하였고, 센서는 -16384 에서 +16384 까지 값을 반환하기 때문에 센서 값에서 16384를 나눠주면 각 축에 대한 중력가속도

값이 나온다. 그림. 9에서 T1 부터 T4까지 구간을 나눴다.

- T1구간은 센서를 평평한 구간에 두고 정지한 상태이다. 정지 상태 때의 오차는 0.01 정도의 오차로 변화가 있었다.
- T2구간은 센서를 12시 방향에서 6시 방향으로 움직임을 반복해서 가속도를 변화시킨 상태이다. T3과 T4구간은 가속도 센서의 약점을 나타내는 구간이다.
- T3구간은 기울어진 상태에서 오른쪽으로 가속한 상태이고 기울어진 축에 가속도가 추가된 모습이다. 가속도 센서로 각도를 구하는 방법은 두 축 값의 비율을 atan계산을 하면 되는데 T3구간처럼 한쪽으로 가속을 하면 움직이는 방향으로 가속도가 생기게 되고 결과적으로 중력에 의해 측정되는 가속도 값과 구분이 안 된다 즉, 정지하지 않은 움직임 상태에서는 가속도 센서만으로 기울기 값을 측정할 수 없다.
- T4구간은 가속도 센서의 취약점인 진동상태이다. 진동과 충격에 약한 모습을 보여 측정한 값이 엉뚱한 값을 나타내거나 큰 폭으로 변화하였다.

4.2. 지자기 센서 측정

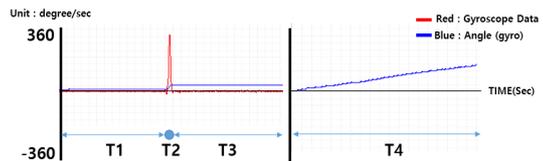


Fig. 10 Data measurement and drift phenomenon of geomagnetic sensor

그림. 10은 자이로 센서의 측정 그래프이다. 빨강 그래프는 자이로 센서의 측정값이고 파랑 그래프는 자이로 센서의 값으로 각도를 얻기 위해 적분을 한 그래프이다. 자이로 센서의 설정은 250감도로 설정했다. 그래프는 T1 부터 T4까지 구간을 나눴다.

- T1구간은 자이로 센서를 정지한 상태이다.
- T2구간은 자이로 센서를 움직여 각도를 변화하고 그 상태로 정지한 상태이다. 각도를 구한 파랑 그래프를 보면 각도가 변한 상태를 확인할 수 있다. 이 구간은 자이로 센서로 각도를 얻을 때 적분을 하는 이유를 설명한다. T2시점에서 각도가 변화했지만

다시 정지상태가 되서 값이 0이 된다. 즉, 전체 시간에 해당하는 만큼 적분을 해야 하는 이유이다.

- T3 구간은 각도 변화 후 다시 정지한 상태이다. 빨강 그래프의 자이로 센서의 값은 0이지만 파랑 그래프의 센서로 구한 각도는 증가한 상태를 알 수 있다.
- T4구간은 자이로 센서로 각도를 구할 때의 문제점인 드리프트 현상을 나타낸다. 센서에서 측정되는 각속도는 노이즈가 생기든 어떠한 이유에 의해 측정값에 에러가 계속 생기는데, 이 오차가 적분을 할 때 누적되어 최종 값이 드리프트 되는 현상을 나타낸다.

4.3. 상보 필터와 센서 각도 비교

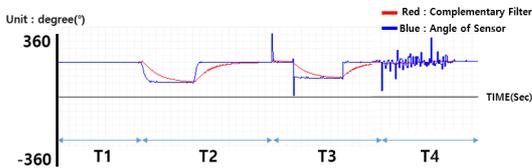


Fig. 11 Measure the data through sensor angle and complementary filter

그림. 11은 센서로 각도를 구한 그래프와 상보 필터를 거친 각도의 그래프이다. 빨강 그래프는 상보 필터 적용, 파랑 그래프는 센서로 구한 각도이다. 상보 필터는 수식(3)을 사용해서 얻어진 결과이다.

- T1 구간은 정지 상태이다. 이때는 오차 없이 두 그래프가 일치하는 모습을 볼 수 있다.
- T2 구간은 센서를 천천히 일정한 각도로 변화한 후 정지한 모습이다. 센서로 구한 각도는 각도의 변화를 민감하게 잡아내지만 위의 2.3.1과 2.3.2의 문제점들이 남아있다. 상보필터를 거친 빨강 그래프는 각도의 변화까지 보다 천천히 각도를 찾아간다.
- T3 구간은 센서의 각도를 빠른 시간에 변화한 그래프이다. 파랑 그래프가 급변하는 지점이 센서를 움직인 곳이고 이 그래프는 원래의 각도보다 더 크게 값을 나타내고 원래의 각도를 출력한다. 하지만 상보필터를 거친 빨강그래프는 각도가 급변해도 안정적이게 각도를 찾아가는 모습을 볼 수 있다.
- T4 구간은 센서에 진동과 충격이 가해진 상황이다. 상보필터는 진동과 충격에 강한 모습을 보였지만

센서의 값은 많은 수치 변화를 보였다.

4.4. 상보 필터와 칼만 필터 비교

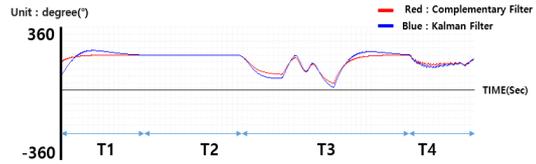


Fig. 12 Comparison of Complementary and Kalman Filter Data

그림. 12는 상보 필터와 칼만 필터를 비교한 그래프이다. 그래프의 구간은 T1 부터 T4까지이고 빨강 그래프는 상보 필터를 파랑 그래프는 칼만 필터를 나타낸다.

- T1 구간은 센서를 처음 작동 했을 때의 올바른 각도 값을 찾아가는 과정을 나타낸다. 센서를 가만히 두고 측정 했을 때 180도 정도가 나왔다. 상보 필터는 칼만 필터 보다 연산이 적어서 비교적 빠르게 올바른 값(180도)을 찾아간다. 반면 칼만 필터의 경우 원래의 값보다 더 높게 측정하였다가 올바른 값으로 찾아가고, 상보 필터 보다 비교적 느리다.
- T2 구간은 센서를 정지 상태로 두었을 경우이다. 정지 상태로 지속되어도 2개의 필터들은 오차를 나타내지 않고 정확한 값을 계속 출력하였다.
- T3 구간은 센서를 움직이는 경우이다. 두 필터 모두 센서의 움직임에 정확하게 반응하는 모습을 볼 수 있는데, 상보 필터의 경우 칼만 필터 보다 빠르게 계산되고 칼만 필터는 움직임 동안 원래의 센서 각도보다 더 많이 측정값을 나타내다가 서서히 올바른 값으로 찾아가는 현상을 보였다.
- T4 구간은 센서가 진동할경우이다. 두 필터 모두 떨리는 상태의 각도를 정확하게 잡아내는 모습이다.

그림. 13은 칼만 필터와 상보 필터의 처리시간을 나타내는 그래프이다. 단위는 마이크로초(μs)로 100만 분의 1초를 말한다. 상보 필터의 처리 시간은 평균 $75\mu s$ 정도가 나왔고, 칼만 필터의 경우 평균 $635\mu s$ 정도로 약 $560\mu s$ 정도 차이가 난다.(0.00056초)

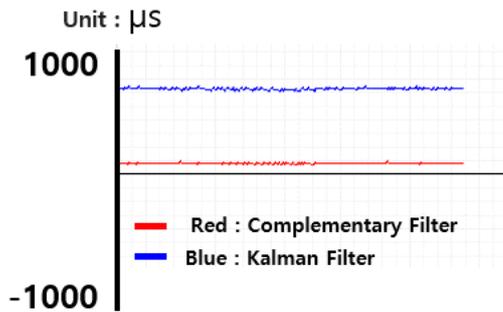


Fig. 13 Comparison of processing time of complementary filter and Kalman filter

V. 결론

센서에서 들어오는 값들을 처리하는 방법과 칼만 필터와 상보 필터를 거친 후 데이터를 비교했다. 가속도 센서의 경우 중력가속도의 값의 변화를 민감하게 측정했지만 진동과 충격에 취약했다. 또 가속도 센서만으로 각도를 추정할 때 이동할 때의 중력 가속도가 센서값에 더해져 각 축에 대한 정확한 값을 알 수가 없었다. 자이로 센서의 경우 각속도를 측정하는데 각도가 바뀐 후 정지하면 각속도는 0이지만 실제 각도는 움직인 후의 각도가 된다. 따라서 자이로 센서로 각도를 측정하려면 센서 값을 시간으로 적분을 해서 구한다. 이때 자이로 센서는 어떠한 경우든 오차가 조금씩 나타나는데 이 오차가 적분에도 영향을 미쳐 자이로 센서로 구한 각도 값이 계속 증가하는 드리프트 현상이 발생했다. 이 두 가지의 장점을 살려 측정값을 나타내는 필터가 필요하였다. 3차원 공간에서 물체의 자세추정을 위한 필터는 대표적으로 칼만 필터와 상보 필터가 있다. 상보 필터는 가속도와 자이로의 결과의 합인 형태를 가진다. 칼만 필터에 비해 연산과정이 단순하고 속도가 빠르다는 장점이 있고 아두이노와 같은 저성능 보드에서도 잘 작동한다. 칼만 필터는 누적된 데이터와 현재의 데이터를 이용해 최선의 측정치로 현재를 추정하는 필터이다. 상보 필터보다 연산과정이 많아서 속도가 느리다는 단점이 있다. 두 필터를 사용한 결과 비슷한 결과 값을 출력했지만 속도 차이가 발생하였다. VR의 몰입감을 증가시키기 위해 MTP를 낮추는 데는 데이터의 전송속도와 정확한 데이터의 전달이 중요하며 칼만 필터 보다는 상보 필터가

속도가 빠르므로 더 적합하다. 필터의 종류는 다양하지만 대표적인 2가지로 실험을 진행했으나 향후, 파티클 필터(Particle Filter)와 베이저안 필터(Bayesian Filter) 등 여러 필터들을 비교하여 저성능 보드에서 최적의 필터를 찾는 연구를 계속 수행하고자한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (No. NRF-2017R1D1A3B03034438).

REFERENCES

- [1] J. S. Lee, J. A. Noh, S. H. Lim and S. J. Lee, "An Activity Contents Technology Trend Based on Virtual Reality," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 3, pp. 1-73, Mar. 2012.
- [2] J. Y. Jung, J. S. Na, C. W. Lee, G. Y. Lee and J. H. Kim, "Prediction of head movements using neck EMG for VR," *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 25, no. 5, pp. 365-370, May 2016.
- [3] J. S. Park and Y. C. Seok, "Advertisement Analysis System with Eye Tracking VR HMD(Virtual Reality Head Mounted Display)," *Smart media journal*, vol. 5, no. 3, pp. 1-5, Mar. 2016.
- [4] Zhang, H. L. Choi, B. S. Kim and J. W. Lee, "Trends Analysis on virtual reality," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 31, no. 4, pp. 23-35, Apr. 2016.
- [5] J. Borenstein, L. Ojeda, and S. Kwanmuang, "Heuristic reduction of gyro drift for personnel tracking systems," *The Journal of navigation*, vol. 62, no. 1, pp. 41-58, Jan. 2009.
- [6] S. H. Fang and T. N. Lin, "Principal component localization in indoor WLAN environments," *IEEE Trans. on MobileComputing*, vol. 11, no. 1, pp. 100-110, Jan. 2012.
- [7] C. Huang, Z. Liao, and L. Zhao, "Synergism of INS and PDR in self-contained pedestrian tracking with a miniature sensor module," *IEEE Sensors Journal*, vol. 10, no. 8, pp. 1349-1359, Aug. 2010.
- [8] Y. Zhou, C. L. Law, Y. L. Guan, and F. Chin, "Indoor elliptical localization based on asynchronous UWB range

- measurement,” *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 1, pp. 248-257, 2011.
- [9] J. Park and J. Lee, “A beacon color code scheduling for the localization of multiple robots,” *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 467-475, Mar. 2011.
- [10] Oculus. Oculus-Left[Internet].
Available: <https://www.oculus.com/rift/>
- [11] Y. M. Lim and T. H. Jo, “Development Direction and Implications of Virtual Reality / Augmented Reality Technology,” *Software Policy & Research Institute Issue Report*, vol. 14, pp. 1-23, Jul. 2017.
- [12] F. Ramsey and R. Harle, “An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications,” in *proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014)*, Florida: FL, vol. 812, pp. 201-210, Sep. 2014.
- [13] S. K. Song, “Regulatory Reform Solution of VR Contents Industry based on Simulator,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 11, pp. 2083-2088, Nov. 2017.
- [14] R. J. Conejar, H. K. Kim, “A Review on Mobile Services Secure Mobility Platform,” *Journal of Security Engineering*, vol. 12, no. 5, pp. 525-532, May 2015.
- [15] J. C. Na, “Optimization in Cooperative Spectrum Sensing,” *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, HSST, ISSN : 2508-9080, vol. 3, no. 1, pp. 19-31, March 2017.
- [16] K. H. Baek, J. Lee, “Live-Action VR Re-lighting Pipeline Using Depth Information,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 9, pp. 1214-1219, Sep. 2018.



오암석(Am-Suk Oh)

1997년 부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1987년~1990년: LG연구소 연구원

현재: 동명대학교 디지털미디어공학부 교수

※관심분야 : 데이터베이스, 빅데이터, 사물인터넷, 헬스케어시스템, 의료정보시스템