

# Implementation of 3D Motion Display Viewer Based on Kalman Filter Using the 9-Axis Sensor

Seongjoo Moon<sup>†</sup> · Kyoungyoung So<sup>\*\*</sup> · Kwangman Ko<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

The technical challenge of 3D image display using the wireless sensor were applied to variable areas and scopes. This techniques need to very accurate location and speed informations and recognitions to moving objects. The tracking challenges of the moving objects location that combined 3D location and speed sensor were applied to sports and healthcare areas. This areas seek to the accuracy and collections and tightly related to image display and analysis techniques. In this paper, We developed the 3D motion display that can be monitor moving objects on the 3D virtual space. For this works, we constructed the database that collected informations through 9-axis sensor and demonstrated the result of 3D motion display on the Window based environments.

**Keywords :** Human Computer Interface, 3D Motion Display, Open GL, Location Tracking Algorithm, 9-Axis Sensor

## 9축-센서를 활용한 칼만필터 기반 3차원 모션 디스플레이 뷰어 구현

문성주<sup>†</sup> · 소경영<sup>\*\*</sup> · 고광만<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

사물이 실제로 움직이는 속도와 다양한 위치를 정확하게 인식하여 정확하게 3차원 영상정보로 표현하는 기술개발 시도는 무선센서를 활용하여 다양한 분야에서 응용할 수 있다. 3차원 위치 및 속도센서를 조합하여 이동 물체의 위치를 추적하는 시도는 동작의 정확성과 교정을 목적으로 하는 스포츠, 건강관리 분야 등에서 동영상 디스플레이 및 분석 기술과 접목하여 다양한 분석 정보를 제공할 수 있는 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 9축-센서로부터 수집되는 정보를 데이터베이스로 구축하고 이를 웹과 앱의 3차원 공간에서 모니터링할 수 있는 3D 모션 디스플레이를 개발하였다.

**키워드 :** 인간과 컴퓨터 상호작용, 3D 모션 디스플레이, Open GL, 위치 추적 알고리즘, 9축-센서

## 1. 서 론

T사물에 다양한 센서를 부착하여 수집된 데이터를 기반으로 응용서비스를 지원하는 IoT/IoE 기술이 여러 분야에서 활용되고 있으며 관련 산업이 급성장하고 있다. 센서로부터 수집되는 데이터는 유무선 통신기술과 접목되어 건강관리, 취미 생활, 신제품 개발 등에 중요하게 활용되고 있으며 인간의 삶의 편리성 향상에 크게 기여하고 있다. 특히, 3D 위치와 속도센서를 조합하여 이동 물체의 위치와 속도를 추적하는 소프트웨어를 개발하려는 시도는 물체 움직임의 정확

한 정보를 기반으로 움직임의 교정을 목적으로 하는 스포츠, 건강관리 분야 등에서 동영상 분석 기술과 접목하여 활용할 수 있는 응용 분야가 매우 다양하다[1].

최근 들어, 다양한 사물 정보를 획득하여 응용하기 위해 탈 부착이 용이한 3축에 대한 가속도+자이로(회전각)+지자기(방향 등), 즉 9축 무선센서를 이용하여 사물 움직임의 직선속도, 방향, 각의 속도 등에 대한 높은 정밀도의 데이터를 활용하여 실제 움직임을 모니터링하고 분석할 수 있는 3D 영상으로 표현하는 기술 개발도 다양한 분야에서 응용되고 있다[2].

본 논문에서는 9축-센서인 EBIMU-9DOFV2 센서[3]로부터 무선통신 장비 EBRF24GRCV 수신기[3]를 이용하여 이동 물체의 가속도, 자이로(회전각), 지자기(방향 등) 센서 데이터를 수집하여 데이터베이스로 구축하고, 이를 3D 가상공간에서 모니터링할 수 있는 3D 모션 디스플레이를 개발한 후 실제 시연 내용을 제시한다.

<sup>†</sup> 비 회 원 : 원광대학교 컴퓨터공학 박사과정수로  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 전북대학교 융합기술공학부 교수  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
Manuscript Received: November 12, 2015  
Accepted: November 23, 2015  
\* Corresponding Author: Kwangman Ko(kkman@sangji.ac.kr)

2장에서 9축-센서 정보와 3D 영상 디스플레이에 대해 소개하며, 3장에서 관련연구를 기술한다. 4장에서는 3D 뷰어 구현 내용과 검증 내용을 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구내용을 설명한다.

## 2. 9축-센서 및 3D 영상 디스플레이

### 2.1 EBIMU-9DOFV2 9축-센서

무선센서는 물체에 탈부착이 용이하며 가속도, 자이로(회전각), 지자기(방향)를 측정할 수 있는 9축-센서를 이용하여 물체 움직임의 직선속도, 방향, 각의 속도 및 높은 정밀도의 데이터를 송출한다. 무선센서에서 획득한 정보는 ASCII, HEX, Bypass 모드로 생성하여 데이터를 모션 디스플레이로 표현할 수 정보로 활용할 수 있다.

본 논문에서 활용하는 EBIMU-9DOFV2 센서는 초소형 AHRS(Attitude Heading Reference System) 모듈로서 PC 연결 및 테스트를 위한 UART2USB 통신 모듈을 지원하고 있다. 또한 126채널의 2.4GHz ISM 밴드 무선 트랜시버(최대 100개의 ID 설정), 정밀 자세 데이터 출력 및 전방위 자세 오프셋 설정이 가능하며 초소형(32mm×24mm) 크기로서 저전력-55mA(배터리소비전류)를 사용한다. EBRF24GRCV 수신기는 2.4GHz 무선 수신기로 최대 100개 무선센서 데이터 수신(100개의 ID), 실시간 무선 데이터 처리(900Hz, 60Hz), 센서 데이터 출력모드, ASCII 출력모드, HEX(binary) 출력모드, Bypass 출력모드, Mini USB 인터페이스, VCP를 지원하는 데이터 송수신, 9600bps~921600bps 통신 속도를 지원하고 있다.

### 2.2 3D 모션 구현

모션에 대해 수신된 데이터는 EBMmotion 기반의 AHRS와 오픈소스를 이용해 분석하여 구현한다. AHRS를 위해서는 가속도, 지자기, 자이로 센서로부터 자세를 정확하게 추정하는 내용이 반드시 필요하므로 이를 위해 칼만필터(Kalman Filter) 알고리즘을 적용하였다[4]. 칼만필터를 적용하는 근본적인 이유는 9축-센서가 실제로 적용되는 환경과 외부적인 영향에 의해 다른 특성과 오차범위를 발생시킴으로 정확한 센서정보를 획득하기 위해 오차를 보정하여 최소화하기 위함이다.

칼만필터는 부정확한 측정 값(관찰 혹은 예측 값)으로부터 오차를 최소화하는 추정치를 반복적으로 계산하는 방법으로서 비선형 시스템을 선형화시키지 않아도 시스템에 알맞은 값을 추정하는 데 활용하는 기법으로, 상태식에 의한 시간전파와 측정식에 의한 개선을 통하여 상태 값을 추정하게 되며, 실제 상태 값과 추정된 상태 값의 오차 공분산을 최소화하는 특징을 가지고 있다. 선형 시스템에서 정규 분포 값을 갖는 환경에 적합한 칼만필터는 편향되지 않는 최소 공분산을 갖는 오차 보정에 적합한 기법으로 추정 값에 대한 확률 분포를 고려하여 가장 확률이 높은 값을 추정 값

으로 결정하며, 실제로 측정 값에서 예상되는 오차 값을 적절히 보정하여 실제 값을 계산한다. 구체적인 칼만필터 알고리즘의 프로세스는 초기 값 선정, 추정 값과 오차 공분산 예측, 측정 값을 통한 추정 값 계산, 오차 공분산 계산이 순환적으로 진행되어 오차값이 보정된 실제 값에 가까운 측정 값을 계산한다.

#### 1) 초기 값 선정

최초 상태변수 값과 이 상태변수가 가질 수 있는 오차 공분산을 예측하여 입력하는 과정으로 최초에 한 번만 선정한다.

#### 2) 추정 값과 오차 공분산 예측

추정 값은 전체 시스템 모델을 통해 획득하며, 오차 공분산 값의 예측은 이전 값과 시스템 모델에 따른 오차 값을 이용하여 예측한다. 이러한 오차 공분산 값은 칼만 값을 계산하는 데 적용한다. 추정 값을 결정하는 데 적용되는 칼만 필터 시스템 모델에는 은닉 마코프 모형(hidden Markov model), 일차 칼만필터 모형, 회귀 칼만필터 모형, 일반적 칼만필터 모형, 확장된 칼만필터 모형이 활용되고 있으며, 본 논문에서는 확장된 칼만필터 모형을 적용하였다.

#### 3) 추정 값 계산 방법

무선센서로부터 측정된 실제 값과 위 단계를 통해 얻은 예측 값의 차이에서 발생하는 오차 값과 칼만 값을 통해 최종 추정 값을 계산한다. 이 과정에서 오차 공분산은 실제로 추정 값이 얼마나 정확한지를 나타내는 값으로서 오차 공분산 값이 클수록 신뢰성이 떨어지며 추정 값으로서 의미를 상실한다.

$F_t, G_t, W, V, m_0, C_0, t=1, 2, \dots$ 가 주어진 경우 다음의 생성식으로 이루어진 모형식을 칼만필터 모형이라고 한다.

- 1) 초기 값:  $\theta_0 \sim N(m_0, C_0)$
- 2) 상태식:  $\theta_t = G_t \theta_{t-1} + w_t, w_t \sim N(0, W)$
- 3) 출력식:  $Y_t = F_t \theta_t + v_t, v_t \sim N(0, V)$

여기에서  $\theta_t$ 는 상태벡터,  $G_t$ 는 전 상태  $\theta_{t-1}$ 를 현재 상태  $\theta_t$ 로 변화시키는 전이행렬이며,  $w_t$ 는 내적오차벡터이다.  $Y_t$ 는 관측치이고,  $F_t$ 는 상태벡터가 관측치에 영향을 주는 설명변수들로 이루어진 입력벡터로 행벡터이며,  $v_t$ 는 출력오차이다.  $\theta_{t-1}$ 과  $w_t$ 는 독립이고,  $\theta_t$ 는  $v_t$ 와 독립이며, 두 오차는 서로 독립이다.

칼만필터 모형은 두 개 이상의 선형식의 모임으로 연결되어 있으므로 전체적으로는 비선형적 특성을 지니고 있고, 각 식은 선형모형이므로 모형의 설명력과 예측력이 우수하며, 이론적 전개가 용이하다.  $F_t, G_t, t = 1, 2, \dots$ 가 주어지는 경우에 칼만필터 알고리즘은 다음 과정을 수행한다.

[단계1] 초기 값:  $m_1, C_1$  설정.

[단계2] 최신화 및 예측치 생성:  $t = 2, 3, \dots$

$$\begin{aligned}
 a_t &= G_t m_{t-1} \\
 R_t &= G_t C_{t-1} G_t' + W \\
 f_t &= F_t a_{t-1} && : \text{전방예측치} \\
 Q_t &= F_t R_{t-1} F_t' + V \\
 e_t &= Y_t - f_t && : \text{예측오차} \\
 A_t &= R_t F_t Q_t^{-1} && : \text{칼만이득(Kalman gain)} \\
 m_t &= a_t + A_t e_t && : \text{상태벡터의 평균벡터} \\
 C_t &= R_t - A_t Q_t A_t' && : \text{상태벡터의 공분산행렬}
 \end{aligned}$$

Fig. 1. Kalman Filter Algorithm

### 3. 관련 연구

[5] 연구에서는 실시간 저비용 위치 추적 시스템을 RFID 시스템을 이용하여 개발하였으며, 개발된 시스템은 반영구적 수동형 RFID 태그를 이용한 시스템으로서 높은 위치 정밀도와 시그널의 오작동이나 잡음에 의해 생긴 오차를 보정하는 방법을 제시하였다. 실제로 Look-up 테이블에 의한 보정 대신에 B-spline 곡면식을 보간에 의해 생성한 후 기준 데이터로 사용하였다[6]. 연구에서는 3D 공간에서 이동물체의 추적에서 핵심적인 위치 정보의 정확성을 높이기 위한 방안을 제시하고 구체적인 실험 결과를 제시하였다[7]. 연구에서는 실시간으로 무선센 환경의 실내공간에서 3D의 정확한 위치정보를 확보한 후 실제로 다층 건물에서 이동 물체의 위치를 추적하고 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하였다[8]. 연구에서는 3D 공간에서 획득한 위치정보를 모바일 디바이스에서 디스플레이하는 시스템을 설계하고 개발하였으며 개발과정에서 영상정보만 활용하여 이동물체의 정확성이 결여되는 문제점을 가지고 있다.

### 4. 3D 디스플레이 뷰어 구현 및 검증

#### 4.1 3D 디스플레이를 위한 센서정보 수집

3D 디스플레이 뷰어는 2D, 3D를 정의한 OpenGL[9]을 사용하여 서로 다른 그래픽 처리 장치 사이의 복잡한 상호 정보교환 방식으로 구현하였다. 실제로 9축-센서에서 발생하는 데이터는 제작사에서 지원하는 뷰어를 기반으로 구현하였다. 이 과정에서 각도나 특수효과를 나타내는 일련의 수행 명령어를 기술하여 반복 효과를 표현할 수 있고, 운영체제의 독립된 기능에 해당 시스템의 환경에서 동작할 수 있도록 운영체제에 의존적인 인터페이스 API를 제공하였다. 이러한 API를 통해 호출할 수 있는 내장 기능에는 숨은 면 제거, 투명화, 반 에일리어싱, 텍스처 매핑, 픽셀 조작, 변형을 위한 모델링기능이 포함되어있다. 실제로 구현과정에서 무선센서에서 측정하여 읽어들이 온 값을 분석한 후 가공된 데이터를 활용하여 단순한 기하도형에서부터 복잡한 삼차원 장면을 생성할 수 있었다. 3D 디스플레이 뷰어 구현과정에

서 무선센서로부터 수신한 값을 이용하여 X축 중심으로 물체회전(rolling), Y축 중심으로 물체회전(pitching), Z축 중심으로 물체 회전한 결과를 각각 디스플레이할 수 있다.

실질적으로 움직이는 물체에 부착된 9축-센서로부터 데이터가 수집(출력모드: ASCII)을 확인하여 출력 값은 데이터 시작 기호(\*), X축 각(roll), Y축 각(pitch), Z축 각(yawn)으로 구성되고 응용목적에 따라 매개변수와 옵션을 설정하여 다양한 출력 값을 수집할 수 있다. 본 논문에서는 움직임 물체의 좌표와 가속도 센서 값이 뷰어를 구현하는 데 매우 중요한 정보로 활용되기 때문에 중력 가속도( $g$ ,  $1g=9.8m/s^2$ )를 수집하였다.

이동물체의 좌표 값을 입력으로 받아 X, Y, Z축을 중심으로 이동물체의 움직임을 디스플레이한 결과는 Fig. 2와 같다.

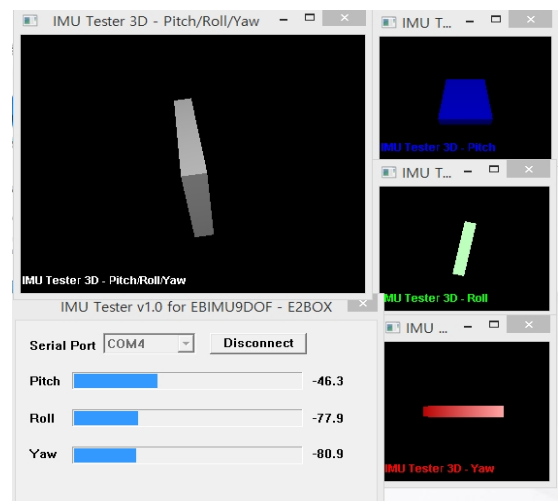


Fig. 2. Moving Object 3D Display Based on X, Y, Z-axis

#### 4.2 3D 디스플레이 구현 검증

실제 이동물체의 좌표와 가속도를 센서로부터 획득한 후 이동물체를 디스플레이하기 위치추적 알고리즘을 적용하였다. Meanshift와 Camshift[10]가 대표적인 위치추적 알고리즘으로서, Meanshift 알고리즘은 물체의 밀도분포를 이용하여 관심영역 객체를 고속으로 추적하는 특징을 가지고 있고, Camshift 알고리즘은 주로 객체를 고속으로 추적하는 데 적용되고 있으며 검출된 객체 영역의 Hue 값의 분포를 이용하여 변화될 위치를 예측하고 탐지한 후 중심을 찾아 객체를 추적하게 된다. 따라서 본 논문에서는 임의의 이동물체에 대해 3차원 좌표 값과 속도를 이용하여 이동물체의 위치를 추적하고 정확성을 높이기 위해 Camshift 알고리즘을 적용하였다.

실제로 센서로부터 수집되고 보정된 위치 정보를 기반으로 이동물체를 추적하는 선을 그리기 위해 모듈을 개발하여 적용하였으며, 실제로 공간에서 사각형, 자유원을 그리는 손가락 움직임에 대한 위치정보를 추적하여 이미지 형태로 저장된 최종적인 실험 결과는 Fig. 3과 같다.

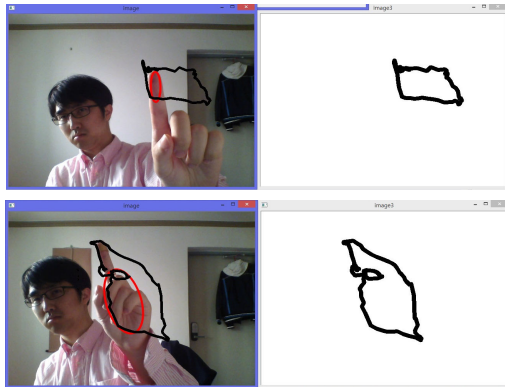


Fig. 3. Experimental Results of Location Tracking

### 5. 결론 및 향후 연구

사물에 다양한 센서를 부착하여 수집된 데이터를 기반으로 응용서비스를 지원하는 IoT/IoE 기술이 여러 분야에서 활용되고 있으며 관련 산업이 급성장하고 있다. 다양한 사물 정보를 획득하여 응용하기 위해 탈부착이 용이한 9축 무선센서를 이용하여 사물 움직임의 직선속도, 방향, 각의 속도 등에 대한 높은 정밀도의 데이터를 활용하여 실제 움직임을 모니터링하고 분석할 수 3D 영상으로 표현하는 기술이 다양한 분야에서 응용되고 있다. 본 논문에서는 EBIMU-9DOFV2 센서를 활용하여 이동물체의 가속도, 자이로(회전각), 지자기(방향 등) 센서 데이터를 수집하여 3D 가상공간에서 모니터링할 수 있는 모션 디스플레이를 개발한 후 실험내용을 제시하였다.

이러한 연구 결과는 이동물체의 정확한 추적을 위해 영상 정보를 기반으로 분석하고 활용하는 기술에 추가하여 보다 정확한 정보 획득을 위해 센서 정보를 활용하는 데 의미가 있다. 특히, 최근에는 다양한 센서의 보급과 정확한 센서정보를 수집할 수 있는 환경에 맞추어 이를 적극적으로 활용할 수 있는 3D 모션 디스플레이와 같은 소프트웨어 개발을 시도하는 의미를 가지고 있다.

향후에는 추가적인 센서를 이동물체에 부착하여 신뢰할 수 있는 속도 정보의 정확성을 기반으로 보다 정밀한 이동물체 추적 시스템을 구축할 예정이다.

### References

[1] Atzori, Luigi, Iera, Antonio, and Morabito, Giacomo, "The internet of things: A survey," *Computer Networks*, Elsevier, 2010.  
 [2] C. A. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko, "Encyclopedia of Sensors," *American Scientific Publishers*, Vol.10, 2006.  
 [3] E2Box [Internet], <http://www.e2box.co.kr>.  
 [4] Einicke, G. A., "Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future," Intech(ISBN: 978-953-307-752-9), 2006.

[5] Lee C. W., "Research on Position Tracking Using Passive RFID Tags," Dankook University, 2012.  
 [6] Volker Schwarz, Alex Huber, and Michael Tüchler, "Accuracy of a Commercial UWB 3D Location/Tracking System and its Impact on LT Application Scenarios," *IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, 2005.  
 [7] Norhidayu Shahila Abu Hassan, Sazzad Hossain, Nur Haliza Abd Wahab, Sharifah Hafizah Syed Ariffin, Liza Abd Latiff, Norshiela Fisal, Mazlan Abbas, and Choong Kheng Neng, "Performance Analysis of Location Tracking System for Multiple Levels," *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 2011.  
 [8] Kohei Arai, Herman Tolle, and Akihiro Serita, "Mobile Devices Based 3D Image Display Depending on User's Actions and Movements," *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, Vol.2, No.6, 2013.  
 [9] OPEN GL [Internet], <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenGL>.  
 [10] Meanshift and Camshift [Internet], <http://docs.opencv.org/>.



### 문 성 주

e-mail : mitmoon1@hanmail.net  
 1997년 원광대학교 컴퓨터공학(공학석사)  
 2013년 원광대학교 컴퓨터공학(박사과정 수료)  
 관심분야 : 소프트웨어 역공학, e-business, 임베디드시스템, 정보보안



### 소 경 영

e-mail : kyso@jbnu.ac.kr  
 2000년 원광대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 1991년~현 재 전북대학교 융합기술 공학부 교수  
 관심분야 : 소프트웨어공학 및 프로그래밍 언어론



### 고 광 만

e-mail : kkman@sangji.ac.kr  
 1998년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 1998년~2001년 광주여자대학교 컴퓨터과 학과 전임강사  
 2001년~현 재 상지대학교 컴퓨터정보 공학부 교수

방문연구 : QUT(2003, 호주), UQAM(2008, 캐나다), UC Irvine (2010, 미국)  
 관심분야 : Energy-aware Compiler Technology, Mobile Cloud Computing