

## 관성항법시스템을 이용한 3D 포인팅 디바이스의 설계 및 구현

김홍섭\*, 임거수\*\*, 한만형\*\*\*, 이금석\*\*\*\*

### Design and Implementation of a 3D Pointing Device using Inertial Navigation System

Hong-Sop Kim\*, Geo-Su Yim\*\*, Manhyung Han\*\*\*, Keum-Suk Lee\*\*\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 2차원 포인팅 장치의 한계를 극복하기 위하여 3차원 공간에서 주위환경에 관계없이 위치를 인지하고 좌표를 얻어낼 수 있는 관성항법시스템을 이용한 3차원 포인팅 기기의 설계 및 구현방식을 제안한다. 관성항법시스템은 각속도계(gyroscope)와 가속도계(accelerometer)의 데이터를 바탕으로 좌표를 계산하는 기법으로, 가속도계에서 발생하는 오차는 칼만 필터를 이용하여 데이터를 보정한다. 3차원 포인팅 장치의 프로토타입 개발을 위해 무선 3차원 공간인식 마우스를 설계 및 구현하였으며, 디스플레이 장치에 표시를 위하여 RFIC를 이용하여 측정된 좌표 데이터를 수신 모듈로 전송하고 수신 모듈은 USB 드라이버를 통하여 호스트로 전달하였다. 본 논문은 관성항법시스템과 칼만 필터의 이론적인 지식을 바탕으로 3차원 포인팅 장치를 설계하고 프로토타입을 구현하고 성능 평가를 통하여 3차원 공간에서 사용자의 움직임을 추출할 수 있는 입력 기기로서의 유용성을 검증하였으며, 향후 유비쿼터스 컴퓨팅의 다양한 응용 장치로서의 가능성을 제시하였다.

#### Abstract

In this paper, we present a design and implementation of three dimensional pointing device using Inertial Navigation System(INS) that acquires coordinates and location information without environmental dependancy. The INS measures coordinates based on the data from gyroscope and accelerometer and corrects the measured data from accelerometer using Kalman-Filter. In order to implement the idea of three dimensional pointing device, we choose a three dimensional Space-recognition mouse and use RFIC wireless communication to send a measured data to receiver for printing out the coordinate on display equipment. Based on INS and Kalman-Filter theoretical knowledge, we design and implement a three dimensional pointing device and verified the usability as an input device that can capture a human's move. also, we describe the applicability of this device in ubiquitous computing environment.

▶ Keyword : 3차원 공간 인식(three dimensional space recognition), 관성항법장치(INS), 칼만 필터(Kalman Filter), 3차원 포인팅 기기(three dimensional Pointing Device)

• 제1저자 : 김홍섭

• 접수일 : 2007. 9.27, 심사일 : 2007. 10.10, 심사완료일 : 2007. 10.24.

\* 오산대학 컴퓨터정보계열 교수, \*\* (주)마이크로텍시스템 선임연구원

\*\*\* 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정, \*\*\*\* 동국대학교 컴퓨터공학과 교수

## I. 서론

현재의 2차원 디스플레이 장치는 x, y축을 가진 평면으로서 사용자는 마우스, 조이스틱, 터치스크린, 트랙볼 등과 같은 다양한 장치를 통해 화면상의 원하는 지점의 좌표를 시스템으로 전달한다. 이와 같은 일반적인 포인팅 장치들은 단독으로 좌표를 계산하는 것이 아닌 주위 환경에 의존적인 방법 즉, 입력장치와 평면 공간과의 마찰이나 반사 등을 이용하여 알아내는 단점이 있다. 따라서 정확한 포인팅을 위해서는 표면이 매끄러운 평면이어야 하거나 빛을 난반사시키지 않는 재질 또는 압력센서가 설치되어 있는 특정 공간의 제약 등 입력장치를 사용하는 데 있어 한계가 있다.

본 논문에서는 2차원 포인팅 장치의 한계를 극복하기 위하여 3차원 공간에서 주위환경과 관계없이 위치를 인지하고 좌표를 얻어낼 수 있는 관성항법시스템을 이용한 3차원 포지셔닝(three dimensional positioning) 기법을 제안한다. 3차원 포지셔닝이란 평면을 이루는 x, y값뿐만 아니라 3차원 공간을 이루는 z값까지도 얻어낼 수 있음을 의미하며, 움직이는 물체의 진행 방향과 가속도(acceleration) 그리고 자세(attitude)정보를 기반으로 측정된다.

관성 및 가속 센서를 이용한 기존의 좌표 측정 방식은 외부로부터의 유도전자 없이 동체에 탑재된 가속도계(gyroscope)와 가속도계(accelerometer)의 데이터를 바탕으로 좌표를 계산하는 기법이다[1]. 하지만 이 기법은 가속도를 측정하는데 오차가 발생하며, 결국 가속도의 측정 오차는 속도 및 위치의 편차를 가져올 수 있다. 즉 측정 직후에는 비교적 정확하지만 시간이 지나면서 편차가 늘어나게 되어 이를 보정해 줄 수 있는 기술이 요구된다[2].

본 논문에서는 측정 단계에서 발생할 수 있는 각종 잡음(noise)들로 인한 측정데이터의 신뢰성 회복을 위해 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용하여, 관성 및 가속센서의 측정값에 대한 오차를 보정한다[3]. 칼만 필터란 하나의 시스템이 시간에 따른 변화를 적절하게 예측할 수 있도록 잡음으로부터 신호를 찾아내는데 사용하는 알고리즘으로써, 공분산(covariance)과 확률 데이터에 기반을 두고 입력 데이터의 오류를 검출하고 보정해주는 역할을 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3차원 포지셔닝을 위한 기존 방법들을 살펴보고, 본 연구에서 제안한 포지셔닝 기법의 핵심 기술인 관성항법시스템의 원리 및 구조와 좌표 출력 값의 오차 보정을 위한 칼만 필터 알고리즘을 소개하고, 적용 가능한 단거리 무선통신망의 형태를 검토하

였다. 3장에서는 3차원 포지셔닝 기법을 이용한 3차원 공간 인식 마우스의 설계에 대해서 살펴보고, 4장에서는 제안된 구현 시스템을 설명하고, 5장에서는 구현물의 성능을 평가한다. 마지막 6장에서는 결론 및 향후 본 시스템이 응용될 수 있는 사례를 기술하여 차세대 입력 기기로서의 가능성 및 비전을 제시한다.

## II. 관련연구

### 2.1 3차원 공간인식 방법

#### 2.1.1 카메라를 이용한 비디오 프로세싱 공간인식

이 기법은 특정 공간을 CCD(Charge-Coupled Device) 비디오 카메라와 같은 영상 장치를 통해 촬영한 후, 촬영 데이터의 분석을 통해 물체나 사용자의 움직임을 인지하는 기술이다. 공간인식에 있어 피사체와는 상관없이 피사체의 움직임을 캡처하고 분석하는 기술로써, 피사체 내의 특별한 공간인식 기술이 요구되지 않으며 어떠한 물체라도 인지가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 움직임을 입력받고 비디오 프로세싱을 거치는 과정에서 영상 처리, 분석, 보정 등의 과정에서 발생하는 지연과 3차원 인지를 위해서는 여러 대의 비디오카메라가 요구되며[4] 촬영 범위 내에서의 특정 피사체만을 인지하기가 어려운 점 등의 단점이 있다. 특히 3차원 공간의 인지는 단독카메라 영상으로는 공간감의 측정이 불가능하며, 아래 <그림 1>과 같은 스테레오 카메라와 같은 형태의 기기를 통해서만 공간감에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이는 특정 물체의 공간 인지에 있어 주변 환경에 의존적으로, 그 활용과 응용에 있어 제약 사항이 있다.

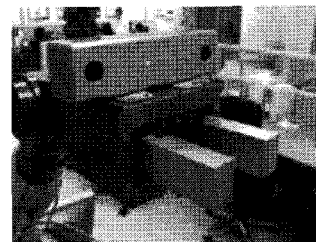


그림 1. 3차원 공간인식을 위한 스테레오 카메라  
Fig 1. Stereo camera for 3D space recognition

#### 2.1.2 지자기 센서를 이용한 공간인식

지자기센서는 지구의 자기를 감지해 방위각을 출력하는 초소형 전자 나침반으로 플렉스게이트 센서(fluxgate sensor),

SoC, ASIC(Application Specific Integrated Circuit), 인쇄 회로 기판, 패키징(packaging) 등의 기술을 융합하여 휴대폰, PDA, 게임기, 디지털카메라, 시계, 텔레매틱스 단말기 등 모바일 기기에 내장된다. 전자 나침반, 방위각 표시는 물론 GPS로부터 수신된 위치 데이터에 자체 방위각 데이터를 결합, 정교한 위치 기반 서비스(LBS: Location Based Service)를 가능하게 해 주는 기술이다. 하지만 지구자계의 자속밀도에 감응하여 인지하는 방식은 금속 성분이 가까이 있을 경우 인식 오차가 크게 발생하는 단점이 있어 사용상 제약이 있어 널리 쓰이지 않는다[5]. 아래의 <그림 2>는 지구자계 센서 주위에 자성 물체가 있을 경우의 자기장 왜곡 현상을 보여주는 것으로써, 주변 물체로 인해 센서주변 자기의 흐름이 급격히 변화하는 것을 볼 수 있다[6].

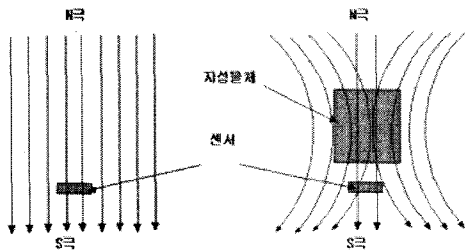


그림 2. 지구자계의 왜곡 현상  
Fig 2. Distortion phenomenon of geomagnetic

2.1.3 관성항법시스템을 이용한 공간인식

본 논문에서 제안하는 관성항법시스템을 이용한 위치인식은 환경에 독립적이고 공간 인식의 과정에서 외부 요인이 영향을 없어 움직임이 자유롭고 다양한 장치에 응용될 수 있는 포인팅 장치의 공간인식 기술로써 비교적 적합하다. 또한 점차 소형화되고 저렴해지는 기술적 추세는 향후 상용화를 위한 경제성에도 경쟁력이 있다. 하지만 위 두 방식보다 누적 오차의 양이 크다는 단점이 있으나 다른 공간인식 기술에 비해 결과 값에 미치는 영향이 가장 적고 다양한 보정 기술들을 이용하여 극복이 가능하다[7].

2.2 관성항법 시스템

관성항법시스템은 짐벌(gimbal)을 통한 안정화된 플랫폼 위에서 가속도계와 각속도계를 사용하여 관성좌표계상의 한 지점을 향하여 일정하게 회전축이 유지되도록 하는 짐벌 방식과 관성센서들을 동체에 직접 장착하고 동체 좌표계(body frame)로부터 관성좌표계(inertial frame)로의 좌표변환을 통하여 기계적인 장치를 대신하는 스트랩다운(strapdown) 방

식이 있다. 가속도계를 안정화된 플랫폼 위에 설치하여 좌표를 측정해내는 짐벌 방식은 높은 정확도를 가지나, 충격에 약하며 무게가 많이 나가고 기계적인 복잡함과 정비가 용이하지 않다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 관성항법시스템을 사용하는 선박이나 항공기 등에 비해 매우 소형이며 경량화에 따른 저 전력 효과를 얻을 수 있는 스트랩다운 관성항법시스템(SINS: Strapdown INS)을 사용한다[8] [9].

스트랩다운 관성항법시스템은 적어도 3개 이상의 가속도계와 3개 이상의 각속도계를 사용하여 3차원 좌표계의 정보를 수집한다. 동체 좌표계에서 선형가속도계를 사용하여 가속도를 측정하고 중력장(gravity field) 모델링을 통해 중력 g를 계산한 후, 각속도계에서 측정되는 각속도를 통해 구할 수 있는 좌표 변환 행렬을 사용하여 동체 좌표계에서의 가속도를 관성 좌표계 또는 항법 좌표계에서의 가속도로 변환하여 이를 적분함으로써 속도와 위치에 대한 x, y, z축의 값을 얻게 된다. 따라서 x, y, z축에 대한 병진 운동(translational motion)값을 획득하기 위해 3개의 가속도계를 각 축에 평행하게 배열하고, 각 축을 중심으로 회전각 즉 오일러 각(Euler angles)을 측정하기 위해 3개의 각속도계를 배열한다.

오일러 각은 기준 방위에서 회전 운동을 한 상태를 나타내기 위해 사용되는 3개의 각도를 뜻하며 3차원 공간에서 이동하는 물체의 운동을 서술하기 위해 사용된다. 자세(attitude) 정보는 <그림 3> 과 같이 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw)의 세 요소로 정의할 수 있으며, 3차원 포인팅 장치의 방향 및 속도 그리고 자세 정보를 얻기 위해 사용된다.

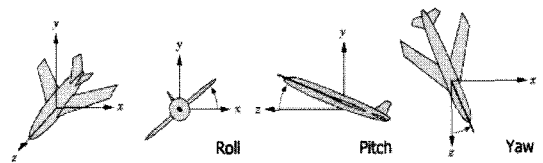


그림 3. 이동체의 자세를 정의하는 3가지 요소  
Fig 3. Three elements defined the attitude of moving object

2.3 칼만 필터를 이용한 데이터 보정

3차원 공간에서 좌표들의 움직임은 선형 시스템으로 기술이 가능하며, 칼만 필터는 잡음에 의해 간섭받는 선형 동적 시스템(linear dynamic system)에서 상태벡터  $x_k$ 의 최적 추정치  $\hat{x}_k$ 를 구하기 위한 순환적인 알고리즘이다[3]. 칼만 필터링 과정은 시간 k의 흐름에 따라 예측, 측정 그리

고 수정의 세 가지 단계로 나누어진다.

예측 단계에서는 다음 상태의 상태벡터  $\hat{x}_{k+1(-)}$ 과 상태 추정 오차의 공분산 행렬  $P_{k+1(-)}$ 을 예측하는 단계이다. (-)는 아직 측정을 통한 수정 단계가 이루어지지 않았음을 나타낸다. 상태 추정 오차의 공분산 행렬을 수식으로 표현하면 다음 식 (1)과 같다:

$$P_{k+1(-)} = E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T] \dots\dots\dots (1)$$

예측 단계에서 이루어지는 상태 벡터와 상태 추정 오차의 공분산 행렬의 예측을 나타내는 수식은 각각 식 (2), 식 (3)으로 주어진다.

$$\hat{x}_{k+1(-)} = f(\hat{x}_k) + w_k \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{k+1(-)} = P_k + Q_k \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $f$ 는 주어진  $\hat{x}_k$ 의 예측 함수이고,  $w_k$ 는 시스템의 모델 잡음(model noise),  $Q_k$ 는  $w_k$ 의 공분산 행렬이다.

측정 단계는 다음의 식 (4)로 표현된다.

$$z_k = H \cdot \hat{x}_k + v_k \dots\dots\dots (4)$$

$z_k$ 는 측정 벡터,  $H$ 는 상태 벡터와 측정 벡터 사이의 관계를 나타내는 관측 행렬(observation matrix),  $v_k$ 는 측정 오차를 나타내며, 모델 잡음  $w_k$ 와 측정 오차  $v_k$ 는 상관관계가 없다고 가정한다. 마지막으로 수정 단계에서는 측정 단계에서 구해진 측정값을 바탕으로 상태 벡터와 상태 추정 오차를 새로운 값으로 수정한다. 수식으로 표현하면 아래의 식 (5), (6), (7)과 같다:

$$K_k = P_{k(-)}H_k^T[H_kP_{k(-)}H_k^T + R_k]^{-1} \dots\dots\dots (5)$$

$$P_k = [I - K_kH_k]P_{k(-)} \dots\dots\dots (6)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k(-)} + K_k[z_k - (H_k\hat{x}_{k(-)})] \dots\dots\dots (7)$$

여기서  $R_k$ 는 측정 오차  $v_k$ 의 공분산 행렬을 나타내고,  $K_k$ 는 칼만 이득(Kalman gain)을 나타낸다. 칼만 이득의 역할은 상태 벡터  $x_k$ 를 수정할 때, 측정값과 추정값 사이의 차이에 적절한 가중치를 주는 역할을 한다. 본 논문에서는 3차원 포인팅 장치의 관성항법시스템이 측정된 좌표 값의 오차 보정을 위해, 가속도계에서 얻어낸 가속도( $a$ )를 적분한 속도( $v$ )를 사용하여 예측한다. 상태벡터  $x_k$ 를 좌표 값인  $p_k$ 와 이동체의 가속도로부터 얻어낸 속도  $v_k$ 의 행렬  $x_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix}$ 와 같이 표시하여, 이를 상기 수식(2)에 대입하여 측정해낸다.

### 2.4 무선 단거리 통신망

개인 통신망을 무선으로 구현하기위한 노력으로 IEEE 802.15 워킹 그룹이 결성되어 단거리 무선망 표준으로 무선 개인 통신망(Wireless Personal Area Networks)을 정하고 그 아래 <표 1>에 제시된 바와 같이 태스크 그룹을 두고 있다[10].

표 1. 무선 통신망의 형태  
Table 1. Type of wireless network

종류	기술 내용
무선 원거리 통신망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WCDMA(Wide-band Code Division Multiple Access)</li> <li>• CDMA2000</li> </ul>
무선 근거리 통신망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wireless LAN</li> </ul>
무선 개인 통신망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HomeRF</li> <li>• Bluetooth : IEEE 802.15.1</li> <li>• UWB(Ultra Wide-Band) : IEEE 802.15.2</li> <li>• WiMedia : IEEE 802.15.3</li> <li>• ZigBee : IEEE 802.15.4</li> <li>• IrDA(Infrared Data Access/Association)</li> </ul>

3차원 포인팅 장치의 적용을 위해 최근 까지 IEEE 802.15에서 권고된 무선 개인 통신망(WPAN) 기술 동향을 조사한 결과 비교적 안정적이며 구현 비용과 구현의 용이성이 있는 HomeRF 와 전력 소모가 적고 가격이 저렴한 블루투스 무선통신 방식의 가능성을 확인하였다. 전송 속도와 저 전력 소모 면에서 장점을 갖고 있는 USB 무선 통신 방식은 전송 거리가 10m로 제한되는 단점이 있어 향후 기술 발전을 통해 채택가능성 있는 것으로 검토되었다.

### III. 3차원 포인팅 장치의 설계

#### 3.1 시스템 구성 및 데이터 흐름

본 논문에서 제안하는 3차원 포인팅 장치의 설계는 3차원 공간인식 마우스를 그 구현 목표로 설정하였다. 3차원 공간인식 마우스는 일반 2차원 마우스와 달리 공중에서 사용자가 소지한 체 포인팅을 해야 하므로, 무게가 가벼워야 하며 그 크기 또한 작아야 한다. 기기의 소형화 및 경량화는 곧 소비 전력을 낮추는 요소가 되므로 3차원 마우스는 물론 미래의 3차원 디스플레이나 가상현실(Virtual Reality), 증강현실(Augmented Reality) 기술과 같은 다양한 분야로 널리 응용할 수 있다[11] [12] [13].

관성센서는 동적 환경에서 자세(attitude)의 측정을 위해 3개의 각속도계와 3개의 가속도계를 사용하며, 각속도계와 가속도계의 출력 값을 기반으로 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 값을 계산해낸다. 또한 가속도계의 오차로 인한 출력 값의 오류의 검출 및 수정 위해 칼만 필터를 사용하여 출력 값을 보정하였다.

SINS의 각속도계와 각속도 계를 이용하여 항법좌표계와 동체좌표계 간의 오일러 각(Euler angle)을 측정하여 절대적인 자세 및 각도 정보를 추출해낼 수 있으며, 센서의 초기 자세나 형태에 상관없는 절대적인 포지셔닝이 가능하다.

추출된 좌표는 기준시간  $t$ 에 대해  $P_t = (x, y, z)$ 와 같이 3차원 공간을 이루는 세 가지 값으로 나타낸다. 하지만 본 연구에서 설계한 3차원 마우스는 평면의 디스플레이 장치에 포인팅을 하는 장치이므로,  $x, y$  좌표만을 사용하여 설계 및 구현한다.  $x$ 와  $y$ 값은 <그림 3> 동체의 자세(attitude)를 정의하는 3가지 요소의 각도 범위에 따라  $x$ 는 화면의 가로축에 해당하는 값 즉, 요(yaw)에 해당하는 값을 얻어오며  $y$ 는 화면의 세로축에 해당하는 값인 피치(pitch)값을 얻어온다.

3차원 공간인식 마우스의 데이터 처리 및 시스템 흐름은 <그림 4>와 같다.

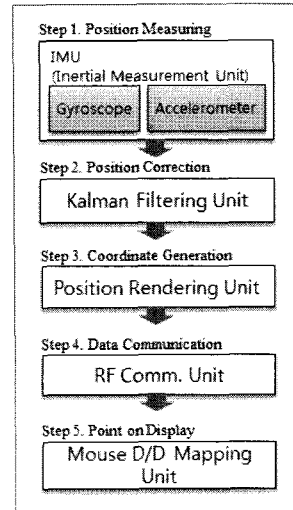


그림 4. 세부 모듈간의 데이터 처리 흐름도  
Fig 4. Flowchart of data processing between Sub-modules

<그림 4>는 관성센서가 좌표를 측정해서 호스트의 디스플레이 장치에 포인팅 하기까지의 처리 흐름을 나타낸 것으로 총 5단계로 나뉜다. 즉, 위치의 측정과 보정 단계, 그리고 좌표를 생성하는 데이터 생성 단계와 생성된 데이터를 표시하고자 하는 장치로 전달하는 데이터 전달 단계 그리고 디스플레이의 원하는 지점에 전송받은 데이터를 기반으로 표시하는 데이터 표시 단계로 나눌 수 있다.

#### (1) 위치 측정(position measuring)

관성센서의 각속도계와 가속도가 측정하는 데이터를 기반으로 오일러 각을 계산하여 이전 좌표로부터 움직인 거리를 계산한다.

#### (2) 위치 보정(position correction)

사용자의 손 떨림이나 외부 환경의 조건들로 인해 가속도 센서의 측정 오류를 보정하기 위한 단계로, 칼만 필터를 사용하여 기존 측정된 데이터 자료를 기반으로 새로운 좌표를 측정 및 수정한다.

#### (3) 좌표 생성(coordinate generation)

이전 단계로부터 측정 및 수정된 데이터를 기반으로, 실제  $(x, y)$  형태의 좌표를 생성해내며, 디스플레이의 종류 및 일반 사용자들의 취향에 맞춘 감도 조정을 수행한다.

#### (4) 데이터 전달(data communication)

측정 데이터를 원하는 디스플레이 장치에 무선으로 전달한다.

(5) 포인팅 표시(Point on Display)

호스트 기반의 표시장치에 포인팅을 하기 위해 마우스 디바이스 드라이버(device driver)에 좌표 값을 매핑하여 표시한다.

〈그림 5〉은 위의 5단계 알고리즘을 의사 코드로 표시한 것이다.

```

/* 초기동작 시 현 위치에 대한 좌표 값 설정 */
SET initial coordinate (X, Y)

/* 메인 동작 모듈, 주기는 12ms */
INFINITE LOOP 12ms periodically

/* INS 모듈로부터 이동 좌표를 측정 */
GENERATE values from Gyroscope and Accelerometer
CORRECT measured value using Kalman-Filter
MEASURE moved position (Xt+1, Yt+1)

/* 수신 모듈로 전달 */
INITIALIZE RFIC module for wireless communication
SEND measured coordinates to receiver module

/* 전송에 대한 ACK를 받기 위해 6ms 대기 */
WAITING 6ms for receiving ACK

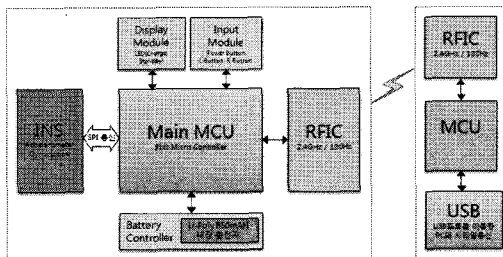
/* 데이터의 수신 여부에 따른 프로세싱 */
IF ACK is NOT received or abnormal ACK received
    DO backup communication process
    IF backup process is completed, RESUME main loop
ELSE
    RESUME main loop

END LOOP
    
```

그림 5. 3차원 공간인식 마우스의 의사 코드  
Fig 5. Pseudo code of three dimensional pointing mouse

3.2 3차원 포인팅 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 3차원 포인팅 시스템은 3차원공간에서 좌표를 인식하고 데이터를 호스트로 송신하는 공간인식 마우스의 송신 모듈과 호스트의 USB로 인식되어 RF 무선통신으로 수신된 좌표 데이터를 호스트로 전달하는 수신 모듈로 구성되어 하였다. 시스템 구조는 〈그림 6〉과 같다.



[Transmitter] [Receiver]

그림 6. 3차원 공간인식 마우스의 송·수신 시스템 구조  
Fig 6. System architecture of three dimensional pointing mouse transmitter and receiver

3.2.1 데이터 수집 및 송신(Transmitter) 모듈

〈그림 6〉의 좌측 구조는 송신 모듈을 도식화한 것으로, 좌표의 움직임을 측정하는 관성항법시스템(INS)과 RF 무선 통신으로 측정값을 수신 모듈로 전달하는 RFIC 모듈 그리고 각 세부 모듈을 관리하고 제어하는 MCU(Micro Controller Unit)로 이루어져 있다. 또한 전력 공급을 위한 배터리 컨트롤러와 배터리 모듈, 송신 모듈의 상태를 알려 주는 LED와 같은 디스플레이 모듈과 간단한 조작을 위한 입력 모듈로 구성된다.

송신 모듈의 동작은 크게 INS 모듈로부터 측정된 좌표 값을 SPI(Serial Peripheral Interface)통신을 통해 시스템 중앙의 MCU로 전달하는 것과 수신된 데이터를 2.4GHz의 RF 무선통신 기술을 이용해 호스트단의 수신 모듈에 무선으로 전송하는 두 단계로 나뉜다.

3.2.2 데이터 수신 및 호스트 전달 수신(Receiver) 모듈

송신 모듈로부터 RF 통신으로 좌표 데이터를 전송받은 수신 모듈은 호스트로의 데이터 전달을 위해 USB 포트를 이용한 시리얼 통신을 이용한다. 수신 모듈은 마이크로소프트 윈도우즈의 마우스 드라이버를 사용하여 주변 입력기기로 인식되며 일반 마우스와 같은 방식으로 데이터를 전달한다. 총 4Byte로 이루어진 마우스 디바이스 드라이버의 데이터 포맷은 왼쪽 버튼과 오른쪽 버튼의 감지를 위한 1Byte와 X축, Y축 데이터를 위한 2Byte 그리고 스크롤 데이터를 위한 1Byte로 구성된다. 본 공간인식 마우스 시스템에서 데이터 전달을 위해 수정한 데이터 포맷은 〈그림 7〉과 같다.

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	N/A	N/A	Laser Beam	Page Up	Page Down	N/A	Right	Left
Byte 2	Mouse Cursor X축 변환 Data							
Byte 3	Mouse Cursor Y축 변환 Data							
Byte 4	Wheel (Scroll) Data							

그림 7. 수신 좌표 데이터의 전달을 위한 마우스 장치 드라이버 포맷  
Fig 7. Mouse device driver format to deliver received coordinates to host

N사의 uPD78F0500 프로세서를 이용하여 구현한 공간인식 마우스의 Main MCU의 핀 블록 다이어그램은 〈그림 8〉과 같다.

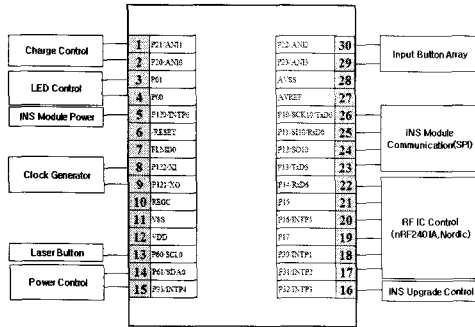


그림 8. 메인 MCU의 핀 블록 다이어그램  
Fig 8. Pin block diagram of main MCU

(그림 9)의 main MCU의 주요 수행 과정은 매 12ms의 주기로 반복되며 처음 2ms는 INS 모듈에서 측정된 좌표 값을 받아오며 다음 2ms는 송신 모듈로 전달하기 위해 RFIC로 데이터를 보내 무선통신을 이용하여 데이터를 전송한다. 다음의 6ms동안은 RF 통신과 송·수신 모듈의 하드웨어, 소프트웨어 지원을 위한 공백 시간이며 마지막 2ms에 RFIC로부터 송신 모듈에 데이터를 정상적으로 전달했는지에 대한 여부를 회신 받게 된다.

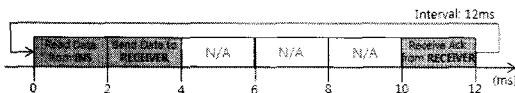


그림 9. 메인 MCU의 동작 사이클  
Fig 9. Operation cycle of main MCU

본 논문에서 제안한 구현 시스템에서는 처음 시스템이 작동한 시점의 좌표를 (0, 0)으로 초기화한 후, 12msec의 주기로 CAF 모듈로부터 측정 데이터를 전달받아 새로운 좌표를 설정한다. 패킷 전송 속도는 체크섬(checksum) 1바이트를 포함 5Kbps로 전송이 가능하다. 실제 PC환경에서 테스트를 위해 USB 동글(dongle)타입의 수신 모듈을 마이크로소프트 윈도우즈 마우스 디바이스 드라이버의 데이터 포맷으로 변환하여 PC와 데이터를 주고받으며 일반 디스플레이 장치에 원하는 지점의 좌표를 포인팅 할 수 있다.

### IV. 3D 포인팅 시스템 구현

#### 4.1 관성항법 모듈

본 논문에서 제안하는 3차원 공간인식 마우스는 M사의

모션캡처시스템의 관성센서인 CAF 모델을 사용하여 구현하였으며, 측정된 3차원 좌표 값의 전송을 위해 전력 소모가 적은 2.4GHz의 RF 무선통신 기술을 사용하였다[14]. 관성항법시스템 CAF 모델의 주요 사양은 <표 2>와 같다.

성능	입력 주기	100, 200, 300°/sec
	각도 범위	±180° (roll), ±90° (pitch), 360° (yaw)
각 해상도	< 0.5°	
각 오차범위	yaw/ roll/ pitch: <5%(동적) roll/ pitch: <3%(정적)	
출력 주기	50~100 Hz	
물리적 기능	무게	3 gram
	크기	25mm × 20mm × 3mm
	전력 소모	< 150 mW(max)
환경적 기능	입력 전력	5 V
	작동 온도	-5~75°C
	보관 온도	-30~85°C
최대 충격	200 gRMS	

표 2. 관성항법시스템의 주요 사양  
Table 2. Specification of Inertial Navigation System

CAF는 센서의 움직임을 0.01°까지 측정할 수 있으므로  $x$  값의 범위는 요(yaw)의 유효 각도인 360°에 감도 100을 곱한  $-18000 < \Delta x < 18000$ 으로  $y$  값의 범위는 피치(pitch)의 유효 각도인  $\pm 90^\circ$ 에 감도 100을 곱한  $-9000 < \Delta y < 9000$ 으로 초고감도 측정이 가능하다.

#### 4.2. 3차원 공간인식 마우스의 특징

본 연구를 통해 구현된 3차원 공간인식 마우스 시스템의 기술적인 특징은 <표 3>과 같다. 최종 산출물의 크기 및 소비전력, 인식률 등은 국내외 관련 제품들과 비교를 통하여 연구 개발단계에서 뿐 아니라 상용화 수준에서의 기술 경쟁력을 확보했음을 보여준다.

표 3. 3차원 공간인식 마우스의 기술적 사양  
Table 3. Technical Spec. of three dimensional pointing mouse

항목	기능
전력	Li-Poly 재충전 배터리(22시간)
전력 소모	50mA
통신 범위	15M
통신 기술	Wireless RF(2.4GHz)
PC 인터페이스	USB Ver 1.1
출력 데이터	X, Y 좌표 - X 값: -180 ~ 180 - Y 값: -90 ~ 90
공간인식 해상도	< 0.5°
오차율	< 5°
크기	26.5 × 128.5 × 11.0(mm)

〈그림 10〉은 3차원 공간인식 마우스 송신 모듈로, 중앙에는 3차원 공간에서 좌표의 측정을 위한 INS 모듈이 있으며 배터리의 충전을 위한 USB포트가 아래쪽에 위치하고 있다. 또한 사용자의 각종 입력(마우스의 좌, 우 클릭 및 function 키)을 받아들이기 위한 버튼들이 뒷면의 중앙에 위치하여 오른쪽에는 메인 MCU가 장착되어 있다. 프로토타입 형태의 구현물의 실제 크기 및 무게는 배터리를 포함하여 26.5mm × 128.5mm × 11.0mm, 45g이고, 배터리를 제외한 기기의 크기는 23mm × 68mm × 8mm의 초소형 기기이다. 가벼운 무게와 작은 크기로 인해 다양한 응용으로 활용이 용이하다.

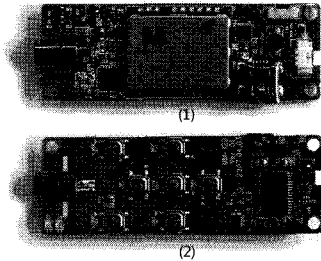


그림 10. 3차원 공간인식 마우스의 송신 모듈 (1)아랫면, (2)윗면  
Fig 10. Transmitter of three dimensional pointing mouse (1)downside, (2)upside

송신 모듈에서 측정된 데이터를 수신하여 호스트로 전달하는 수신 모듈은 일반 PC의 USB드라이버를 이용하여 시리얼 통신을 통해 데이터를 전달한다. 수신 모듈은 통신을 위한 RFIC와 시스템 제어를 위한 8-bit 마이크로프로세서인 MCU 그리고 PC와의 데이터 전달 인터페이스인 USB 모듈로 구성되어있다. USB를 통해 전원을 공급받기 때문에 별도의 배터리 모듈이 존재하지 않으며 별도의 입력장치가 없어 그 크기가 18mm × 62mm × 8mm에 불과하다. 수신 모듈의 프로토타입은 〈그림 11〉와 같다.

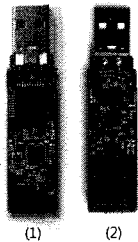


그림 11. 3차원 공간인식 마우스의 수신 모듈  
Fig 11. Receiver of three dimensional pointing mouse

## V. 성능 평가

### 5.1 시뮬레이션을 통한 성능 평가

본 논문에서 제작된 프로토타입에 대한 성능 평가를 위하여 측정 장비는 M사의 CAF 2Axis Rate Table Jig를 이용하여 정적인 상태와 동적인 상태에서의 오차율을 측정하였다.

측정용 보조 기기는 물리적으로 2축의 방향으로 등속도로 45도 이상 회전이 가능한 장치를 의미하며 장치 위에 CAF 모듈을 장착한 후 2축의 방향으로 등속도 회전하여 동작인식 기능 및 성능을 확인하였다. 2축을 테이블의 구동, 파워, 통신 등을 통합 관리하는 CAF PC와 PC상에서 CAF 모듈의 동작인식 데이터를 분석할 JIG S/W로 검사 시 좌표에 나타나는 모션 인식 화면으로 확인할 수 있었다. Z축의 동적 상태 시험은 JIG를 이용하지 않고 사용자가 직접 수작업과 육안으로 확인 하였다.

자체 성능 평가 합격 수준은 정적인 상태 오차율 3° /h, 동적인 상태 오차율 5° /h로 정하였다. 시뮬레이션을 통한 구현 제품에 대한 성능 평가 결과는 〈표 4〉와 같다.

표 4. 3차원 공간인식 마우스 성능 평가  
Table 4. Performance test of three dimensional pointing mouse

실험군	실험 조건	성공 조건	항목	오차 각 (10회 평균)	결과
#1	정적 움직임	< 3°/hour	X 축	2°	Pass
			Y 축	2.5°	Pass
	동적 움직임	< 5°/hour	X 축	3.5°	Pass
			Y 축	4°	Pass
#2	정적 움직임	< 3°/hour	X 축	1.8°	Pass
			Y 축	2.2°	Pass
	동적 움직임	< 5°/hour	X 축	3°	Pass
			Y 축	3.3°	Pass
#3	정적 움직임	< 3°/hour	X 축	2.5°	Pass
			Y 축	2.3°	Pass
	동적 움직임	< 5°/hour	X 축	2.9°	Pass
			Y 축	3.5°	Pass



## VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서 제시한 3차원 포인팅 장치의 응용인 3차원 공간인식 마우스는 관성센서를 이용한 수많은 3차원 디바이스의 응용 중 하나의 예로써, 사용자의 의도에 따른 움직임을 측정하고 이를 좌표로 표시하는 기본적인 3차원 디바이스의 기능을 구현하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과 어려움을 줄여 기존의 공간인식 장치의 성능대비 정확성을 향상시켰으며 정교한 포인팅도 가능해졌다.

관성항법시스템으로부터 기기의 관성력에 따른 가속도와 각속도를 기반으로 좌표를 측정해내고 이를 RF 통신으로 호스트와 주고받는 형태의 본 시스템의 설계 및 구현을 통해, 기존의 항공, 군사의 목적으로 활용되던 관성항법시스템의 사용범위를 확장하는데 그 의미가 있다. 또한 관성센서 모듈의 소형화 및 경량화에 따른 기기의 소형화는 향후 보다 다양한 분야에서의 활용을 기대할 수 있다.

기존의 환경 의존적이며 2차원 공간에서만 포인팅을 할 수 있었던 공간적인 제약점을 극복하고 환경에 독립적으로 원하는 지점을 포인팅 할 수 있는 3차원 공간인식 마우스의 개발은 향후 유비쿼터스 컴퓨팅 및 Post PC 분야의 다양한 응용(HMD, 실감형 게임 디바이스, 웨어러블 컴퓨터, 로봇 등)의 입력 장치로 응용이 가능하다. 또한 신규 무선통신 기술 동향을 검토하여 적용 실험과 실제계 환경과 사용자의 움직임을 정확히 매칭하여 서비스를 제공하는 증강현실 컴퓨팅을 위한 모션 캡처 장치로서의 활용이 가능하여 향후 차세대 입력 기기로서의 폭넓은 응용이 기대된다.

## 참고문헌

- [1] Young Soo Suh, "Attitude Estimation using Low Cost Accelerometer and Gyroscope", Proceedings of the 7th Korea-Russia International Symposium, KORUS, 2003
- [2] Zhencheng Hu, Uchimura Keiichi, Hanqing Lu, Francisco Lamosa, "Fusion of vision, 3D Gyro and GPS for Camera Dynamic Registration", Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition(ICPR'04), 2004
- [3] Gerg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", UNC-Chapel Hill, TR 95-041, July 24, 2006
- [4] 장대식, "지능로봇을 위한 3차원 환경인식", 인터넷정보학회논문지 제7권 제5호, pp.135~145, 2006
- [5] Sisinio F. Baldis, "Input Device Interface for 3-D Interaction", Master thesis, University of Washington, 1997
- [6] (주)엔텍엔지니어링, <http://www.newentec.co.kr/mmTech.html>
- [7] 박명훈, 심현민, 이용혁, 홍승홍, "관성항법시스템을 이용한 노약자의 이동 패턴 분석에 대한 연구," HCI 2004, pp.536-541, 2004
- [8] Zhiyu Xiang, Umit Ozguner, "A 3D Positioning System for Off-road Autonomous Vehicles", Intelligent Vehicles Symposium 2005, Proceedings, IEEE, pp 130-135, 2005
- [9] Pierre Lamon and Roland Siegwart, "3D Position Tracking in Challenging Terrain", International Journal of Robotics Research, Vol. 26, Issue 2, pp. 167-186, Feb. 2007
- [10] 박명혜, "무선개인통신망(WPAN) 기술동향", 전자정보센터(<http://www.eic.re.kr>) IT리포트, 2004년 9월
- [11] Lin Chai, William A. Hoff, et al., "3-D Motion and Structure Estimation Using Inertial Sensors and Computer Vision for Augmented Reality", Teleoperators and Virtual Environments 11(5), pp. 474-492, MIT Press, Oct. 2002
- [12] 조성익, 김경호, 주인학, 박정호, 채기주, 이승용, "차세대 내비게이션 기술 현황 및 전망", 전자통신동향분석 제22권, 제3호, pp. 12-19, 2007년 6월
- [13] Le Song and Masahiro Takatsuka, "Real-time 3D Finger Pointing for and Augmented Desk", 6th Australasian User Interface Conference (AUIC2005), 2005
- [14] MicroInfinity, <http://www.minfinity.com>

저자 소개



**김홍섭**  
2001년 8월 : 동국대학교 컴퓨터공  
학박사과정 수료  
1994년 ~ 현재 : 오산대학 컴퓨터  
정보계열 교수  
관심분야: 분산운영체제, 임베디드시  
스템, 유비쿼터스 컴퓨팅



**임거수**  
2004년 2월 : 서강대학교 물리학과  
이학박사  
2004년 ~ 2006년 : 배재대학교  
광혼돈제어현상연구단 연구  
교수  
2007년 ~ 현재 : (주)마이크로텍  
시스템 선임연구원  
관심분야: 신호처리, 비선형 시계열  
분석, 네트워크



**한만형**  
2007년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공  
학 석사  
2007년 ~ 현재 : 경희대학교 컴퓨  
터공학 박사과정  
관심분야: 유비쿼터스 컴퓨팅, 상황  
인지 미들웨어, 센서OS



**이금석**  
1981년 ~ 현재 : 동국대학교 정보  
산업대학 컴퓨터공학과 교수  
2001년 2월 : 건국대학교 컴퓨터공  
학 박사  
관심분야: 소프트웨어 품질 평가,  
분산운영체제, 시스템 성  
능평가