유비쿼터스 환경에서 사용 가능한 핸드 헬드형 3 차원 움직임 추적장치

A Handheld 3-Dimensional Motion Tracking Device for Ubiquitous Computing Environment

박 명 관*, 이 상 훈, 서 일 홍
(Myung Kwan Park, Sang Hoon Lee, and Il Hong Suh)

Abstract : This paper describes a design experience of a low-cost 6 DOF spatial tracker system where relative low accuracy and relatively long ranges, wireless communication will be achieved by means of low cost accelerometers and gyros with contemporary microprocessor. However, there are two key problems; one is the bias drift problem and the other is that single or double integration of acceleration signal suffers not only from noise but also from nonlinear effects caused by gravity. To be specific, beginning and stopping of hand motions needs to be accurately detected to initiate and terminate integration process to get position and pose of the hand from accelerometer and gyro signals, since errors due to noise and/or hand-shaking motions accumulated by integration processes. Several experimental results are shown to validate our proposed algorithms.

Keywords : 6 DOF spatial tracker system, accelerometer, gyro

I. 서론

가상환경은 일반적으로 멀티미디어 컴퓨터의 디스플레이와 3차원 입력장치에 의해 조합되게 된다. 가상 세계 또는 가상환경은 사용자가 공간상에 존재를 느낄 수 있도록 하는 시각적, 청각적, 촉각적인 감각에 있어서 2차원보다는 3차원으로, 수동적인 것 보다는 상호작용을 할 수 있도록 하는 것이 보다 효과적이라 할 수 있다. 이러한 목적으로 head-tracked display, hand tracker, haptic display등의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 본 연구에서 공간추적시스템(spatial tracker system)은 위치, 방향, 이동가속도, 회전각속도에 대한 정보를 제공하여 움직임의 측정을 가능토록 하는 장치로서 6자유도의 센서로 3차원의 위치와 3차원의 회전각도의 정보를 얻을 수 있도록 한다.

현재 사용중인 6자유도 공간추적시스템의 대표적인 기술은 전자기(electromagnetic)를 적용한 것과 초음파(ultrasonic)를 적용한 것이 있으나, 이러한 기술은 송/수신장치가 필요하기 때문에 단독적인 시스템 구성이 불가능한 단점이 있고, 전자기를 이용한 기술의 경우는 전자장과 금속물체에 민감한 단점이 있고, 초음파를 이용한 기술의 경우는 신호잡음과 송/수신기 사이의 방해되는 물체가 없어야만 되는 단점을 갖고 있다. 또 다른 공간추적시스템 기술에는 자이로, 전자나침반, 고도계와 가속도계 등이 있으며, 이들은 단독적인 시스템 구성이 가능하여 웨어러블 시스템이 가능한 기술이다. 그러나 단독적인 시스템으로 구성할 경우 사용목적에 따라 비교적 높은 정밀도에 사용범위가 협소한 곳인 경우와 낮은 정밀도에 사용범위가 넓은 곳인 경우로 나누어 고려 되어져야 한다[1].

본 연구에서는 저가격이면서 비교적 낮은 정밀도를 갖고, 사용범위가 넓은 곳에 적용 가능한 6자유도 공간추적시스템을 저가의 가속도센서, 자이로 및 마이크로프로세서를 이용하여 설계하였다. 가속도센서와 자이로를 이용한 6자유도 공간추적시스템의 경우는 단독적인 시스템으로 구성이 가능한 장점이 있는 반면 두 가지의 문제점을 갖고 있다. 첫 번째는 기준점 오차(bias drift)문제로서 가속도성분과 각속도성분의 적분에 의한 누적오차를 발생시킬 수 있는 요인이 되고, 두 번째 문제는 중력에 의해 발생되는 비선형적 요인과 신호잡음에 의한 오차요인이 존재하게 된다[2-4]. 실질적으로 이러한 문제로 인해 실제 움직임 위치 및 각도와는 관계없이 발산하게 되는 경우도 발생하게 된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 여러 가지 신호처리 알고리즘을 제안하고, 특히 실시간 신호처리에 효과적인 소프트웨어 에이전트(agent)를 3개의 가속도 센서에 3개의 에이전트를, 3개의 자이로에 3개의 에이전트를 설계하여 센서들의 상태인식과 신호처리를 각 에이전트가 변화시킬 수 있도록 설계하여 적용하였다.

II. 6 자유도 공간추적시스템의 구성과 신호처리

그림 1은 6자유도 공간추적시스템의 블록도를 보여주고 있다.

가속도센서와 자이로는 각축의 가속도 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ 와

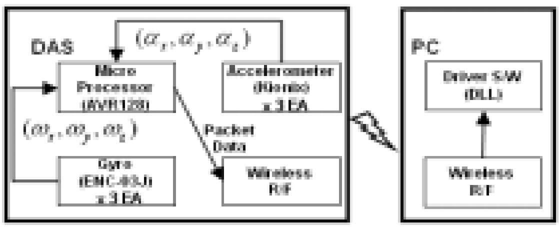

그림 1. 6자유도 공간추적시스템 블록도.
Fig. 1. 6 DOF Spatial tracker system block diagram.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2005. 9. 15., 채택확정 : 2005. 10. 25.
박명관 : 동양대학교 IT전자공학부(mkpark@dyu.ac.kr)
이상훈 : 한양대학교 전기전자컴퓨터공학부(shlee@incorl.hanyang.ac.kr)
서일홍 : 한양대학교 정보통신대학(ihsuh@hanyang.ac.kr)

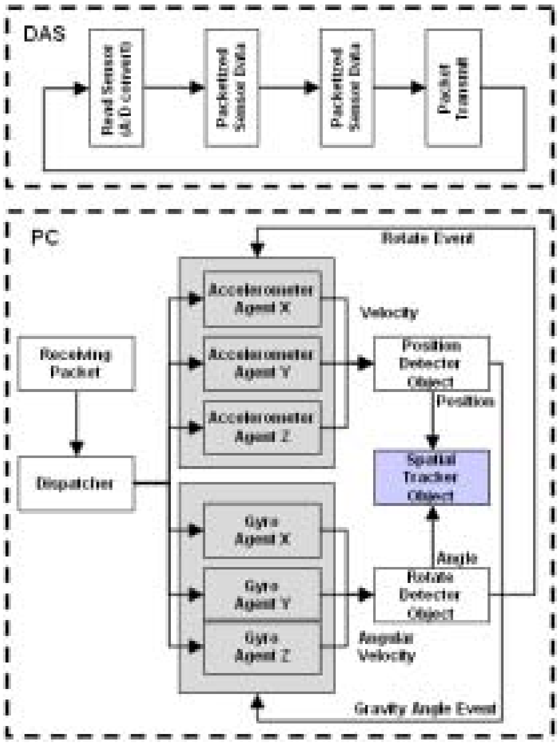

그림 2. 6자유도 공간추적시스템 소프트웨어 구조.

Fig. 2. 6 DOF Spatial tracker system software structure.

각속도 $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ 에 비례되는 아날로그 전압으로 출력된다. 가속도센서와 자이로 출력은 마이크로프로세서 내부의 A/D변환기에 의해 데이터화되고, 데이터들은 조합을 이루어 마이크로프로세서의 UART를 통하여 RF신호로 변환되어 PC로 전달되도록 구성하였다.

본 연구에서 설계된 6자유도 공간추적시스템의 소프트웨어 구조를 그림 2에 보여주고 있다.

설계된 6자유도 공간추적시스템의 소프트웨어 구조는 실시간 신호처리를 위해 센서의 상태를 인식하고, 신호처리를 센서의 상태에 따라 바꿔주도록 하는 에이전트를 설계하여 적용하는 구조로 설계되었다. 여기서는 가속도센서에 3개의 에이전트, 자이로에 3개의 에이전트로 구성되었으며, 이벤트(event)를 발생시키는 DAS(Data Acquisition System)로부터 데이터를 병렬로 처리하도록 구성하였다. 그러므로 각 에이전트는 신호처리를 위한 조건과 시간에 관계없이 이벤트를 받아 실시간으로 처리할 수 있게 된다. 이러한 이벤트는 그림 2의 position-detector-object와 rotate-detector-object에 의해 공간 추적 움직임의 시작과 끝에서 감지되어 발생 된다. 이 2개의 detector-object들은 각 센서 에이전트의 변화에 대한 정보로서 이벤트 발생을 효과적으로 결정할 수 있게 되어있다. 그리고 spatial-tracker-object에서는 정지 움직임이 감지될 때마다 누적오차를 줄여주기 위해서 기준 좌표계를 재구성 하도록 한다.

그림 3에서는 자이로와 가속도센서의 에이전트의 내부상태도를 보여주고 있으며, 이러한 에이전트의 상태에 따라 신호처리 방식을 다르게 할 수 있다. 예를 들면, 그림 3에서 정지(stop)와 움직임(move) 상태인 경우에 정지 상태에서는 출력속도는 영으로 되므로 센서들의 입력을 계산하지 않고, 움직임 상태에서만 각 센서들의 속도를 계산하도록 한다.

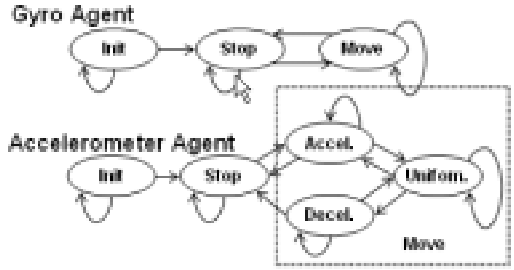

그림 3. 센서 에이전트들의 상태도.

Fig. 3. State diagram of sensor agent's.

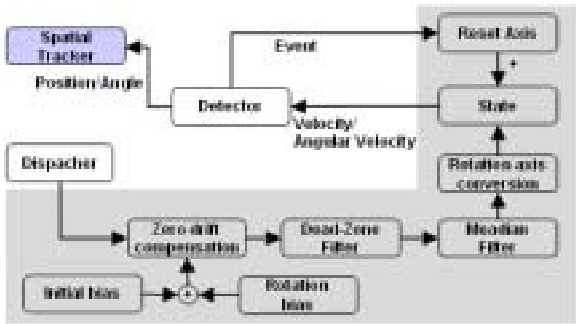

그림 4. 센서 에이전트의 신호처리 알고리즘 흐름도.

Fig. 4. Signal processing flow in the sensor agent.

자이로에서 정지상태는 자이로의 각속도 값이 영인 경우에 의해서 결정되며, 가속도센서의 경우는 정속도의 움직임인 경우도 있기 때문에 가속도 성분이 영이라고 해서 정지상태가 감지되지 않고, 가속구간, 움직임구간, 감속구간을 나눠서 결정하게 된다.

그림 4는 센서 에이전트들의 요구에 의해 처리되는 신호처리 알고리즘의 흐름을 보여주고 있다.

제안한 신호처리 알고리즘은 다음과 같다.

1. 제로 기준점 오차(zero bias drift)보상

자이로와 가속도센서는 조립 시 발생되는 미세한 정렬문제와 온도 등의 환경적인 요인에 의한 제로 기준점 오차가 존재하게 되며, 이를 보상하기 위한 알고리즘으로서 측정된 가속도 성분을 $\alpha_m(t)$, 측정된 각속도 성분을 $\omega_m(t)$ 라 하면, 측정된 값에는 일정한 제로 기준점 오차성분 α_e 와 ω_e 가 포함되어 있으며, 이 오차들은 (1)식과 같이 얻을 수 있다.

$$\alpha_e = \frac{1}{M}\sum_{N=1}^{M}\alpha_m\ ,\ \omega_e = \frac{1}{M}\sum_{N=1}^{M}\omega_m \tag{1}$$

여기서, M은 제로 기준점 오차를 얻기 위해서 가속도센서와 자이로를 정적인 상태에서의 데이터를 샘플링 한 갯수를 의미하며, 샘플링 된 데이터를 평균을 하여 제로 기준점 오차를 얻게 된다. 그러므로 실제 가속도성분과 각속도 성분은 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\alpha_r(t) &= \alpha_m(t) + \alpha_e \\ \omega_r(t) &= \omega_m(t) + \omega_e\end{aligned} \tag{2}$$

2. Dead-zone filtering과 median filtering에 의한 잡음제거

가속도센서와 자이로의 경우는 손의 움직임이 없을 때에도 손 떨림에 의한 미세한 신호를 감지하기 때문에 작은 오차 신호들이 발생하게 된다. 이러한 형태의 작은 신호를 제거하기 위해서 k라고 하는 dead-zone를 설정하였다.

$$y(t)=\begin{cases} f(t), & |f(t)|\ge k, \\ 0, & |f(t)|<k. \end{cases} \quad (3)$$

여기서 k는 여러 번의 실험을 통하여 가장 적합하게 필터링되는 값을 정하였다. 또 다른 잡음의 원인이 되는 불규칙한 오차성분을 제거하기 위해서 저역통과 필터링의 효과를 갖는 (4)와 같이 median filtering을 적용하였다.

$$y[n]=\frac{1}{N+M+1}\sum_{k=-N}^{M} y[n-k] \quad (4)$$

3. 회전축 변환에 따른 중력 보상

공간추적시스템의 좌표계는 센서시스템의 몸체를 중심으로 고정되어 있다. 그러므로 공간추적시스템의 몸체가 기준 좌표계(hand)에서 회전하게 되면 기준 좌표계에 대해 절대좌표계(fixed on the floor)의 값들이 일치하지 않게 된다. 여기서 가속도센서의 경우는 중력가속도를 기준으로 한 가속도를 측정하기 때문에 회전에 대한 비선형적인 중력 보상이 이루어져야 한다. 비선형적인 중력 보상을 위해서는 절대좌표계에 대해서 공간추적시스템의 몸체가 얼마만큼 회전되었는지를 알아야 하며, 다음과 같은 회전축 변환을 통하여 중력에 따른 보상을 구현할 수 있다.

측정 된 가속도센서를 ${}^{A}a=\begin{bmatrix} a_{x_1} \\ a_{y_1} \\ a_{z_1} \end{bmatrix}$라고 하고, 보정된 신호를 ${}^{B}a=\begin{bmatrix} a_{x_2} \\ a_{y_2} \\ a_{z_2} \end{bmatrix}$라 하면, ${}^{B}a$는 다음 식과 같이 얻어질 수 있다.

$${}^{B}a = R_z(\theta)R_y(\theta)R_x(\theta)\,{}^{A}a \quad (5)$$

여기서 $R_x(\theta)=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ $R_y(\theta)=\begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$ $R_z(\theta)=\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$이다.

여기서 θ는 자이로 신호로부터 추정되어 사용된다.

4. 움직임 상태 판정과 기준 좌표계 재설정

그림 4에서 현재의 센서 에이전트들의 상태를 판정하여 좌표계를 재설정하여 누적 적분오차를 줄이도록 구성하였다. 공간추적장치의 상태들은 움직임 상태와 정지 상태로 나눠질 수 있다. 움직임 상태에서 가속도센서의 중력의 영향(dc-component)은 자이로로부터 출력되는 각도에 의해 보상이 가능하고, 보상된 속도 정보로부터 적분을 통하여 이동거리를 얻어낼 수 있게 된다. 그러나 정지 상태에서는 자이로에 의한 각도누적오차는 가속도센서의 중력의 정적 성분으로서 보상 한다. 그리고 정지 상태에서 기준 좌표계를 재설정하게 되면 위치, 각도오차가 누적되는 것을 방지 할 수 있게 된다.

표 1. 상태 천이 조건의 요약.

Table 1. Summary of state transition conditions.

Sensor	State Transition	Conditions
Gyro	Stop→Move	$\lvert\omega_r(t)\rvert > th_{move\_gyro}$
	Move→Stop	$\lvert\omega_r(t)\rvert < th_{stop\_gyro}$
Accelero-meter	Stop→ Accel	$\lvert\alpha_r(t)\rvert > th_{move\_acce}$
	Accel.→Uniform	$\lvert\alpha_r(t)\rvert < th_{move\_acce}$
	Uniform→Decel	$\lvert\alpha_r(t)\rvert > th_{move\_acce}$
	Decel.→Uniform	$\lvert\alpha_r(t)\rvert < th_{move\_acce}$ and $\lvert v_r(t)\rvert > th_{stop\_acce}$
	Decel. →Stop	$\lvert\alpha_r(t)\rvert < th_{move\_acce}$

공간추적장치의 상태를 판정하기 위해서는 가속도센서와 자이로의 신호 상태를 보고 움직임의 시작과 끝을 판정하고, 움직임 상태, 정지 상태를 결정해야만 한다. 움직임의 시작과 끝을 판정하는 방법은 앞서 언급한 센서 에이전트의 상태도를 참고하여 판정하게 된다. 그러나 손 떨림이나 잡음에 의한 오차를 줄이기 위해서는 정확한 움직임의 시작과 끝을 판정하는 알고리즘이 요구된다.

본 연구에서는 실험에 의해 기준 한계값(threshold)을 설정하여, 각 센서의 상태를 판정하는 알고리즘을 제안 한다.

표 1은 한계값을 설정하여 움직임 상태, 정지 상태를 판정하는 알고리즘을 보여준다.

여기서 th_{move_acce}, th_{stop_acce}, th_{move_gyro}, th_{stop_gyro}는 한계값으로 실험에 의해서 결정된 값들이다.

III. 6 자유도 공간추적시스템의 제작 및 실험

1. 제작 및 실험기구 구성

실험을 위해 사용한 가속도센서는 2축용, 저가격, 저전력이면서 +/- 2g의 측정범위를 갖고 있는 KX120-L20(Kionix)을 적용하였고, 이 가속도센서는 동적 가속도(e.g., vibration)와 정적 가속도(e.g., gravity) 모두 측정이 가능하다[5]. 자이로는 +/- 300 degree/sec까지 측정가능하며, 전 영역에서 5%의 선형성을 갖고 있으며, 50 Hz의 동적 응답 특성을 갖는 Murata의 ENC03J를 사용하였다[6].

DAS(Data Acquisition System)의 마이크로프로세서는 128Kbyte flash, 4Kbyte EEPROM, 4Kbyte SRAM, 8채널 ADC, 직렬 통신 인터페이스를 갖는 ATMEL ATmega 128을 적용하였으며, 433MHz로 동작하는 무선 송/수신 모듈을 적용 하였다. 제작된 공간 추적 시스템을 그림 5에서 보여주고 있다. 공간추적 시스템의 움직임을 일정하게 동작시켜 실험을 하고자 로봇 암(Samsung FARAMAN-AS1)을 적용한 것을 그림 6에서 보여주고 있다.

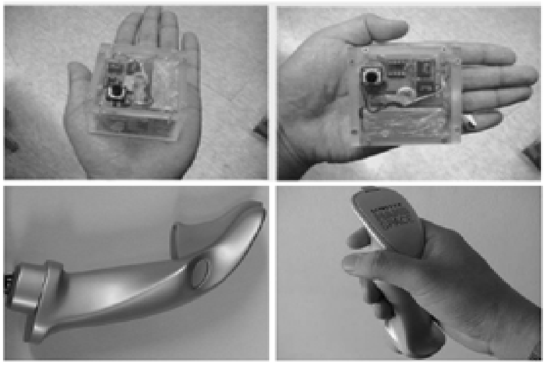

그림 5. 제작된 공간 추적 시스템.
Fig. 5. Developed spatial tracker system.

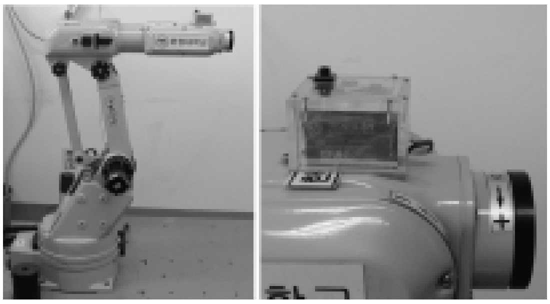

그림 6. 공간 추적 시스템의 평가를 위한 실험 기구.
Fig. 6. Experiment setup to evaluate the spatial tracker system.

2. 평가 방법과 실험 결과

제작된 공간 추적시스템과 제안한 알고리즘의 유용함을 보이기 위하여 다음과 같은 실험들을 수행하였다.

Case 1. 공간 추적 시스템을 회전 동작이 없이 좌/우를 3번씩 반복 이동 동작 하도록 한다.

Case 2. 공간 추적 시스템을 이동 동작이 없이 시계방향/반시계방향으로 90도를 3번씩 반복 회전 동작 하도록 한다

Case 3. 공간 추적 시스템을 임의의 방향과 회전 량으로 일정위치에서 다른 위치로 이동하도록 한다.

실험결과 데이터는 20msec의 샘플링에 의한 데이터이며, X축은 샘플링의 갯수를 의미한다.

· **Case(1) 실험 결과:** 실험 결과를 그림 7과 8에서 보여주고 있다. 이 실험은 Hand(로봇 암)의 진동에 의한 미세한 잡음신호와 제로 기준점 오차에 대한 효과를 보여주고 있다. 그림 7의 X축은 가속도센서의 출력을 보여주고 있다. 그림 7에서 제안된 알고리즘을 적용하지 않았을 경우에 제로 기준점 오차와 미세한 잡음 신호로 인하여, 가속도 성분의 2차 적분에 의한 적분 누적 오차로 인해 발산하게 된다. 제안된 알고리즘을 적용했을 때 제로 기준점 오차가 보상됨을 볼 수 있다.

그림 8은 X축의 위치궤적을 보여주고 있다. 궤적이 누적오차에 의해 점차적으로 발생하는 것을 볼 수 있다.

· **Case(2) 실험 결과:** 그림 9와 그림 9, 10은 Case(2)실험 결과를 보여주고 있다. 이 실험은 Y축의 회전에 의한 비선형적인 중력 보상의 효과를 보여주기 위한 실험이다. 그림 9는 X축과 Z축의 가속도센서의 출력을 보여주고 있다. 그림 9에서 회전에 따른 정적 가속도 성분(Gravity term)에 의해 dc-offset

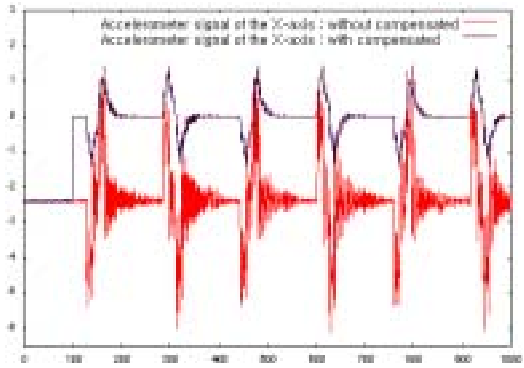

그림 7. X축의 가속도 센서의 출력(m/sec^2).
Fig. 7. Accelerometer output signal of X-axis(m/sec^2).

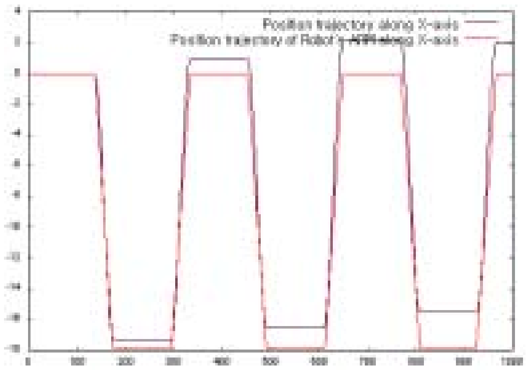

그림 8. 보상 알고리즘을 적용했을 때 X축의 위치궤적(cm)
Fig. 8. Position trajectory along X-axis with compensation algorithms(cm).

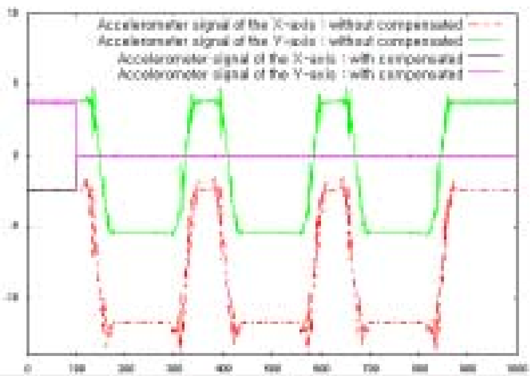

그림 9. X축과 Y축의 가속도센서의 출력 (m/sec^2).
Fig. 9. Accelerometer output signals of X- and Y-axes (m/sec^2).

성분이 나타난 것을 볼 수 있다. 그림 10은 Y축의 자이로 출력을 보여주고 있다. 제안한 알고리즘을 적용하게 되면 비선형적인 중력을 회전축변환에 의해 보상 할 수 있으며, 그 결과 그림 11과 같은 보상된 Y축의 회전 각도 궤적을 볼 수 있다.

· **Case(3) 실험 결과:** 그림 12, 13과 14는 Case(3)실험 결과를 보여주고 있다. 이 실험은 Case(1)과 Case(2)의 문제가 결합되어 있을 때의 영향을 보이기 위한 실험이다. 그림 12는 X축과 Z축의 가속도 센서의 출력신호를 보여주고 있다. 그림 12

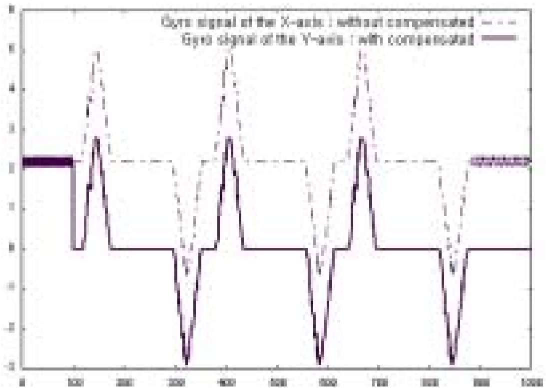

그림 10. Y축의 자이로의 출력(deg/sec).
Fig. 10. Gyro output signal of Y-axis(deg/sec).

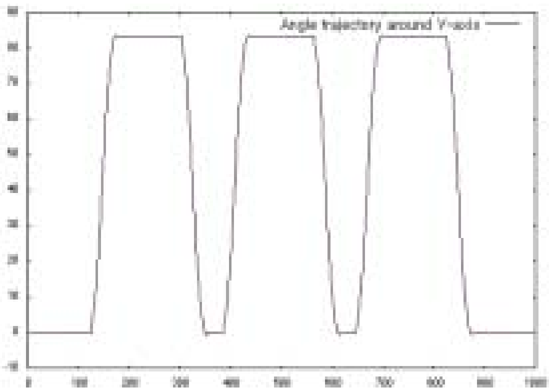

그림 11. 보상 알고리즘을 적용했을 때 Y축의 각도 궤적(deg).
Fig. 11. Angle trajectory around Y-axis with compensation algorithm(deg).

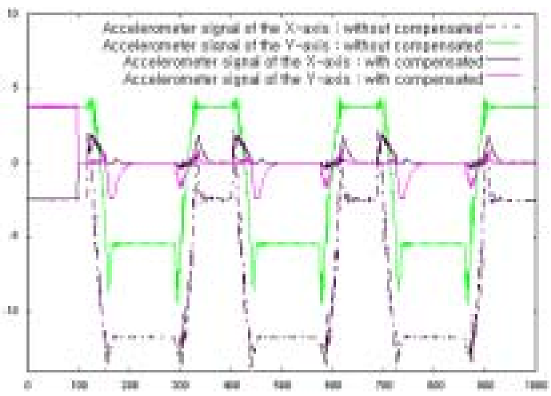

그림 12. X축과 Z축의 가속도센서의 출력(m/sec^2).
Fig. 12. Accelerometer output signals of X- and Z-axes (m/sec^2).

로부터 원하지 않는 dc-offset과 누적오차가 존재함을 알 수 있으며, 그림 13은 Y축의 자이로 출력과 보상된 출력을 보여주고 있다. 제안한 알고리즘을 적용하게 되면 원치 않는 적분 누적오차와 비선형 중력효과를 보상하게 됨을 볼 수 있다. 그림 14는 제안한 알고리즘을 적용한 상태에서 위치와 회전각도에 대한 궤적을 나타내며, 이로서 위치와 회전각도를 공간상에서 추적할 수 있는 결과를 보여주고 있다.

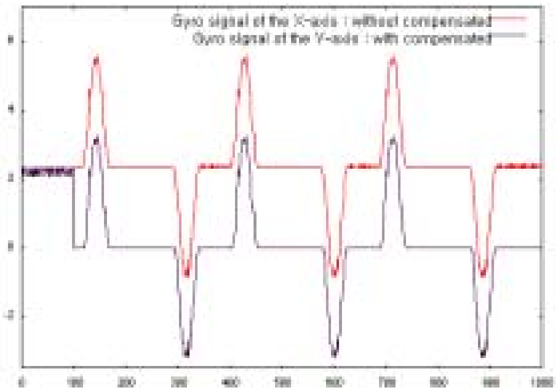

그림 13. Y축의 자이로의 출력(deg/sec).
Fig. 13. Gyro output signal of Y-axis(deg/sec).

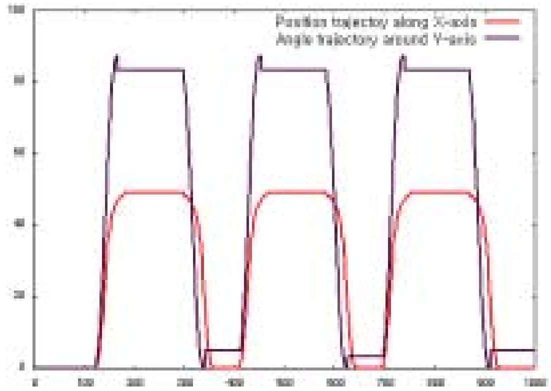

그림 14. 보상 알고리즘을 적용했을 때 위치와 각도 궤적(cm, deg)
Fig. 14. Position and rotation responses with compensation algorithms(cm, deg).

IV. 결론

본 연구에서는 저가격형 공간추적시스템을 개발 하였다. 개발된 공간추적시스템은 3개의 가속도 센서와 3개의 자이로 그리고 마이크로프로세서로 구성되어 있으며, 단독적으로 사용 가능한 형태로 구성하였다.

특히 공간추적시스템에서는 움직임의 자세에 따른 보상방법과 누적 오차를 제거하는 방법으로 에이전트를 사용하였다. 각 각의 센서 신호를 담당하는 에이전트는 다른 에이전트로부터의 상태 신호(이벤트)에 따라 담당하는 센서의 신호처리와 보상을 각 에이전트의 상황 별로 설계하였으며, 각 에이전트의 상태 변화는 담당하는 센서 신호 상태와 에이전트의 상태에 따라 결정되도록 하여, 상호 커플링되는 신호처리 과정을 단순화 시킬 수 있었다.

실험 결과로부터 제작된 저가격형 6자유도의 손 움직임을 측정하는 시스템으로 사용 가능함을 보였다. 제작된 공간추적시스템은 유비큐터스 환경에서 컴퓨터와 접목되는 입력장치를 비롯하여 3D 가상공간에서 상호작용이 가능한 용도로 사용가능 할 것으로 적용 용도 개발이 추진되어야 할 것이며, 좀 더 우수한 알고리즘을 개발하여 정밀한 움직임까지도 표현할 수 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

[1] B. MacIntyre, and S. Feiner, "Future multimedia user interfaces," *Multimedia Systems* (1996)4 : pp. 250-268, Springer-Verlag.

[2] G. Pang and H. Liu, "Evaluation of a low-cost MEMS accelerometer for distance measurement," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, pp. 249-265, 2001.

[3] F. Viksten, "On the use of an accelerometer for identification of a flexible manipulator," *Master thesis in Automatic control at the department of electrical engineering Linkoping University*, Sweden, 2001.

[4] K. Sagawa *et al*., "Unrestricted measurement method of three-dimensional walking distance utilizing body acceleration and terrestrial magnetism," *Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems*, pp.707-710, 2001.

[5] Kionix, *KX110-L20, KX120-L20* data sheet 2002.

[6] Murata Manufacturing Co., *Gyrostar: Piezoelectric vibrating gyroscope ENC series data sheet 2001.*

박 명 관

1982년 광운대학교 전자공학과 1997년 한양대학교 전자공학과(공학박사). 1984년~1991년 대우중공업 중앙연구소 1991년~1995년 한국생산기술연구원 선임연구원 1996년~현재 동양대학교 IT전자공학부 부교수. 관심분야는 지능제어, 센서융합, 제어응용시스템.

서 일 홍

1977년 서울대학교 졸업. 1982년 한국과학기술원 졸업(공학박사). 1982년~1985년 대우 중공업 기술연구소 근무. 1987년~1988년 미국 미시간대 객원 연구원. 1985년~현재 한양대학교 교수.

이 상 훈

1994년 한양대학교 이과대학 수학과(이학사). 1997년 한양대학교 산업대학원 전자계산학과(공학석사). 2000년~현재 한양대학교 전자전기제어계측과 박사과정 재학중. 관심분야는 지능로봇의 행동선택 및 학습.