

저가형 핸드헬드 3차원 동작 추적 장치의 설계와 실험

김현석*, 이상훈*, 서일홍*, 박명관*
 한양대학교 지능제어 및 로봇틱스 연구실* 동양대학교 지능제어 연구실**

Design and Experiments of Cheap Handheld 3-Dimensional Motion Tracker

Hyun Seok Kim*, Sanghoon Lee*, Il Hong Suh*, Myung Kwan Park**
 Hanyang University*, DongYang University**

Abstract - 핸드헬드 3차원 동작 추적 장치는 새로운 Human Computer Interaction의 도구로 Wearable Computing, Ubiquitous Computing, 3차원 Game 등의 분야에 요구되어 지고 있다. 본 논문에서는 저가의 관성 센서를 사용한 소형의 핸드헬드 3차원 동작 추적 장치를 설계하였다. 특히, 저가의 관성 센서를 적용하는데 있어 센서신호처리의 문제점을 제시하고, 문제점을 제거하기 위한 신호 처리 방법과 관성센서의 누적오차를 줄이기 위한 방법을 제안하고 실험으로 입증하였다.

본 논문에서는 2장에 MEMS형 가속도 센서와 자이로의 특성과 구현된 하드웨어와 소프트웨어의 구조 및 특성을 기술하고, 측정된 신호의 신호처리의 문제점과 그 해결방안에 대하여 언급하고, 3장에서는 문제점을 해결하기 위한 방안으로 사용자의 움직임의 정지, 이동을 판별하는 과정을 퍼지 논리를 이용한 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 유용성을 실험을 통하여 언급하도록 하였으며, 5장에서는 결론과 연구방향에 대하여 언급하였다.

1. 서 론

가상환경은 강력한 multimedia 컴퓨터, display장치 및 interactive 장치의 조합으로서 가능해진다. 특히 컴퓨터와 인간사이의 interaction에 대한 필요성이 높아지고 있다. 현재 가상 환경은 2차원보다는 3차원을 기반으로 하는 시스템으로 발전되어가고 있으며, passive보다는 interactive한 방향으로 발전되고 있다. 그것을 위해서는 공간상에서 사용자의 시각, 청각, 촉각등의 감각을 제공하는 장치가 필요한데 hand tracker, head-tracked display(시각과 청각 동시에), haptic display 등이 존재한다.

설계된 공간 추적 장치는 움직임의 가속도성분과 각속도 성분을 센싱하여 6자유도(이동위치 3자유도와 회전각도 3자유도)공간상의 좌표를 표시하도록 설계되었다. 기존의 공간 추적 장치 기술에는 초음파와 전자기를 사용한 transmitter와 receiver가 필요하게되며, 전자기를 사용한 추적 장치는 자기장과 금속성의 물체에 영향을 쉽게 받는다. 또한 초음파를 사용한 추적 장치는 잡음과 반사에 영향을 쉽게 받으며, 센싱을 위한 transmitter와 receiver 사이에 시계의 일직선(line of sight)이 유지되어야하는 단점이 있어, self-contained system을 만들 때는 사용할 수 없다.

본 논문에서는 기존 시스템의 단점을 보완하는 관성 센서를 이용한 공간 추적 장치를 제안하게 되었다. 관성 센서를 적용한 응용은 여러 가지 분야에서 적용되어지고 있다. 특히 이동 로봇의 위치 추정을 위한 응용[1][2], 가상환경 시뮬레이터의 센서 응용[3], 자율주행차량에 응용[4] 등 여러 가지로 적용되는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 적용한 관성형 센서는 가속도 센서와 자이로로서 가속도센서는 가속도를 측정하여 이중적분을 통하여 상대적 이동 거리를 측정하며, 자이로는 각속도를 측정하여 적분을 통하여 상대적인 각도 데이터를 얻게 된다. 특히 이러한 관성형 센서는 적용 장소에 관계없이 연속적인 위치와 각도 변화를 측정할 수 있다는 장점이 있으며, 항공 및 군사용으로 사용되는 관성항법장치(INS)의 경우는 측정정밀도가 우수한 반면 고가인 단점이 있었다. 최근에 관성형 센서들이 MEMS의 발전과 더불어 반도체형으로 생산되고 있어 소형화 및 저가격화가 이루어짐에 따라 적용 용도도 민수용으로 수요가 확대되고 있는 추세이다[5].

2. 시스템의 구성과 신호처리 알고리즘

2.1 시스템의 구성

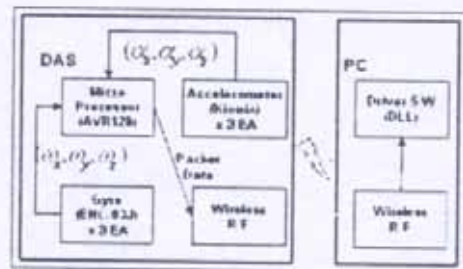


그림1. 동작 추적 장치의 블록 다이어그램

그림1은 동작 추적 장치의 블록 다이어그램이다. 가속도 센서 3개로부터 각 축 (x, y, z)의 가속도 성분 (a_x, a_y, a_z)이 아날로그 전압으로 출력되어 Microprocessor의 A/D Converter를 통하여 가속도 성분으로 변환하게 되며, 자이로 센서 3개로부터 각 축 (x, y, z)의 각속도 성분 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)출력은 아날로그 전압으로 입력되어 A/D Converter 통해 각속도 성분으로 변환되어지도록 구성하였다. 변환된 데이터들은 패킷화 되어 PC의 직렬통신에 연결된 RF 수신 장치에 전달된다. 동작 추적 장치의 내부에는 RF 송신 장치를 장착하였다. RF 수신 장치에서 USB로 데이터를 전달받은 PC는 신호처리 알고리즘을 거쳐 추정된 위치 및 각도를 화면상에 디스플레이 되도록 구성하였다. 적용한 관성형 센서구성은 Kinex사의 가속도 센서 KXG11-L30와 MURATA사의 자이로 센서 ENC-03J를 적용하였다[6][7].

그림2는 동작 추적 장치의 Data Aquisition System (DAS)와 PC에서 수행되어지는 Software Structure를 보여주고 있다.

신호 처리 S/W는 각각의 센서를 하나의 Agent로 그림 2와 같이 구현한다. 이때 각 센서의 내부 상태는 그림3과 같이 구성되며, 각 센서의 동작 상태를 Detector 모듈이 감지하여 이를 이벤트로 생성할 수 있도록 하였다. 자이로가 Move 상태에서는 자이로의 데이터를 이용하여 가속도센서의 Offset을 보정하고, 가속도센서가 Stop 상태일 때, 자이로의 Offset을 보정하도록 구성하였다.

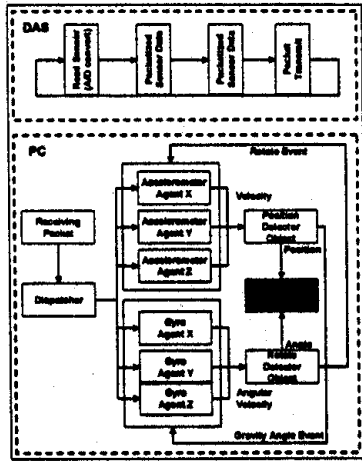


그림2. 동작 추적 장치의 Software Structure

자이로와 가속도센서가 모두 Stop 상태인 경우 동작 추적 장치의 움직임이 멈춘 것으로 간주하여, 이때 자신의 좌표를 기준 좌표로 다시 설정함으로써, 누적 적분 오차를 제거하도록 구성하였다. 또한 누적 적분 오차를 줄이기 위해서는 움직임의 시작과 끝을 감지하도록 하는 알고리즘이 필요하게 된다.

Gyro Agent



Accelerometer Agent

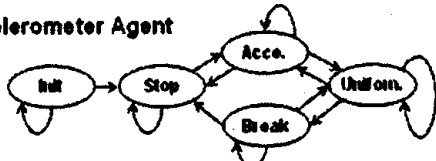


그림3. Software Agent로 구성된 신호 처리 S/W의 상태 다이어그램

관성형 센서의 신호처리를 위한 알고리즘은 다음과 같다.

2.1.1 Zero bias drift 보상

가속도 센서와 자이로의 초기 바이어스 에러 모델은 zero drift로부터 도출된다. 정지 상태의 가속도센서와 자이로 센서로부터 일정 시간 동안 zero점의 거동을 수집하고, zero drift의 경향을 도출하여 constant error로 식(1)과 같이 초기의 drift를 보정하게 된다.

$$\alpha_c(t) = \alpha_m(t) + \alpha_c$$

$$\omega_c(t) = \omega_m(t) + \omega_c \quad (1)$$

$\alpha_c = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \alpha_n$, $\omega_c = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \omega_n$ 이다. 여기서 $\alpha_c(t)$, $\omega_c(t)$ 는 보상된 가속도센서와 자이로의 가속도와 각속도 성분이고, α_n , ω_n 는 측정된 constant error이며, $\alpha_m(t)$, $\omega_m(t)$ 는 측정되어진 가속도와 각속도 성분이다.

2.1.2 관성형 센서의 잡음 제거

관성형 센서의 잡음 성분을 제거하기 위해 두 가지 필터를 적용하였다. 먼저 실제 센서로부터 출력되는 신호들의 zero drift이외의 white noise를 제거하기 위해 식(2)와 같이 이동평균을 취함으로써 점에서 점으로 변화가 심한 부분은 평균을 취하고, 천천히 변화하는 부분은 그대로 유지시키는 것으로 원래의 시퀀스를 저역 통과

필터링에 해당한다.

$$y[n] = \frac{1}{N+M+1} \sum_{k=-N}^M y[n-k] \quad (2)$$

또 하나의 필터는 센서들의 민감도에 의해 미세한 떨림에 의한 신호 출력을 없애주는 dead-zone 필터이다. 실험에 의해 식(3)과 같이 일정 값보다 작은 센서 신호는 무시하도록 하는 필터를 구성하여야 한다. 식에서 제시된 constant k값은 실험에 의해 결정된 값으로 한다.

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

2.1.3 회전에 따른 가속도 성분의 축 변환

가속도 센서의 경우에는 중력을 기반으로 제작된 센서이므로 자세에 따라 중력에 대한 보상을 해주어야 하며, 각축의 회전 각도에 따라 아래와 같은 축 변환과정이 필요하다.

${}^a a = \{a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}\}^T$ 를 측정된 가속도 성분이라고 하고, ${}^b a = \{a_{x2}, a_{y2}, a_{z2}\}^T$ 는 회전에 따른 중력이 보상된 가속도 성분이라고 할 때, ${}^b a$ 는 식(4)와 같이 정의 된다.

$${}^b a = R_z(\theta)R_y(\theta)R_x(\theta){}^a a \quad (4)$$

${}^b a$ 로 축 변환이 수행되며, 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 θ 는 자이로에서 측정되는 각도이다.

회전에 따른 가속도 축 변환 알고리즘은 정확한 회전 각이 필요하다. 그러나 각속도 성분에 의한 각도도 적분에 의한 누적오차가 존재하게 된다. 누적 오차를 제거하는 알고리즘이 필요하게 되는데, 움직임의 끝은 항상 가속도 성분과 각속도 성분이 zero라는 점에 착안하여 움직임이 정지된 상태에서 가속도 센서의 정적인 성분으로 존재하는 dc-offset을 이용하여 각도에 대한 적분누적오차를 제거하게 된다.

3 퍼지 로직을 사용한 움직임 판별

적분 누적 오차를 줄이기 위해서는 움직임의 시작과 끝 유무를 정확히 감지해야 한다, 특히 어느 정도가 움직임의 시작과 끝인지를 판단하는 부분은 각 사용자마다 판단의 모호성을 가지고 있다. 그리고 단순히 가속도 및 각속도에서 threshold값 이상을 패턴으로 볼 경우는 threshold 값만큼의 면적에 대한 적분 오차가 발생하게 된다. 본 논문은 이러한 부분을 퍼지룰 적용해 판단의 모호성을 해결하고 적절한 움직임의 판단 하에 threshold값이 최소가 되도록 구성하였다[8][9].

$\dot{K} = \{a_x, a_y, a_z\}^T$, $\dot{U} = \{g_x, g_y, g_z\}^T$, \dot{K} , \dot{U} 는 가속도와 각속도를 단순한 벡터로 표시하고, 각각의 변화율은 식(5)와 같이 표현가능하다.

$$\dot{K}_d = \frac{d\dot{K}}{dt}, \dot{U}_d = \frac{d\dot{U}}{dt} \quad (5)$$

또한 변화율을 크기로 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$K_v = \|\dot{K}_d\| = \sqrt{\sum k_{di}^2}, U_v = \|\dot{U}_d\| = \sqrt{\sum u_{di}^2} \quad (6)$$

K_v 와 U_v 을 입력으로하여, 식(7)과 같이 퍼지 규칙을 구성하였다.

$$\text{if } K_v \text{ and } U_v, \text{ then } B \quad (7)$$

그림4는 K_v 와 U_v 의 소속 함수를 나타내며, 그림5는 패턴을 판정하는 B에 대한 소속 함수이다. 표1은 K_v 와 U_v 에 대한 B의 퍼지 물이다.

표2. 실험 결과 비교 표

가속	Threshold	정확도	Fuzzy Logic	정확도	
1.0	218.01	96.07	91.44	77.07	95.84
1.0	214.26	79.12	91.52	79.76	94.87
1.0	224.24	77.74	89.77	74.74	95.26
4.0	167.01	120.41	93.04	100.07	95.11
5.0	217.22	91.07	91.41	77.07	92.88
6.0	191.21	117.07	89.44	79.76	94.87
7.0	198.21	93.07	91.44	77.07	95.26
10.0	210.21	94.07	91.76	77.19	97.26
15.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
20.0	197.41	92.07	91.44	77.07	94.87
25.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
30.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
35.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
40.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
45.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
50.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
55.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
60.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
65.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
70.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
75.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
80.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
85.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
90.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
95.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87
100.0	210.21	91.04	88.77	74.74	94.87

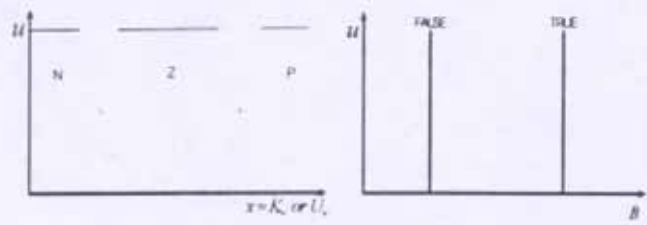


그림4. K, 와 U, 의 소속 함수 그림5. B의 소속 함수

표1. Fuzzy rule for K, and U.

		K,		
		N	Z	P
U,	N	TRUE	FALSE	TRUE
	Z	FALSE	FALSE	FALSE
	P	TRUE	FALSE	TRUE

그림4. 에서 퍼지를 사용하기 위한 각각의 입력 변수에 이용된 언어적 변수는 다음과 같다. N : positive, Z : zero, P : negative
출력 값을 나타내는 퍼지 집합 B는 TRUE일 수도 있고 FALSE일 수도 있으며 그림5.는 B에 대한 소속 함수를 나타낸다. 그리고 실제 시스템에서의 패턴 구분은 퍼지값이 아닌 일정한 값(crisp value)이므로 비퍼지화 과정이 필요하다. 비퍼지화 방법으로는 left most maximum을 사용하였다.

4. 실험 결과

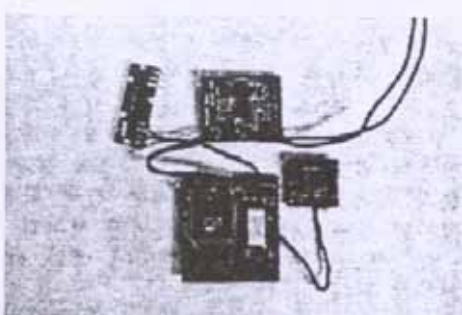


그림6. 구현된 동작 추적 장치의 내부구성

그림6.은 실제로 구현되고 실험에 사용된 동작 추적 장치의 내부구성이다. 그림7.은 회전 움직임과 이동 움직임에 대한 본 장치에 대한 신호처리 결과를 그래프로 나타낸 것이다. (a) 부분은 신호처리 전 (b) 부분은 신호처리 후를 나타낸다.

2장에서 제시한 알고리즘이 정확히 구현된 것을 알 수 있다. 관성 센서의 특성과 신호 처리 등의 결과로 움직임이 느린 경우 측정에 오차가 많이 발생하고, 빠른 움직임 일수록 보다 정확한 측정 결과가 관측되는 것을 알 수 있었다. 이것은 관성 센서의 잡음의 크기가 실제 용

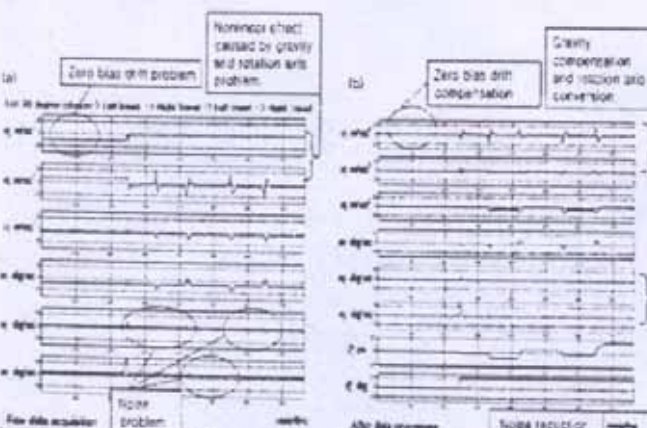


그림7. (a) 신호처리 전 (b) 신호처리 후

직업에 대한 센서의 신호 레벨의 차이가 작기 때문에 발생한다고 볼 수 있다.

사용자의 움직임을 판단하기 위한 방법으로 퍼지 로직을 적용했을 경우와 threshold값을 사용한 경우를 비교 실험하였다. 그 결과는 표2에 나타나있다. 구현된 동작 추적 장치를 사용해 좌우 왕복 실험을 반복하였다. 그리고 실제 사용자의 움직임을 알려준 상태에서 움직인 거리를 계산한 값을 기준으로 잡는다. threshold 값을 사용한 경우의 이동 거리는 기준에 비해 평균 87.8% 정확했고, 퍼지 로직을 적용한 경우의 이동 거리는 기준에 비해 평균 95.5% 정확했다.

5. 결 론

본 연구에서는 가속도센서와 자이로를 통한 3차원 동작 추적 장치를 제안했다. 저가의 관성 센서를 적용하는데 있어 센서신호처리의 문제점을 제시하고, 문제점을 제거하기위한 신호 처리 방법과 관성센서의 누적오차를 줄이기위한 방법을 제안하고 실험으로 입증하였다.

제안된 장치는 Ubiquitous Computing 환경 또는 Wearable Computer의 입력 장치로 응용 가능 하며, 좀더 정밀한 가속도 센서와 자이로를 적용하면 자동화기계의 저가액 센서로 적용가능할 것으로 생각되며, 응용 용도에 맞는 신호처리기법과 관성센서의 누적적분오차를 줄이기위한 심층적인 연구가 요구되어진다.

[참 고 문 헌]

- [1] Stephen B. H. Bruder and Kevin Wedeward "Terrain Aided DNS Robot Navigation: A Deferred Decision Making Approach" Proceedings of the 1999 IEEE 42nd Midwest Symposium on Circuits and Systems, 135-139, 1999
- [2] Grantham pang and Hughliu, "Evaluation of a low cost MEMS Accelerometer for Distance Measurement" J. of intelligent and Robotic Systems 30, 249-265, 2001
- [3] Keith A. Redmil et al " Sensor and Data fusion Design and Evaluation with Virtual Environment Simulator" Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 pp.668-674 2000.10
- [4] Kazuza Tamura et al. "Autonomous Vehicle Control System Equipped with Navigation System" Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control , pp.361-367, 1998
- [5] Koichi 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
- [6] Kionix, KXG11 data sheet 2003
- [7] Murata Manufacturing Co. Gyrostar: Piezoelectric vibrating gyroscope ENC series data sheet 2001
- [8] L. Zadeh, "Fuzzy Set" Inf. Control, Vol. 8, pp. 338-535, 1965
- [9] L. Zadeh, "The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning", Inf. Science, Vol. 8, No. 3, pp. 199-249, 1975