

초음파 센서를 이용한 3차원 마우스 시스템 설계

이기일*, 강희원*, 박슬기*, 황동환**
 충남대학교 전자공학과*
 충남대학교 전기정보통신공학부**

3-Dimensional Mouse System Design using Ultra-Sonic Sensors

Ga-Il Lee**, Hee Won Kang*, Sul Gee Park*, Dong-Hwan Hwang**
 *Department of Electronics Engineering, Chungnam National University,
 **School of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University

Abstract - 본 논문에서는 초음파 센서를 이용하여 3차원 마우스 시스템을 설계하였다. 마우스에 부착시킨 초음파 발신부와 모니터에 부착시킨 초음파 수신부를 이용하여 마우스와 모니터에 부착된 수신부사이의 거리를 측정한다. 측정된 거리는 무선네트워크를 이용하여 Host PC에 전송하고, Host PC는 측정거리와 위치 추정 알고리즘을 이용하여 마우스의 위치를 추정한다. 최소자승법을 이용하여 위치 추정 알고리즘의 모의실험을 수행하였으며, 모의실험 결과로부터 최소자승법을 3차원 마우스 시스템의 위치추정 알고리즘으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

최근 발표 및 시연회를 포함한 각종 행사장에서 공간의 제약이 없는 컴퓨터 입력장치의 필요성이 많이 대두 되고 있다. 이에 따라 Gyroscope, Tilt, 카메라 등의 센서를 이용한 3차원 마우스의 개발이 활발히 진행되고 있다. Gyroscope 센서를 이용할 경우에는 정확한 자세각을 측정하지만 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 문제점이 있고[1], Tilt 센서를 이용할 경우에는 응답이 느리고 측정가능한 각도의 범위에 제한이 있다[2]. 카메라 센서를 이용할 경우에는 영상처리를 한 후에 마우스의 위치를 추정하기 때문에 실시간으로 사용하기에 어려움이 있다[3].

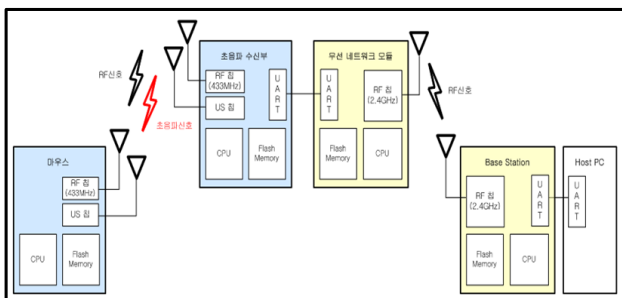
M. Nunoshita는 사지불능의 장애인을 위해 초음파 센서를 부착한 헤드포인터를 제안했다. 이 시스템은 3개의 초음파 송신기가 부착된 헤드포인터와 1개의 초음파 수신기로 구성되어있고, 머리만의 움직임으로 마우스 커서를 움직일 수 있다. 초음파 센서를 이용한 헤드 포인터의 성능은 보통의 마우스와 비교해서 속도와 정확도 면에서 차이가 없음을 볼 수 있다[5].

본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 3차원 마우스를 설계하였다. 마우스에 탑재된 초음파 송신부로부터 평면상에 위치한 초음파 수신부는 초음파를 수신하여 두 모듈사이의 거리를 측정한다. 측정된 거리는 Zigbee 무선통신기술을 이용하여 Host PC로 전달하고, 위치추정 알고리즘을 사용하여 마우스의 위치를 추정한다. 추정된 마우스의 위치는 컴퓨터 화면 상에 커서로 보여준다. 근거리 무선통신기술인 Zigbee를 사용하기 때문에 초음파 수신부의 위치가 자유롭고, 공간제약이 없는 3차원 마우스이기 때문에 신체장애가 있는 사람들의 컴퓨터 사용에 유용한 장점 이 있다.

2절에서 초음파 센서를 이용한 3차원 마우스 시스템의 H/W(Hardware) 구성을 보였고, 3절에서는 초음파 센서를 이용한 3차원 마우스의 S/W(Software)를 설계하였다. 4절에서는 위치 추정을 위해 최소자승법에 대해 기술하였고, 5절에서는 최소자승법을 이용한 위치 추정에 대해 모의실험결과를 제시한다. 마지막으로 6절에서 결론 및 추후과제를 제시하였다.

2. 3차원 마우스의 H/W 구성

초음파 센서를 이용한 3차원 마우스 시스템은 그림 1과 같이 초음파 발신부를 부착한 마우스, 초음파 수신부, 무선 네트워크 모듈, Base Station, Host PC로 구성된다.



〈그림 1〉 3차원 마우스 시스템

2.1 마우스 및 초음파 수신부

마우스와 모니터에 부착된 초음파 수신부는 Crossbow사의 Cricket 모듈을 사용한다. Cricket은 US(Ultra Sonic)칩과 RF(Radio Frequency)칩이 탑재되어 있으며, 마우스는 Cricket을 Beacon 모드로 설정하여 사용하고, 초음파 수신부는 Cricket을 Listener 모드로 설정하여 사용한다.

2.2 무선 네트워크 모듈 및 Base station

무선 네트워크 모듈과 Base station은 Crossbow사의 MicaZ 모듈을 사용한다. 이 모듈을 사용하면 Tiny OS를 기반으로 응용프로그램을 개발할 수 있다. 무선 네트워크 모듈은 초음파 수신부와 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)로 연결된다. 무선네트워크모듈은 초음파 수신부로부터 거리정보를 전달받고, RF통신을 하여 거리정보를 Base Station으로 전달한다.

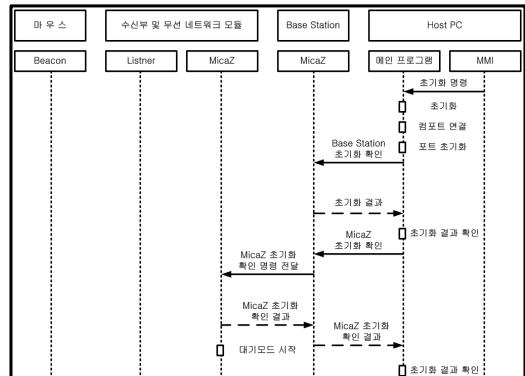
2.3 Host PC

Host PC는 인텔 CPU를 탑재하였으며, Windows OS를 기반으로 응용프로그램을 실행한다.

3. 3차원 마우스 시스템의 S/W 설계

3.1 3차원 마우스 시스템의 초기화 S/W

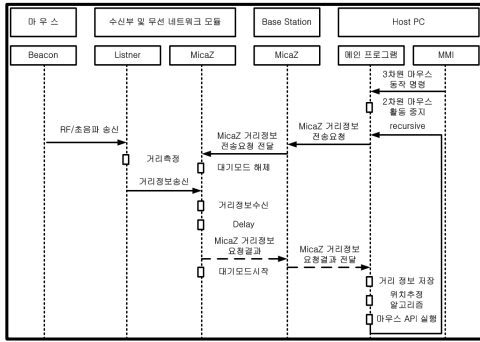
초음파센서 모듈과 무선네트워크모듈, Base Station은 전원을 켜는 때 자동으로 초기화를 실시한다. MMI에서의 초기화 명령은 Host PC의 메인 프로그램으로 전달되고 메인 프로그램은 초기화를 실시한다. 초기화 후에는 RS232C 통신을 준비하고, Base Station과 무선네트워크모듈의 초기화를 순서대로 확인한다. 확인응답을 송신한 무선네트워크 모듈은 대기상태로 모드를 전환하여 거리정보요청을 기다린다. 그림 2는 초음파 수신부와 무선네트워크모듈을 각각 하나씩만 고려하여 나타낸 초기화 S/W에 대한 시퀀스 다이어그램이다.



〈그림 2〉 시스템 초기화 S/W의 시퀀스 다이어그램

3.2 3차원 마우스 시스템의 동작 S/W

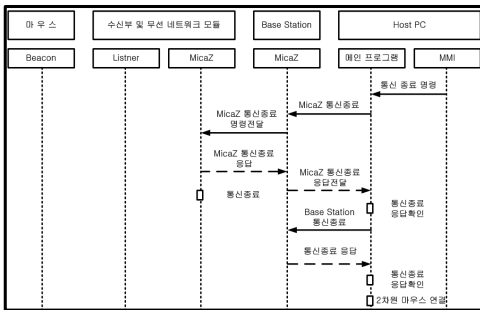
사용자가 MMI에서 3차원마우스의 동작 명령을 하면 메인프로그램은 2차원 마우스의 연결을 끊고, 개발자가 정해둔 순서에 따라 각 무선네트워크모듈로 거리정보를 요청한다. 거리정보를 요청 받은 무선네트워크모듈은 초음파 수신부로부터 UART를 통해 거리정보를 전달받고 RF통신을 통해 Base Station으로 거리정보를 보낸다. 4개의 무선네트워크모듈이 동시에 보낸 RF신호가 겹쳐지는 것을 방지하기 위해서 각 무선네트워크모듈마다 서로 다른 전송지연을 설정한다. Base Station은 UART를 통해 Host PC에 거리정보를 전달한다. Host PC는 각 수신부로부터 받은 거리정보를 저장하고 위치추정 알고리즘을 통해 마우스의 위치를 추정한다. 이 값은 마우스 API(Application Programming Interface)의 입력으로 사용한다. 메인프로그램은 사용자의 종료명령을 받기 전까지 이러한 시퀀스를 계속적으로 반복한다. 그림 3은 초음파 수신부와 무선네트워크모듈을 각각 하나씩만 고려하여 나타낸 3차원 마우스 동작 S/W에 대한 시퀀스 다이어그램이다.



〈그림 3〉 시스템 동작 S/W의 시퀀스 다이어그램

3.3 3차원 마우스 시스템의 종료 S/W

사용자가 MMI에서 통신종료 명령을 내리면, 메인프로그램은 Base Station을 통해 각 무선네트워크 모듈로 시스템 종료 명령을 보낸다. 각 무선네트워크 모듈은 통신 종료 명령에 대한 응답 후, 통신을 종료하며, Base Station도 통신을 종료한다. 이후에, 메인프로그램은 2차원마우스를 연결한다. 그림 4는 시스템 종료에 대한 시퀀스 다이어그램이며 초음파 수신부와 무선네트워크모듈을 각각 하나씩만 고려하여 나타낸다



〈그림 4〉 시스템 종료 S/W의 시퀀스 다이어그램

4. 최소자승법을 이용한 위치추정 알고리즘

최소자승법은 오차의 제곱 합이 최소가 되도록 하여 위치를 추정하는 방법이며 구하려는 미지수 개수가 방정식 개수보다 작을 때도 사용할 수 있다. $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n$ 는 n번째 초음파 수신부의 위치이고, x_0, y_0, z_0 는 선형화 기준위치일 때 초음파 수신부와 선형화 기준위치 간의 추정거리는 식(1)과 같다. 식(2)는 선형화 기준위치와 초음파 수신부간의 시선 각벡터이고 식(3)은 마우스와 초음파수신부 사이의 거리와 선형화기준위치와 초음파수신부 사이의 거리차이이다.

$$\tilde{d}_n = \sqrt{(\alpha_n - x_0)^2 + (\beta_n - y_0)^2 + (\gamma_n - z_0)^2} \quad (1)$$

$$a_{nx} = (\alpha_n - x_0)/\tilde{d}_n \quad a_{ny} = (\beta_n - y_0)/\tilde{d}_n \quad a_{nz} = (\gamma_n - z_0)/\tilde{d}_n \quad (2)$$

$$e_1 = d_1 - \tilde{d}_1 \quad e_2 = d_2 - \tilde{d}_2 \quad e_3 = d_3 - \tilde{d}_3 \quad e_4 = d_4 - \tilde{d}_4 \quad (3)$$

식(1)~(3)은 다음 식(4)의 벡터형태로 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} a_{1x} & a_{1y} & a_{1z} \\ a_{2x} & a_{2y} & a_{2z} \\ a_{3x} & a_{3y} & a_{3z} \\ a_{4x} & a_{4y} & a_{4z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

시선각 벡터에 대한 행렬을 G행렬이라 할 때, 추정해야 할 마우스의 위치와 선형화 기준 위치에 대한 차이 값은 식(5)로 표현한다.

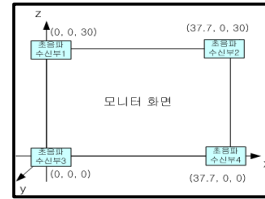
$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = (G^T G)^{-1} G^T \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

다음 식(6)은 추정하려는 마우스의 위치(x_u, y_u, z_u) 이다.

$$\begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + (G^T G)^{-1} G^T \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

5. 모의 실험

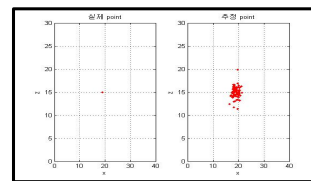
최소자승법을 이용한 위치추정 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 MATLAB을 이용한 모의실험을 실시하였다. 각 초음파 수신부의 위치는 (0, 0, 30), (37.7, 0, 30), (0, 0, 0), (37.7, 0, 0)으로 모니터의 꼭지점으로 배치한다. 이때 단위는 [cm]이다.



〈그림 5〉 모의실험 환경

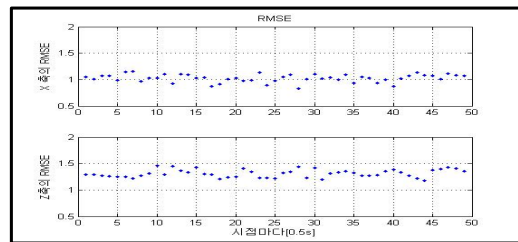
위치가 (18.85, 30, 15)인 점과 (6, 30, 15)에서 (30, 30, 15)까지 이동하는 직선경로에 대한 위치추정 모의실험을 수행하기 위하여 마우스와 초음파 수신부사이의 거리를 미리 계산하며 마우스 이동에 대한 입력값을 생성하였다. 이때 실제회전각과 유사하게 값을 설정하기 위하여 평균이 0이고 표준편차가 1인 가우시안 노이즈를 입력값에 추가하였다.

그림 6에 보인바와 같이 (18.85, 30, 15)에 대한 위치추정결과 bias값이 0.1920[cm], CEP (Circular Error Probability)값은 1.2477이었다.



〈그림 6〉 점에 대한 위치추정

그림 7은 직선경로에 대해 모의실험을 한 결과로 직선 위치 추정에 대한 x, z축의 RMSE(Root Mean Square Error)를 나타낸다.



〈그림 7〉 직선 위치추정에 대한 x, z축 RMSE

6. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 3차원 마우스 시스템을 설계하였다. 3차원 마우스 시스템의 하드웨어를 구성하고, 소프트웨어를 설계하였다. 3차원 마우스의 위치추정을 위하여 최소자승법을 소개하고, 모의실험을 통해 성능을 검증하였다. 결과로 최소자승법을 이용한 알고리즘은 위치추정에 적합한 것을 확인하였다.

추후에는 위치추정 알고리즘으로 직접필터법의 코사인법칙 이용법과 피타고라스정리 이용법도 검토하고, 설계한 3차원 마우스의 실시간 실험을 통한 성능검증을 수행할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Young wook Kim, "Development of headset-type computer mouse using gyro sensors for the handicapped", Microtechnologies in Medicine & Biology 2nd Annual International IEEE-EMB Special Topic Conference on 2-4 May Page(s):356 - 360, 2002
- [2] Yu-Len Chen, "Application of tilt sensors in human-computer mouse interface for people with disabilities", Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on Volume 9 Issue 3, Page(s) : 289 - 294, Sept. 2001
- [3] Lee Moon Key, "3D-mouse using camera", World Intellectual Property Organization, 2007
- [4] 황은수, 김용준, "Development of Tactile Sensor using Polysilicon Piezoresistors embedded in Polymer Substrate", 한국의용공학회, 2003
- [5] M.Nunoshita, Y.Ebisawa, "Head pointer based on ultrasonic position measurement", Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamat, Japan, 2002