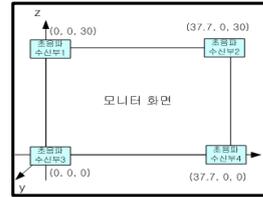


〈그림 3〉 시스템 동작 S/W의 시퀀스 다이어그램

### 5. 모의 실험

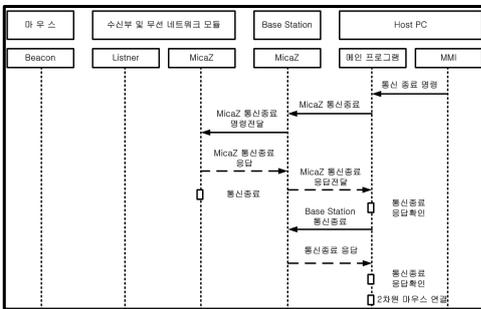
최소자승법을 이용한 위치추정 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 MATLAB을 이용한 모의실험을 실시하였다. 각 초음파 수신부의 위치는 (0, 0, 30), (37.7, 0, 30), (0, 0, 0), (37.7, 0, 0)으로 모니터의 꼭지점으로 배치한다. 이때 단위는 [cm]이다.



〈그림 5〉 모의실험 환경

### 3.3 3차원 마우스 시스템의 종료 S/W

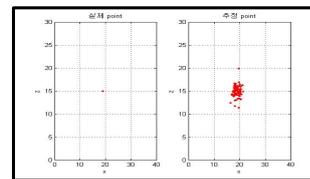
사용자가 MMI에서 통신종료 명령을 내리면, 메인프로그램은 Base Station을 통해 각 무선네트워크 모듈로 시스템 종료 명령을 보낸다. 각 무선네트워크 모듈은 통신 종료 명령에 대한 응답 후, 통신을 종료하며, Base Station도 통신을 종료한다. 이후에, 메인프로그램은 2차원마우스를 연결한다. 그림 4는 시스템 종료에 대한 시퀀스 다이어그램이며 초음파 수신부와 무선네트워크모듈을 각각 하나씩만 고려하여 나타낸다



〈그림 4〉 시스템 종료 S/W의 시퀀스 다이어그램

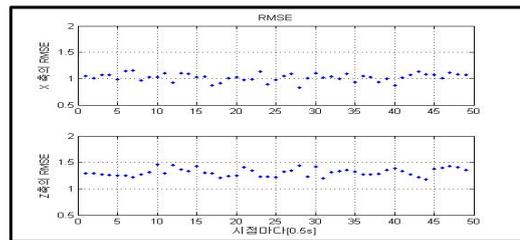
위치가 (18.85, 30, 15)인 점과 (6, 30, 15)에서 (30, 30, 15)까지 이동하는 직선경로에 대한 위치추정 모의실험을 수행하기 위하여 마우스와 초음파 수신부사이의 거리를 미리 계산하며 마우스 이동에 대한 입력값을 생성하였다. 이때 실제회경과 유사하게 값을 설정하기 위하여 평균이 0이고 표준편차가 1인 가우시안 노이즈를 입력값에 추가하였다.

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

### 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.

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

### 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