



Development of a Trajectory Measurement System for Pen-type Input Devices

Goo-Cheol Jeong¹, Won-Hyeong Park², Sang-Youn Kim^{2*}

¹*Department of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education*

²*Interaction Lab., Advanced Technology Research Center, Department of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education*

ABSTRACT

Recently, pen-type input devices have been widely used for recognizing the handwriting of a user and conveying handwritten data to electronic devices. Many pen-type input devices adopt an inertia measurement unit (IMU), which is fabricated by MEMS technology, to sense its motion. However, it is not easy to accurately measure the handwritten trajectory for a period of time with the MEMS IMU because the amount of IMU errors (dynamic drift, static drift, and stochastic drift) rapidly increases with time. The one of the most important factors in pen-type input devices based on MEMS IMU is to measure and to compute the real handwritten trajectory estimated by the IMU. Therefore, in this paper we design and implement a measurement experimental device to determine the real handwritten trajectory, thereby allowing intuitive human-computer interaction. In order to precisely investigate the real handwritten trajectory of a user, we use a haptic device (PHANToMTM) which is a mechanical device that is specifically used for providing haptic feedback to a user. After that, we attach the pen-type device to the gimbal of the PHANToMTM to measure the trajectories at the same time. Experiments are conducted to compare the handwritten trajectory from the IMU and the trajectory from haptic device. From the results, it is considered that the motion of the pen-type device is almost same as that of PHANToMTM, and furthermore it becomes writing posture.

© 2016 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Motion-haptic interaction, Natural interaction, Kayak simulator, Virtual reality, Real-time.

ARTICLE INFO: Received 2 September 2016, Revised 14 October 2016, Accepted 12 December 2016.

*Corresponding author is with Interaction Lab., Korea University of Technology and Education 1600 Chungjello, Byeongcheon myeon, Cheonan, ChungNam province,

330-708, KOREA.

E-mail address: sykim@kut.ac.kr

1. 서론

최근 들어 하드웨어와 소프트웨어의 발전으로 인하여 사용자들이 휴대용기와 인터랙션을 하기 위한 방법으로 펜 형 입력장치들이 개발되었다. 초기의 펜 형 입력장치들은 음성이나 영상, 또는 전기/자기장 등을 기반으로 하여 개발되었다. [1, 2, 3, 4, 5, 6]. 특히 Zloter와 Shenholz는 무선통신 칩을 펜 형 입력장치에 넣고 대상기와 인터랙션을 하였다 [4]. 또한 Pettersson 등은 코드화된 패턴을 종이 위에 그려놓고 카메라 등을 이용하여 펜 형 입력장치의 궤적을 파악하였다[5]. 또한 양홍영 등은 광학마우스 원리를 이용하여 펜 형 입력장치를 개발하였다[6]. 이와 같은 기술들은 펜 팁의 위치를 적외선/초음파 등으로 파악하여 대상기와 인터랙션을 수행한다. 그러나 이와 같은 초음파/적외선 방식의 펜 형 입력 장치들은 적외선 칩 근처에서만 통신이 가능하다는 단점을 가지고 있거나, 펜과 쓰는 면사이의 기울어진 각이 일정하지 않기 때문에 정확하게 움직임을 파악하는 것이 어려워서 동작영역 내에서 반사된 빛을 안정적으로 획득할 수 있는 구조가 필요하다. 이와 같은 구조의 또 다른 단점은 사용자가 글씨나 그림을 그리는 표면과 펜 형 입력장치가 맞닿아 있어야 궤적을 확실히 파악이 가능하다는 것이다.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 가속도 센서나 각속도 센서 등 관성측정유닛(IMU, Inertial Measurement Unit)을 탑재한 펜 형 입력장치들이 개발되었다 [7-10]. 관성측정유닛을 장착한 장치들은 기울어진 정도 뿐 아니라 장치의 움직인 궤적을 부가적인 장치 없이 실시간으로 얻어지거나 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 움직인 궤적은 관성센서를 적분하여 얻어지며 예측 및 보간 작업까지 필요하므로, 시간이 지날수록 에러가 증가한다[11, 12, 13]. 그러므로 본 연구에서는 펜 형

장치의 궤적을 정확하게 측정하고 관성측정 유닛으로부터 얻은 데이터와 정량적으로 비교하여 관성 측정유닛을 탑재한 펜 형 장치의 성능을 분석할 수 있는 시스템을 개발한다.

본 논문의 제 2장에서는 펜 형 입력장치의 궤적 측정 시스템에 대하여 설명하고, 3장에서는 펜 형 입력장치를 위한 펜형 장치의 모델을, 4장에서는 펜 형 입력장치와 펜형 장치의 연동 모델에 대하여 기술한다. 그리고 5장에서는 실험 결과에 대한 내용을 설명한다.

2. 펜 형 입력장치를 위한 궤적 측정 시스템

2.1 필기궤적 측정 시스템의 구성

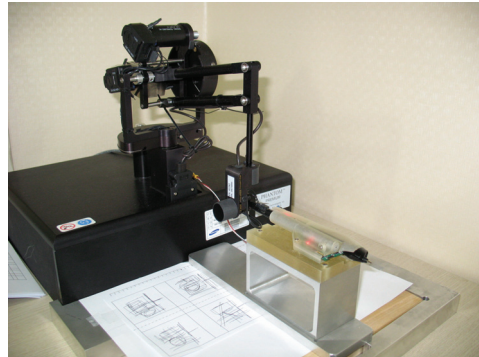


그림 1. 제안하는 시스템의 구성
Figure 1. The structure of the proposed system

본 연구의 목적은 펜 형 입력장치의 궤적을 정확하게 측정하고 펜 형 입력장치 내에 존재하는 IMU장치로 부터 얻은 데이터와 정량적으로 비교하여 성능을 분석하는 것이다. 펜 형 입력장치의 궤적을 정밀하게 측정하고 비교하기 위해 <그림 1>과 같이 펜 형 입력장치를 펜형 햅틱장치 [14,15]의 팁 부분에 연결하였다. 펜형 햅틱장치에서는 3축의 이동정보 (x,y,z) 와 3축의 회전 정보 (ϕ, θ, ψ)로 구

성된 총 6자유도의 위치 정보를 얻을 수 있으며, 펜 형 입력장치에서는 3축의 가속도 (ax, ay, az)와 3축의 각속도($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)로 구성된 6개의 데이터를 파악할 수 있다. 팬텀 햅틱장치에서 얻어지는 6자유도의 위치정보(x, y, z, Φ, θ, ψ)는 1kHz의 속도로 PC로 전달되며, 펜 형 입력장치에서 얻어지는 6개의 데이터(ax, ay, az, $\omega_x, \omega_y, \omega_z$)는 100Hz의 속도로 PC에 전달하였다. 팬텀 햅틱장치는 일단 초기화가 되면 정밀하게 위치 값을 파악할 수 있지만, 완벽한 초기화 세팅을 위한 모듈은 존재하지 않는다. 그러므로 본 연구에서는 팬텀장치가 작업 공간을 왜곡이 없도록 인식하게 하기 위하여 정밀하게 초기화를 할 수 있는 방법을 제안한다.

팬텀장치의 정확한 초기화를 위해 우선 물리적 성질을 정확히 정의하였다. 이를 위하여 <그림 2>와 같이 솔리드웍스(solidworks)를 이용하여 팬텀장치를 디자인하고 좌표축을 설정하였다. 좌표축의 설명을 위하여 본 연구에서는 팬텀 장치 자체의 기준 좌표축을 프레임 O로 설정하였으며 스타일러스(Stylus)의 중심에 위치한 좌표계를 프레임 G로 설정하였다.

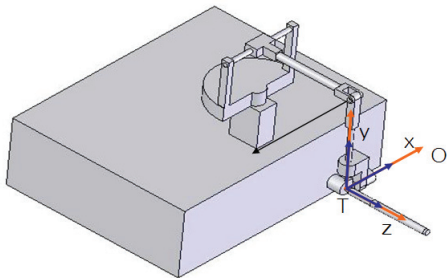


그림 2. 시스템의 3D 모델 및 좌표
Figure 2. The 3D model and coordinate of the system

또한 팬텀의 6개의 조인트들이 모두 초기 위치에 있을 때 x축을 사용자의 입장에서 오른쪽을 향하는 방향으로, y축을 위쪽을 향하는 방향으로, z

축을 팬텀에서 사용자로 향하는 방향으로 설정하였다. 이때 초기위치 <그림 2>에서는 두 프레임들(프레임 O와 프레임 G) 사이의 관계는 4 x 4 단위 행렬 (4 x 4 Identity Matrix) 로 표현된다. 기구학(Kinematics)을 계산하기 위해, 조인트들이 약간 움직여 있는 경우를 생각해보자. 이 경우 프레임 O의 입장에서 보는 프레임 G의 위치(OTG)를 계산하기 위해서는 다음과 같은 단계의 변환이동을 고려하여야 한다.

- ① : Frame G를 Frame O에 대해서 z방향으로 $-L_0$ 만큼 이동 (T_1)
- ② : Frame G를 Frame O에 대해서 y방향으로 $-\theta_1$ 만큼 회전 (T_2)
- ③ : Frame G를 Frame O에 대해서 y방향으로 L_1 만큼 이동 (T_3)
- ④ : Frame G를 Frame O에 대해서 x방향으로 $-\theta_2$ 만큼 회전 (T_4)
- ⑤ : Frame G를 Frame O에 대해서 z방향으로 L_2 만큼 이동(T_5)
- ⑥ : Frame G를 Frame O에 대해서 x방향으로 $-(\theta_3-\theta_2)$ 만큼 회전(T_6)
- ⑦ : Frame G를 Frame O에 대해서 y방향으로 $-L_3$ 만큼 이동 (T_7)
- ⑧ : Frame G를 Frame O에 대해서 y방향으로 θ_4 만큼 회전 (T_8)
- ⑨ : Frame G를 Frame O에 대해서 x방향으로 $-\theta_5$ 만큼 회전(T_9)
- ⑩ : Frame G를 Frame O에 대해서 z방향으로 $-\theta_6$ 만큼 회전 (T_{10})

이와 같은 10단계의 변환(Frame O를 기준으로 한 Frame G의 위치)은 다음과 같은 수식 1을 이용하여 표현할 수 있다.

$${}^0T_G = T_1T_2T_3T_4T_5T_6T_7T_8T_9T_{10}$$

$$= \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 펜 형 입력장치와 팬텀장치의 연동 및 초기화

본 연구에서 가장 중요한 것은 펜 타입장치로부터 얻은 데이터와 팬텀 햅틱장치로부터 얻은 데이터를 비교하고 분석하는 것이다. 두 데이터를 정확하게 비교하기 위해 펜 타입장치와 팬텀 햅틱장치는 서로 정확하게 그리고 사용자가 움직이기 편하게 부착되어야 하며, 부착된 채로 일정한 정밀도 이상을 표현할 수 있어야 한다. 또한 부착된 시스템을 정확하게 초기화 할 수 있는 구조가 되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 팬텀 햅틱장치의 스타일러스(Stylus)와 변하지 않는 일정한 길이의 오프셋을 갖는 펜 모양장치의 외형을 설계하였으며 펜타입장치가 부착된 팬텀햅틱장치를 정확하게 초기화하기 위한 지그를 설계하였다. <그림 3> 아래의 <그림 3(a)>는 펜타입장치(SPen) 덮개의 3D모델이고 <그림 3(b)>는 초기상태에서 펜타입장치(SPen)를 항상 동일한 형태로 위치시킬 수 있도록 제작된 3D 프린터 모형들이다. 또한 <그림 3(c)>는 펜타입장치(SPen)의 덮개를 이용하여 펜타입장치(SPen)와 팬텀의 스타일러스를 연결한 모습이며 <그림 3(d)>는 완벽한 초기화를 위해 S-Pen과 팬텀과 연동된 형태의 모습을 나타낸다.

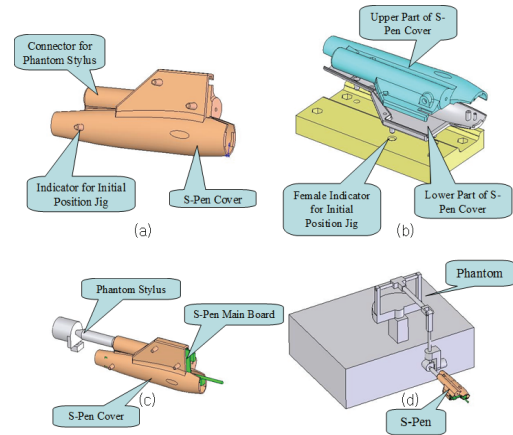


그림 3. 팬텀과 펜 형 입력장치의 연동 모델
Figure 3. Model for connection between the PhanTom and the pen-type input device.

팬텀의 초기화는 팬텀에 전원을 인가할 때나, 소프트웨어 에서 필요가 있을 때, 그 시점에서의 위치에서 각 조인트 값을 0으로 설정한다. 그러므로 팬텀의 정확한 초기화위치를 설정하고 그 점에서 팬텀의 초기화 과정을 수행해야 한다. 이상적인 초기화위치는 첫 번째 링크와 스타일러스는 정확히 팬텀에서 사용자로 오는 방향을 가리켜야 하며, 두 번째 링크는 지면과 수직하여야 한다. 본 연구에서는 <그림 4>와 같이 두 개의 지그 (베이스지그와 커넥팅 지그)를 이용하여 이상적인 초기화작업을 수행할 수 있는 환경을 제작하였다. 베이스 지그는 글씨를 쓰기 위한 평면을 제공해 주면서 팬텀 베이스와의 정확한 관계를 제공해 주며, 커넥팅 지그는 펜타입장치와 베이스지그를 효과적으로 연결하여 초기화를 수행할 수 있도록 해준다. <그림 4(b)> 는 초기화를 위해 베이스지그와 커넥팅 지그를 설치해 놓은 모습이다.

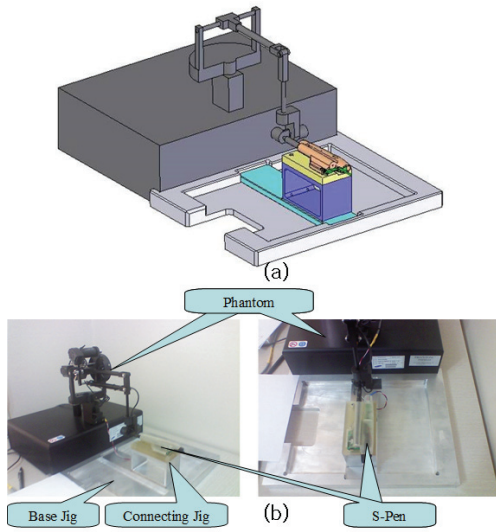


그림 4. 초기화위치 및 두 개의 지그
Figure 4. Initial Position and Two Jigs

3. 실험 및 평가

3.1 실험 환경

펜 형 입력장치와 팬텀 햅틱장치에서 나오는 값이 서로 동등하게 비교 되고 의미 있는 값으로 해석되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 전체공간의 기준이 되는 전역 좌표계(X_{pht} , Y_{pht} , Z_{pht}), 팬텀햅틱장치의 움직임을 위한 스타일러스 좌표계(X_{stl} , Y_{stl} , Z_{stl}), 펜 형 입력장치의 센서 좌표계(X_{sensor} , Y_{sensor} , Z_{sensor})를 정의하였다 <그림 5>. 전역 좌표계(X_{pht} , Y_{pht} , Z_{pht})는 팬텀장치의 원점 위에 설치하였다. 전역좌표계 (팬텀 좌표계)의 원점은 초기화 시점에서 스타일러스의 원점에 존재하며, 초기에 설정되면 계속 유지된다. 스타일러스의 좌표계는 스타일러스 위에 올려져 있으며 Z_{stl} 은 스타일러스의 방향과 동일하게 정의하였다. 이 좌표계는 스타일러스가 움직일 때마다 바뀌며 팬텀에서 제공하는 API를 통해서 구할 수 있다. 마지막으로, 펜 형 입

력장치의 센서 좌표계는 펜 형 입력장치위에 위치시켰다.

이와 같은 좌표계를 기준으로 하여 팬텀 장치의 가속도를 계산하고 펜 형 입력장치의 가속도를 측정하여 두 가속도를 비교하여 팬텀햅틱장치로부터 얻어진 모션 궤적과 펜 형 입력장치로부터 얻어진 궤적이 같은지를 비교한다. 팬텀 장치의 가속도는 우선 팬텀의 전역 좌표계에 대해서 우선 펜 형 입력장치의 센서가 존재하는 곳의 위치를 구한 뒤 이를 두 번 미분을 하여 계산하였다. 펜 형 입력장치의 센서의 위치는 수식 2를 이용하여 쉽게 계산하였다. 수식 2에서, ${}^{global}TR_{stl}$ 은 전역좌표계를 기준으로 한 스타일러스의 변환함수를 의미하며 팬텀의 API를 통해서 얻을 수 있다. 그리고 ${}^{stl}P_{sensor}$ 는 [1.9, -6.5, 121.9]로 측정되었다.

$$[{}^{global}P_{sensor};1] = {}^{global}TR_{stl} * [{}^{stl}P_{sensor};1] \quad (2)$$

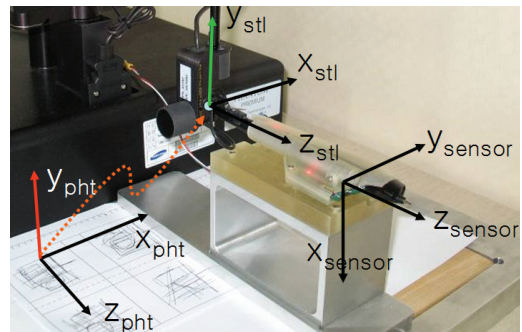


그림 5. 평가를 위한 좌표계
Figure 5. Coordinates for system evaluation

더욱 더 원활한 비교를 위하여 오일러 각(Euler angle)을 전역 좌표계를 기준으로 한, 펜 형 입력장치의 현재 방향을 만들어내기 위한 회전행렬을 만들기 위한 각도로 정의하였다. 또한 계산을 위한 전체적인 회전행렬을 수식 (3)과 같이 정의되었으며, 이 값을 팬텀 API를 통해서 얻은 변환행렬과 비교하여 z 방향 회전 값 (ψ), y 방향 회전 값

(θ), 그리고 x 방향으로의 회전 값 (ϕ)을 순차적으로 계산하였다.

$${}^{global}R_{spen} = R_{yaw}R_{pitch}R_{roll}R_{comp} = \begin{bmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기에서 행렬의 각 요소들은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} R_{00} &= -\sin(\psi)*\cos(\phi)+\cos(\psi)*\sin(\theta)*\sin(\phi) \\ R_{01} &= -\cos(\psi)*\cos(\phi) \\ R_{02} &= \sin(\psi)*\sin(\phi)+\cos(\psi)*\sin(\theta)*\cos(\phi) \\ R_{10} &= \cos(\psi)*\cos(\phi)+\sin(\psi)*\sin(\theta)*\sin(\phi) \\ R_{11} &= -\sin(\psi)*\cos(\theta) \\ R_{12} &= -\cos(\psi)*\sin(\phi)+\sin(\psi)*\sin(\theta)*\cos(\phi) \\ R_{20} &= \cos(\theta)*\sin(\phi) \\ R_{21} &= \sin(\theta) \\ R_{22} &= \cos(\theta)*\cos(\phi) \end{aligned}$$

여기에서 ϕ , θ , ψ 는 변환행렬을 수식 (4)과 같이 정의하였을 때 수식 (5),(6),(7)과 같이 계산할 수 있다. 이렇게 얻은 결과는 실험을 통해서 얻은 오일러 각을 구한 뒤, 전역 좌표계(또는 팬텀 좌표계)를 z방향으로 ψ 만큼 회전시킨 뒤, 회전된 좌표계를 기준으로 y방향으로 θ 만큼 회전시킨 뒤, 마지막으로 x방향으로 ϕ 만큼 회전시킨다면 그 결과가 팬 형 입력장치의 좌표계가 된다는 것을 의미한다.

$$Tr = \begin{bmatrix} Tr_0 & Tr_4 & Tr_8 & Tr_{12} \\ Tr_1 & Tr_5 & Tr_9 & Tr_{13} \\ Tr_2 & Tr_6 & Tr_{10} & Tr_{14} \\ Tr_3 & Tr_7 & Tr_{11} & Tr_{15} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\phi = \text{atan2}(Tr_2, Tr_{10}) \quad (5)$$

$$\theta = \text{atan2}(Tr_6, \sqrt{Tr_2^2 + Tr_{10}^2}) \quad (6)$$

$$\psi = \text{atan2}(-Tr_5, -Tr_4) \quad (7)$$

3.2 실험 결과

팬텀으로 구한 팬 형 입력장치의 각도와 실제의 팬 형 입력장치의 방향 사이의 관계를 알아보기 위해 실험 장치를 초기화 시킨 뒤에, 팬 형 입력장치를 다음과 같은 순서로 천천히 이동시켜보았다. ① 초기위치 → ② 오른쪽으로 90도 회전 → 초기위치 → ③ 왼쪽으로 90도 회전 → 초기위치 → ④ 위로 90도 회전(팬 형 입력장치 끝이 위를 향함) → 초기위치 → ⑤ 아래로 90도 회전 → 초기위치 → ⑥ 왼쪽으로 뒤집기 → 초기위치 → ⑦ 오른쪽으로 뒤집기 → 초기위치 → ⑧ 글 쓰는 위치

<그림 6 (a)> 는 위와 같은 위치들 (① ~ ⑦) 에서의 팬 형 입력장치(Spen) 가속도의 결과 값을 보여주며 <그림 6 (b)> 는 이때 계산된 오일러 각이다. 초기위치(①)에서는 (약 3초 ~ 6초 구간) 가속도 값(m/s^2)은 약 (-9.8, 0, 0) 이며 오일러 각 (degree)은 약 (0,0,-90) 이다. 오일러 각은 팬텀 좌표계에 대한 Spen Sensor 좌표계의 변환 함수를 표현하는 순차적인 각도 이다. 그래서 초기 위치인 경우에 오일러 각은 (0, 0, 0)이 아니고, (0, 0, -90) 이 된다. 또한 중력은 항상 지구중심방향 (아래 방향)으로 존재하고 $9.8m/sec^2$ 값을 갖기 때문에 Spen의 x방향을 기준으로 하면 $-9.8m/sec^2$ 이 된다. 즉, 오일러 각의 경우에는 팬텀 좌표계에서 시작하여 Spen 좌표계로 이동하는데, 팬텀좌표계를 Z_{pht} 방향으로 -90도를 돌리면 Spen 좌표계와 동일한 방향이 됨을 의미한다. Spen을 오른쪽으로 90도 회전시킨 상황 (약 9 ~ 14초 구간, ②) 에서의 가속도 값은 약 (-9.8, 0, 0) 이며 오일러 각 (degree)은 약 (-90,0,-90) 이 되며, 위쪽으로 Spen을 90도 회전시

킨 상황 (약 35 ~ 40초 구간, ④) 에서의 가속도 값은 약 (0, 0, 9.8) 이며 오일러 각 (degree)은 약 (-45, -90, -45) 가 된다.

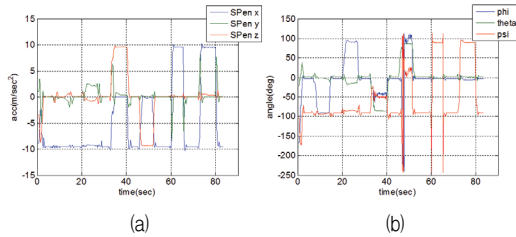


그림 6. Spen의 측정된 가속도 값(a) 및 계산된 오일러각(b)
Figure 6. Measured acceleration value of the Spen (a) and its computed Euler angle (b)

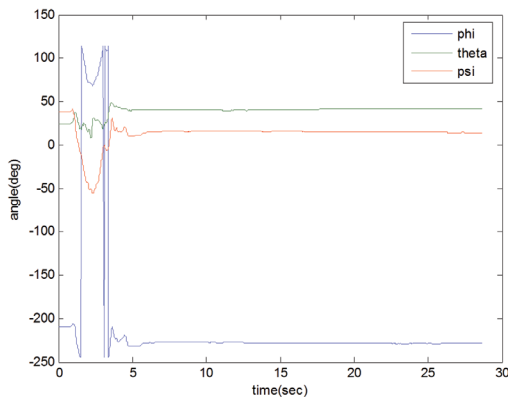


그림 7. 글쓰기 자세에서의 각도
Figure 7. Angles at writing posture

<그림 7>은 좀 더 실질적인 상황에서 비교를 하기 위해 실험 장치를 초기화시킨 뒤, 일반적인 글쓰기 자세에서 양간 기울임을 더 준 뒤, SPen의 -방향이 오른쪽 앞을 향하도록 위치시킨 뒤 실험을 수행하여 얻어진 각도 값이다. 이를 분석해 보면 실제로 사용자가 Spen을 Z_{pht} 방향으로 15도를 회전한 후 y'_{pht} 방향으로 41도를 회전하고 x''_{pht} 방향으로 131도를 회전한 것이며 이와 같은 기울임은 일반적인 글 쓰는 자세가 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

일반적으로 펜 형입력장치의 동작을 검사하기 위하여 모션 캡처 장비나 비전 시스템 등을 이용한다. 이와 같은 장비들을 이용하여 펜 형입력장치의 동작을 정밀하게 검사하기 위하여 마커 등을 사용한다. 그러나 마커 등을 사용하더라도 동작을 측정하는 것이 광학식(모션 캡처장비나 비전 시스템) 이므로 검출되지 않는 자세가 존재한다. 또한 이와 같은 펜 형 입력장치로부터 얻어지는 값은 가속도와 각속도 정보이므로 이를 이용하여 공간상의 3차원 좌표를 구하기 위해서는 예측/보간/적분 등의 작업이 필요하다. 이와 같은 이유로 펜 형입력장치가 움직이는 궤적을 실시간으로 표현 하는 것이 어려울 뿐 아니라 큰 오차가 존재 한다. 그러므로 본 연구에서는 두 장치(펜터택장치와 펜 형 입력장치)를 연동시키기 위한 장치를 제작하고 초기화 작업을 수행하였다. 또한 두 장치를 서로 동등하게 비교하기 위해 세 개의 좌표계를 정의하고 이 좌표계들의 연관관계를 정의하고 두 장치로부터 얻어지는 값들을 비교하여 펜 형 입력장치로부터 얻어지는 움직인 궤적과 펜터택장치로부터 얻어지는 궤적을 비교하였다. 실험 결과 제안하는 장치(펜터택장치)는 관성측정 유닛을 탑재한 펜 형 입력장치의 성능을 분석할 수 있음을 파악하였다.

References

[1] W. Walker, P. Lamere, P. Kwok, B. Raj, R. Singh, E. Gouvea, P. Wolf, and J. Woelfel, *Sphinx-4: A flexible open source framework for speech recognition*. Sun Microsystems Laboratories, 2004.

[2] T.E. Starner, B. Leibe, D. Minnen, T. Westyn, A. Hurst, and J. Weeks, *The*

- perceptive workbench: Computer-vision-based gesture tracking, object tracking, and 3D reconstruction for augmented desks.* Machine Vision and Applications, Vol. 14, pp. 59-71, 2003.
- [3] Y. Fukuzaki, *Position detecting apparatus and pointing device thereof* Japan Patent : Patent Number : 3015275, 1999.
- [4] Y. Zloter, and G. Shenholz, *Infrared communications link with attachment configuration*, United State Patent : Patent Number : 6823105, 2004.
- [5] M. P. Petterssona, and T. Edso. *Coding pattern and apparatus and method for determining a value of at least one mark of a coding pattern.* United State Patent : Patent Number : 6663008, 2003.
- [6] H. Y. Yang, and S. G. Lee, *Pen type optical mouse device and method of controlling the same*, United State Patent : Patent Number : 7098894, 2006.
- [7] S. Jaeger, S. Manke, J. Reichert, and A. Waibel, *Online handwriting recognition: the NPen++ recognizer* International Journal on Document Analysis and Recognition, Vol. 3, No. 3, pp. 169-180, 2001.
- [8] J. S. Wang, Y. L. Hsu, and J. N. Liu, *An inertial-measurement-unit-based pen with a trajectory reconstruction algorithm and its applications* IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 10, pp. 3508-3521, 2010.
- [9] J. S. Wang, Y. L. Hsu, and J. N. Liu, *Online handwriting recognition using an accelerometer-based pen device*, 2nd International Conference on Advances in Computer Science and Engineering, pp. 229 - 232, 2013.
- [10] T. Deselaers, D. Keysers, J. Hosang, and H. A. Rowley, *GyroPen: Gyroscopes for pen-input with mobile phones*, IEEE transactions on human-machine systems, Vol. 45, No. 2, pp. 263-271, 2015.
- [11] G. Xu, X. Meng, *The MEMS IMU Error Modeling Analysis Using Support Vector Machines*, International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, pp. 335-337, 2009.
- [12] D. Unsal, Kerim Demirbas, *Estimation of Deterministic and Stochastic IMU Error Parameters* IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 862-868, 2012.
- [13] S. Nassar, *Accurate INSIDGPS positioning using INS data de-noising and autoregressive model of inertial sensor errors*, Geomatica Vol. 59, No. 3, pp.283-294, 2005
- [14] T. Massie, and K. Salisbury, *The PHANToM haptic interface: A device for probing virtual objects*, ASME Winter Annual Meeting, 1994.
- [15] <http://www.geomagic.com/en/products/phantom-premium/overview>, Aug. 2016.

펜 형 입력장치의 궤적 측정시스템의 개발

정구철¹, 박원형², 김상연^{2*}

¹ 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

² 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부, 인터랙션 연구실

요 약

최근 들어 펜 형 입력장치들이 사용자의 필기 궤적을 인식하고 전자장치에 필기궤적 데이터를 전달해 주기 위해 널리 사용 되고 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 펜 형 입력 장치들은 자신의 움직임을 파악하기 위해 미세전자기계시스템(MEMS, Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용하여 제작된 관성측정유닛(IMU, inertia measurement unit)을 탑재하고 있다. 그러나 미세전자기계시스템기반의 관성측정유닛을 이용

하여 펜 형 입력장치의 궤적을 측정하는 경우 미세전자기계시스템기반의 관성측정유닛 자체의 오차(dynamic drift error, static drift error, and stochastic drift error)들이 시간에 따라 증가하기 때문에 펜 형 입력장치의 궤적을 정확하게 파악하는 것은 매우 힘들다. 그러므로 미세전자기계시스템기반의 관성측정유닛을 탑재한 펜 형 입력장치의 가장 중요한 요소 중 하나는 관성측정유닛으로 궤적을 정확하게 측정하는 것이다. 그러므로 본 연구에서는 필기 궤적을 파악할 수 있는 측정실험 장치를 개발하여 궁극적으로는 직관적인 인간-컴퓨터 상호작용을 가능하게 한다. 펜 형 입력장치의 실제 필기 궤적을 정확하게 파악하기 위해 팬텀 햅틱 장치(haptic device : PHANToMTM)를 사용한다. 또한 펜 형 입력장치와 팬텀장치의 궤적을 동시에 측정하고자 펜 형 입력장치를 팬텀장치의 짐볼 (gimbal) 에 부착한다. 실험 결과로부터 펜 형 입력장치로부터 얻어진 자세는 팬텀 햅틱 장치 로부터 얻어진 자세와 동일하며 또한 일반적인 글을 쓰는 자세가 됨을 파악하였다.

been a professor in the School of Computer Science and Engineering, at Korea University of Technology and Education since 1991. His current research interests include Web based courseware, Numerical analysis of Antenna etc.

E-mail address: jeong@koreatech.ac.kr



Won-Hyeong Park received the bachelor's degree in the Department of Computer Engineering from the Koreatech in 2011. He received the M.S. degree in the Department of Computer Engineering from Koreatech in 2013. Now he is on going researches the haptic rendering method and haptic actuator with chemistry materials.

E-mail address: ipo1001@koreatech.ac.kr

감사의 글

본 연구는 2016년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥사업 (과제명: 펜형 입력장치를 위한 캘리브레이션 시스템) 및 보건복지부 한국보건산업진흥원의 의료기기기술개발 사업 (과제명 : 완구형 교육시스템의 개발, HI14C0765)의 지원을 받아 수행되었습니다.



Goo-Cheol Jeong received the bachelor's degree in the Department of Electronic Engineering from the ChungAng University in 1979. He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Electronic Engineering from ChungAng University in 1981 and 1988, respectively. From 1982 to 1984, he was a researcher at Kia Motor Research Institute. He was a professor in the Department of Electronic Engineering at Dongseoul College from 1988 to 1991. He has



Sang-Youn Kim received the B.S. (1994) from Korea University, Korea and the M.S.E. (1996) and the Ph.D. (2004) in the department of mechanical engineering at Korea Advaced Institute of Science and Technology (KAIST). From 2004 to 2005, he was a researcher at Human Welfare Robot System Research Center, In 2005, he was a research staff at Samsung Advaced Institute of Technology. He is an associate professor of Computer Science and Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human-Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.

E-mail address: sykim@koreatech.ac.kr