

# Accelerometer Sensor를 이용한 문자 추적에 관한 고찰

여 영 호, 배 명 수, 손 수 국, \*유 진 용  
수원대학교 정보통신공학과, \*(주)비전넷  
전화 : 031-220-2532 / 핸드폰 : 016-340-7726

## Character Tracking for Using an Accelerometer Sensor

Young-Ho Yeo, Myung-Soo Bai, Sugoog Shon, \*Jason Yoo  
Dept. of Information and Telecommunication Engineering of Suwon University  
E-mail : yeohowa@mail.suwon.ac.kr

### Abstract

This paper is about the Micro Accelerometer Sensor that collect the human's writing patterns so as to process its signals.

Finally, we pursue the accuracy of digital data about the writing pattern and hope to discuss the possibility of the Micro Accelerometer Sensor.

Besides, we researched the compensation of signal distortion due to tilt and analyzed the noise error in order to improve its accuracy.

### I. 서론

컴퓨터와 휴먼 인터페이스 기술의 발달은 많은 새로운 분야를 생성하고 있다. 예를 들면 입는 컴퓨터나 가상 3차원 게임기 등 인간의 행동을 컴퓨터에 연결하려는 시도가 점차 진행되고 있다. 특히 사람의 필기 및 그래픽 행동을 디지털 화하여 컴퓨터에 연결하려는 분야도 그 중의 한 분야로 최근 디지털 펜에 대한 여러 가지 기술이 연구 개발되어 지고 있다. 그 중에 E-pen, V-pen 등과 같이 시장에 출시된 제품도 있다. 이러한 노력은 기존의 입력 장치인 마우스와 키보드를 대신하여 사람의 필기 행동을 추적하여 디지털화함으로써 불편을 해소하는 것을 그 목적으로 연구되고 있는 상황이다.

기존의 E-pen이나 V-pen은 optical navigation 방식이나 gyroscope navigation 방식을 이용하여 연구되었으며, 영국의 B. T.사, 미국의 MS사에서 이것을 연구하였다. 시장에 나와 있는 V-pen의 경우를 살펴보면 펜 끝에 scan 기능을 삽입하여 scanner의 일종으로 사용하고 있다. 하지만 이것의 단점은 필기입력에

한계가 있는 것이다. 현재 accelerometer navigation을 이용하여 글자를 쓰려는 연구가 개발 진행 중이다. 기존의 accelerometer sensor는 자동차등과 같은 이동하는 물체에 대하여 가속도를 측정하고 그 값으로 속도를 나타내는 것으로 사용되어 왔다. 이러한 기술로 본 연구에서는 accelerometer sensor로 이동 거리를 추적하여 디지털 좌표로 문자를 나타내고자 한다.

본 논문에서는 사람의 문자 및 도형 패턴을 가속도 센서를 통하여 수집하고 신호처리를 수행한 후, 필기 문자를 추적하여 문자밀도의 정밀성을 토론했고자 한다.

2차원 Accelerometer sensor를 사용하여 단위 sample당 측정된 가속도를 이용하여 거리를 연산하고, 움직인 위치를 navigation하여 글자나 도형을 추적, 정밀도 향상에 대하여 기술한다. 추적의 정밀도에 향상을 위해 noise와 tilt에 의한 신호왜곡의 보정에 관한 신호처리를 분석하였다. 또한 이러한 문제를 보완하는 Algorithm을 구현해서 Accelerometer sensor의 이동경로를 Display 하며, pen의 추적 정확도를 증대시킬 수 있는 신호처리 방법 등을 제시한다.

### II. 이론 및 시스템 구성

#### 2.1 필기패턴

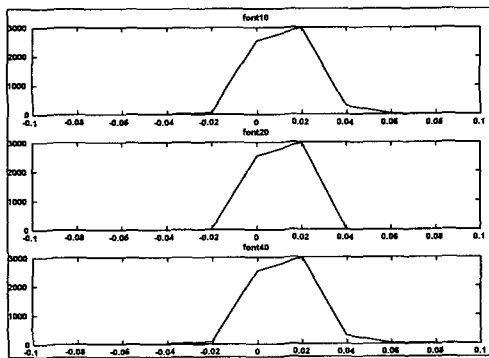
사람의 필기습관에는 다양한 모양이 있다. 여기서는 font별로 1분에 쓸 수 있는 양과 속도 분포를 측정하고 일 정패턴에 대한 인식율을 실험하였다.

먼저 font는 10, 20, 40 font를 사용하였고, 각각 100Hz로 sampling하여 실험을 하였다. 1분당 font10에서는 약 65자 정도, font 20에서는 약 30자, font 40에서는 25자 정도로 각각 10번을 실험하여 평균으로 tilt 값과 속도를 구했다.

	font 10	font20	font40
Tilt-X axis	0.105	0.103	0.0107
Tilt-Y axis	-0.303	-0.307	-0.302
Velocity -x	0.013281	0.004085	0.008469
Velocity -y	-0.03331	-0.003334	-0.02987

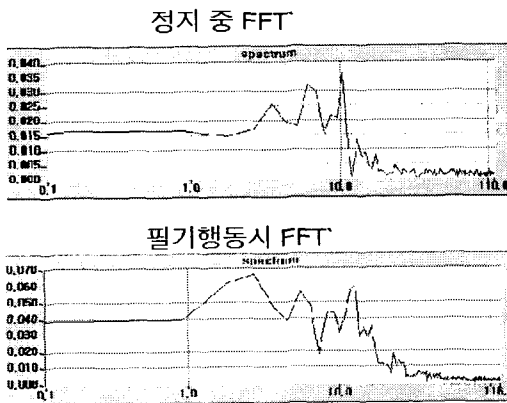
【표 1】 Average value per Font

또한 각각의 font에서 측정된 가속도 값을 적분하여 속도를 구하게 된다. 계산된 속도 값은 일정한 패턴을 갖게 된다. 이 속도의 분포도를 살펴보면 그림1과 같다. 이 그림을 보면 알 수 있듯이 폰트에 상관없이 대부분의 속도 값들이 -0.02에서 0.06(m/s)에 집중되어 있음을 알 수 있다.



【그림 1】 Font별 속도 분포도

사람의 필기 패턴을 FFT하면 그림 2와 같은 결과가 나온다. 여기서 볼 수 있듯이 대부분의 신호가 5~10Hz내에 있는 것을 볼 수 있다. 보통 사람의 맥박이 약 10Hz대에 있는 것을 감안할 때 약 5Hz 내에서 cutoff frequency를 잡는 것이 noise를 최소화 할 수 있다.



【그림 2】 FFT of Acceleration

2.2 필터링 설계

본 논문에서 사용되는 필터링은 일반적으로 많이 사용하는 Hamming window와 Blackman window를 사용하

는 필터링이다. Hamming filter의 전이 대역폭은 약  $8\pi/N$ 이며, Blackman filter의 전이 대역폭은 약  $12\pi/N$ 이다.

Hamming filter의 window의 식은 다음과 같다.

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right),$$

where  $0 \leq n \leq N-1$

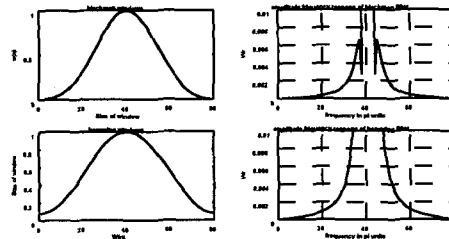
이 Hamming filter는 약간의 불연속성을 갖는 것을 제외하면 Hanning window와 거의 비슷하다.

Blackman filter의 window의 식은 다음과 같다.

$$0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right),$$

where  $0 \leq n \leq N-1$

이 함수는 second harmonic 항을 갖는 것이 특징이다. 이들 Filter는 저주파수대 영역을 통과시키는 Lowpass filter이다. 사람의 필기 패턴을 통해 볼 때 주로 5hz이하에 필기 패턴이 분포하고 있음을 볼 수 있다. 또한 Blackman filter를 통과한 값들과 hamming filter를 통과한 값들을 비교해 볼 때 hamming filter보다 blackman filter를 통과한 필터의 값이 filtering이 잘 되어있음을 볼 수 있는데 이것은 다음 두 window의 주파수 응답 그래프에서 나타난 바와 같다.

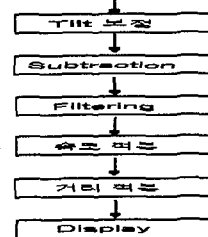


【그림 3】 Blackman 과 Hamming filter의 비교

본 논문에서 sampling frequency가 100Hz이다. 따라서 sample당 0.01초로 sampling 된 것이다. 여기서 5Hz이면 0.2초가 되므로 sample 개수는 20개가 된다. 따라서 window size(N)이 최소 20개 이상일 때 noise를 충분히 제거할 수 있게된다.

2.3 글자추적 Algorithm

필기 패턴과 필터를 감안하여 글자를 trace할 수 있는 Algorithm을 만들 수 있다.



Sensor를 통하여 입력되는 신호는 가속도이다. 가속도의 값은 X축과 Y축 두개의 값으로 입력된다. 이 입력된 가속도 값은 가속도 값에 추가로 tilt에 의한 값과 가속도 속도가 포함되어 있다. 따라서 먼저 입력된 가속도 값에 tilt의 값을 보정해 주어야 한다. tilt의 값에 의한 변화는 크기의 변화와 초기 tilt에 의한 중

【그림 4】 Block diagram

의 값에 의한 변화는 크기의 변화와 초기 tilt에 의한 중력가속도의 값이 있는데 이 값이 초기에 입력되어 그 값만큼 신호의 중심 축을 이동시키게 된다. 따라서 이 값을 보정하여주고 보정된 이 두 축의 가속도 값을 각각 적분하여 속도를 측정할 수 있다. 또한 계산되어진 속도를 적분하여 좌표상의 이동거리를 계산해 낼 수 있다. 이를 block diagram으로 살펴보면 그림 4와 같다. 또한 가속도를 이용하여 속도와 거리를 구하는 식은

$$v_{xy}(i) = \int_{t_0}^{t_i} (g_{xy}(i) + n(i)) dt = g_{xy}(i) \times \Delta t + v_{xy}(i-1)$$

where  $i = \text{the number of data, } n = \text{Noise}$

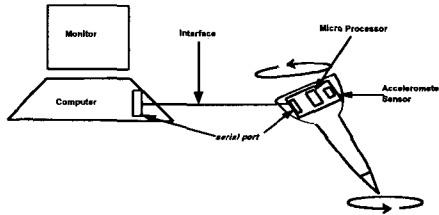
$$s_{xy}(i) = \int_{t_0}^{t_i} v_{xy}(i) dt = v_{xy}(i) \times \Delta t + s_{xy}(i-1)$$

where  $i = \text{the number of data}$

로 나타낼 수 있다.

#### 2.4 시스템의 기본구조

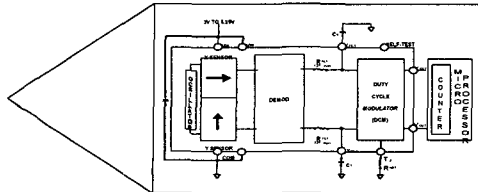
글자 추적에 관한 이론을 근거로 하여 시스템을 구성하였다. 그림 5의 전체 구성도에서 볼 수 있듯이, 본 시스템은 펜의 끝 부분에 Accelerometer Sensor를 부착하였다. 또한 accelerometer sensor에서 출력된 Digital signal의 Duty cycle의 비율을 Micro Processor에서 count하여 가속도 값으로 출력한다. 이 값을 다시 컴퓨터에서 받아 신호처리를 한 뒤 모니터에 display하는 구조로 구성하였다.



[그림 5] Configuration of System

이 시스템에 사용된 Accelerometer Sensor는 Analog Devices사에서 제작된 ADXL202 chip이며, Micro Processor는 PIC16C63A-201/SO가 사용되었다. 이 시스템은 RS232C serial통신으로 컴퓨터와 연결하여 얻어진 가속도 데이터를 processing하여 문자나 도형을 추적하게 된다.

Accelerometer Sensor의 구조는 그림 6과 같다.



[그림 6] System의 구조

이 Sensor의 특징은 3~5.25V DC를 입력전압으로 하고 60Hz에서 2mg resolution을 가진다. 또한 full-scale range에서 ±2g의 가속도를 측정할 수 있으며, Vibration과 같은 dynamic acceleration을 모두 측정할 수 있는 특징을 가진다. 또한 이 Accelerometer Sensor의 noise 범위는 100Hz에서 약 6.12mg정도이다. 여기서 noise는 rms값이다. 이 noise는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\text{Noise}(rms) = \left( \frac{500 \mu g}{\sqrt{Hz}} \right) \times (\sqrt{BW} \times 1.5)$$

### III. 실험 결과 및 분석

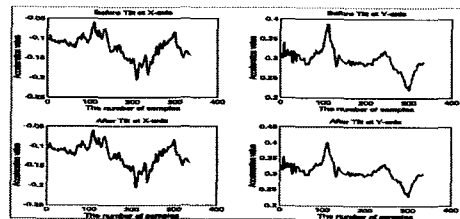
본 논문에서는 다음 몇 가지의 가설을 기반으로 하여 실험을 하였다.

첫째, Tilt의 값은 처음부터 끝까지 동일하다. 즉 손목의 움직임이 없이 팔 전체로 필기하는 것을 전제한다. 또한 초기에 tilt에 의하여 변화되는 중력 가속도 값이 존재한다. 그런데 이 실험에서는 tilt의 변화가 없다고 전제하였으므로 tilt값에 따른 중력 가속도 값 역시 일정하다고 가정할 수 있다.

둘째, 처음 5개 sample의 값이 초기 Tilt에 의한 가속도 값으로 한다. 초기에 일정 시간동안 아무런 움직임이 없이 정지상태에서 시작되는 것을 전제한다. 이 실험에서는 100Hz로 sampling 하였으므로 약 0.05초 정도를 정지시간으로 간주한다.

#### 3.1 Tilt 보정

이 논문에서는 초기 Tilt값이 계속 유지되는 것을 가정하여 실험하였다. 초기 5개의 값을 가지고 Tilt를 계산해 내고 그 값으로 전체의 Tilt 값을 보정한다. 여기서 sensitive는 tilt의 각도가 0°일 때를 기준으로 각 tilt의 각도에 대한 변화량의 배율을 구한 것이다. 표1에서의 결과를 볼 때 X-axis의 각도가 0에 가깝다고 볼 수 있다. 또한 Y-axis를 보면 약 20°에서 15°정도 기울어 있는 것을 알 수 있다. 0°에서의 sensitive는 1이라고 하였을 때 15°정도에서의 sensitive의 배율은 1.04배가 된다. 이 sensitive의 배율을 곱하면 tilt가 보정된다. 다음은 Tilt의 보정 전과 후의 차이점을 나타낸 그림이다.



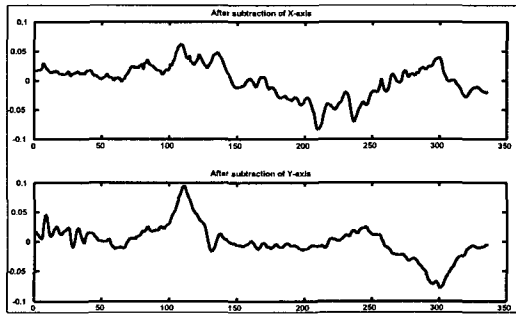
[그림 7] Tilt 보정 전과 후의 비교

앞의 그림에서 보면 X축은 거의 변화가 없으나 Y축은

변화가 있음을 볼 수 있다. 이것은 사람이 글을 쓸 때 X축보다는 Y축으로 기울어져 쓰는 패턴 때문이다. 이런 방식으로 Tilt를 보정할 수 있다.

### 3.2 Subtraction

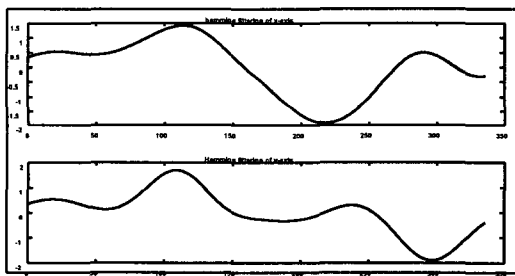
Tilt의 보정은 단순히 크기에 대한 보정으로 위에서 본 것처럼 부호가 바뀌지는 않는다. 초기에 Tilt에 의해 기본적으로 갖는 가속도 값이 있으므로 주어진 신호에서 그 값만큼 빼 주어야 실제로 trace된 가속도 값이 나오게 된다. 이렇게 subtraction된 그림이 그림 8이다. 앞에서 전제한 조건과 그림 7에서 보는 바와 같이 sampling된 신호의 초기 5개의 값들의 평균을 구하여 그 값으로 subtraction을 하면 초기 tilt에 의해 생긴 가속도 값이 없어지게 된다. 그러나 실제 tilt값은 작은 값이라도 각 sample마다 변한다. 그래서 여기서는 정확하진 않지만 전체의 평균을 사용하여 subtraction을 하였다.



[그림 8] result of Subtraction

### 3.3 Filtering

앞에서 filter에 대한 이론을 서술하였다. 이렇게 filtering한 그림이 그림 9에 나타나 있다. 그림에서 보는 것과 같이 High frequency 성분이 사라진 것을 볼 수 있다.

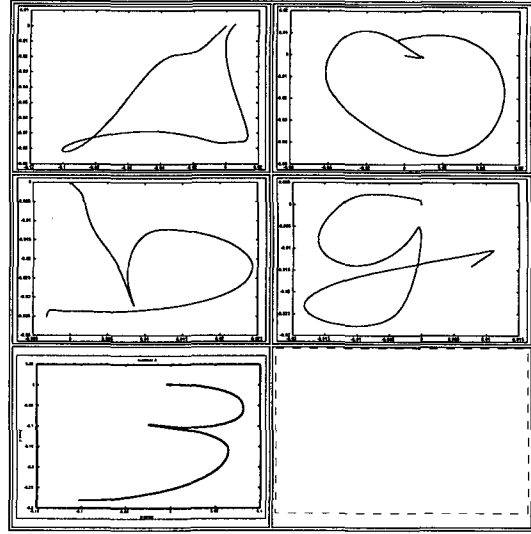


[그림 9] After Filtering

### 3.5 속도와 거리측정 및 문자 추적 결과

실험을 통하여 계산된 거리를 좌표 상에서 Display 하면 글자를 trace할 수 있게 된다. 그 결과 값이 아래 그림 10이다. 여기서는 도형과 글자 숫자에 관한 실험 중 일부를 나열하였다. 크기는 7cm 정도의 크기의 도형

과 3cm 정도의 문자, 10cm 정도의 숫자를 trace 하였다.



[그림 10] Display(△,○,b,g,3,7)

## IV. 결 론

본 논문을 통해서 가속도 센서를 이용한 문자 Trace에 대한 가능성을 살펴보았다. 아직 시작단계의 연구로서 5cm이상의 문자에 대해서 trace하였지만 충분한 가능성이 있음을 볼 수 있었다. 현재 사용한 Accelerometer Sensor는 dual axis accelerometer이기 때문에 순간적으로 변하는 tilt값을 예측할 수 없었다. 또한 문자를 trace하기 위해서는 시작점과 끝나는 점이 trace되어야 한다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 차후 3-Axis accelerometer나 gyroscope등과 같은 방법을 도입할 필요가 있다. 또한 filtering에서도 linear filtering 보다는 nonlinear filtering을 도입하여 연구해 볼 가치가 있다. 차후 가속도 센서로 trace된 문자를 통신을 통해 다른 곳으로 전송하는 Network기능도 생각해 볼 필요가 있을 것이다.

본 논문은 차세대 입력장치로서 가속도 센서의 도입과 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## Reference

- [1] "Technical note : ADXL202 사용법", Analog Device
- [2] "Introductory Digital Signal Processing with Computer Applications", Paul A. Lynn/Wolfgang Fuerst, John Wiley & Sons, Inc
- [3] "Digital Signal Processing Using Matlab V.4", Vinay K Ingle/John G. Proakis, PWS Publishing Company