

파지 형태 감지를 통한 휴대 단말용 사용자 인터페이스 개발

Designing a Mobile User Interface with Grip-Pattern Recognition

장욱, 김기응, 이현정, 조준기, 소병석, 심정현, 양경혜, 조성정, 박준아

삼성종합기술원 인터랙션 랩

Wook Chang, Kee Eung Kim, Hyunjeong Lee, Joon Kee Cho, Byung Seok Soh, Jung Hyun Shim, Gyunghye Yang, Sung Jung Cho, Joonah Park

Interaction Lab, Samsung Advanced Institute of Technology

E-mail: {wook.chang, kekim, hyem.lee, handle.cho, bssoh, junghyun.shim, gh727.yang, sung-jung.cho, joonah}@samsung.com

요약 본 논문에서는 휴대 단말기의 조작을 손쉽게 할 수 있는 새로운 사용자 인터페이스 시스템을 제안한다. 제안된 사용자 인터페이스의 기본 개념은 사용자의 휴대 단말 파지 형태를 감지 및 인식해 해당 파지 형태에 가장 적절한 기능을 실행하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 사용자의 파지 형태를 감지할 수 있는 정전 용량 기반 터치 센서를 디스플레이 부를 제외한 모든 면에 장착하고 감지된 파지 형태에 가장 적합한 기능을 제안하는 인식 알고리즘을 장착한 시제품을 제작한다. 제안된 방법의 효용성을 실제 사용자 파지 형태 데이터에 기반한 인식률을 측정해 검증하였다.

Abstract This paper presents a novel user interface system which aims at easy controlling of mobile devices. The fundamental concept of the proposed interface is to launch an appropriate function of the device by sensing and recognizing the grip-pattern when the user tries to use the mobile device. To this end, we develop a prototype system which employs capacitive touch sensors covering the housing of the system and a recognition algorithm for offering the appropriate function which suitable for the sensed grip-pattern. The effectiveness and feasibility of the proposed method is evaluated through the test of recognition rate with the collected grip-pattern database.

Keywords Mobile user interface, capacitive touch sensing, grip pattern recognition

1. 서론

본 논문에서는 휴대 전화나 PDA와 같은 소형 휴대 단말을 버튼이나 스타일러스와 같은 부가적인 장비 없이 조작할 수 있는 새로운 인터랙션 방식을 제시한다. 이러한 시스템을 위한 요구 사항으로는 휴대 단말에 내장되어 있는 다양한 기능 또는 서비스의 손쉬운 실행과 실행 이후의 손쉬운 조작을 중요한 요소로 들 수 있다. 본 논문에서는 특히 첫 번째 요구 사항을 만족하는 시스템의 개발에 중점을 두었다. 이를 위한 기본 아이디어는 도구의 용도에 따라 그 도구를 잡는 손의 모양, 즉, 파지 형태가 각각 다르다는데 착안하였다. 현재 휴대폰, MP3 플레이어와 같은 휴대 단말들의 추세가 다기능 복합화이며 각 기능을 수행할 때 자연스럽게 파지 형태가 달라지므로 이 파지 형태를 파악하면 사용자가 복잡한 메뉴 조작을 할 필요가 없이 바로 원하는 기능을 실행할 수 있다는 가정을 할 수 있다.

제안된 인터페이스의 개발을 위한 먼저, 센서 시스템으로 본 논문에서는 유연 소재 기반 터치 감지 시스템을 개발하였다. 이 시스템의 총 픽셀 수는 64개이고 분해능은 8 mm * 8 mm이며 정전 용량 방식 감지 기술을 이용해 2 mm 두께의 케이스 하에서 다접점의 감지가 가능하다. 또한 FPCB (flexible printed circuit board)로 터치 감지부를 제작해 하나의 터치 패드로 디스플레이 부를 제외한 전체 면이 감지부로 작동할 수 있도록 하였다. 상용화되었거나 연구 결과로서 제시되는 터치 센서 시스템들의 대부분이 특정 영역에서 단일 접점 감지만이 가능하며 다접점이 가능한 시스템들조차

현재까지 조사된 결과로는 대형 시스템용 사용자 인터페이스 용임을 감안할 때 본 논문에서 개발한 휴대 단말용 파지 형태 감지 시스템의 독특성을 알 수 있다 [1,2].

두 번째로, 본 논문에서는 센서를 통해 감지된 사용자 파지 형태를 인식해 미리 정의한 기능 또는 서비스의 실행이 가능하도록 하는 인식 시스템을 개발하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 디스플레이를 제외한 전체 면이 감지부로 작동해 사용자가 의도하지 않은 접촉에도 작동을 할 가능성이 있으며 이는 필연적으로 사용성의 심각한 저하를 가지고 온다. 본 논문에서 개발한 인식기는 이러한 문제를 해결하기 위해 전처리 과정과 후처리 과정을 강화하였다. 전처리 단계는 두 단계로 이루어진다. 1차 전처리 단계는 센서 신호 처리를 통해 습도나 센서 시스템의 불안정으로 인한 잡음을 제거한다. 2차 전처리 단계는 베이지안 네트워크 인식 시스템을 이용해 사용자의 비의도적인 접촉을 판별한다. SVM (Support Vector Machine)으로 구현된 파지 형태 인식기는 이러한 전처리 과정을 통과한 센서 신호만을 인식해 전체 시스템의 신뢰성 있는 작동을 보장한다. 마지막 후처리 단계에서는 서로 유사한 혼동쌍의 분류를 다시 한 번 수행해 전체 시스템의 인식 성능을 강화한다. 정전 용량 방식 터치 센서를 장착한 시스템들에 있어 오동작 방지는 매우 중요한 개발 주제이며 본 논문에서 이를 센서 신호 처리와 인식 기술을 이용해 달성하였다.

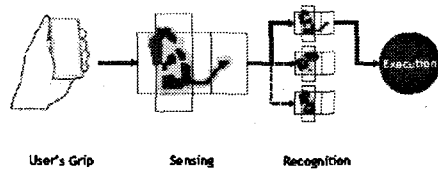


그림 1: 제안하는 인터페이스의 실행 개념도.

2. 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 인터페이스의 기본 개념을 도시한 것이다. 제안된 인터페이스는 사용자의 의도에 가장 적합한 UI 또는 애플리케이션을 지능적으로 사용자에게 제시하는 것을 목적으로 하며 이를 위한 정보로 과거 형태를 활용한다. 현재 휴대 단말의 대표적인 기능인 통화, 단문 전송(SMS), 카메라 등은 그 과거 형태가 모두 상이하므로 사용 의도 파악에 적합한 정보로 가정할 수 있다.

제안한 시스템의 개발을 위해 먼저 센서 시스템의 선정을 위한 사전 실험을 수행하고 그 결과에 의해 정전 용량 방식 터치 센서 시스템을 선정하였다. 정전 용량 방식 터치 센서는 단말의 케이스 내에 실장되어 사용자의 손의 접촉을 감지할 수 있어 디자인 상 미려하며 센서 시스템의 내구성이 타 압력 또는 버튼 방식보다 뛰어난 장점이 있다. 더욱이 타 센서로서는 시스템의 모든 면에 감지부를 장착하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 본 정전 용량 방식 터치 센서는 본 논문에서 제안하는 인터랙션 개념을 구현하는데 가장 적합한 센서이다.

그러나, 상용화된 정전 용량 방식 터치 센서 IC들은 대부분 터치 스위치나 터치 패드, 터치 스크린용이며 적용 대상 시스템의 특정 영역을 터치 감지부로 활용한다. 이러한 이유로 기존 터치 센서 IC들은 본 논문에서 개발하고자 하는 시스템과 같이 디스플레이부를 제외한 모든 면을 터치 감지부로 활용하며 동시에 과거 형태를 감지하기 위한 용도로 적용하기에 적합하지가 않다. 또한, 정전 용량 방식 터치 센서는 버튼과 같은 물리적인 피드백이 없고 손가락이 스치기만 해도 작동하는 오동작 문제로 인해 잘못된 설계를 하는 경우 사용성이 심각하게 저하된다.

이러한 문제점에 대한 인식을 바탕으로 시스템에 개발에 있어 중점을 둔 사항은 다음과 같다.

- 고해상도 다접점 감지: 이는 과거 형태의 감지를 위해 필수적인 사항이다. 기존 터치 센서 시스템의 경우 충분한 해상도 또는 분해능을 갖는 시스템 (예: 터치 패드)는 단접점만을 감지할 수 있다.
- 실장성의 강화: 휴대 단말에 실장가능하면서 동시에 디스플레이를 제외한 모든 면을 충분한 해상도를 갖는 터치 감지부로 구성할 수 있어야 한다.
- 오동작 방지: 이는 터치 센서를 장착한 시스템에 모두 해당되는 사항으로, 사용자가 의도하지 않은 접촉으로 인한 시스템의 동작을 방지하는 것이다.

고해상도 다접점 감지를 위해서 본 연구에서는 ESSD사의 8 채널 터치 센서 IC인 SS01 [3]을 8개 이용해 64개 터치 전극을 구동할 수 있도록 하였다. 각 전극의 크기는 8 × 8 (mm)로 설정하였다. 이 크기는 터치 스크린 업계에서 표준으로 사용되는 분해능이며 동시에 두께 2 mm의 케이스 하에서 인체 접촉을 신뢰성있게 감지할 수 있는 최소 크기이다. SS01은 연결된 터치 전극으로부터 들어오는 신호를 동시에 감지할

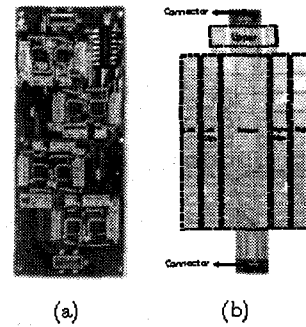


그림 2: 센서 시스템 (a) 터치 센서 보드 (b) 유연 소재 기반 터치 패드 FTEA.

수 있으므로 다접점 감지에 적합하다. 터치 패드나 터치 스크린은 고해상도 터치 신호를 제공하나 단접점만을 감지할 수 있어 초기 고려 대상에서 제외하였다.

실장성의 강화를 위해 고려해야 할 사항들은 터치 센서 IC의 실장성과 터치 감지부의 실장성이다. 본 논문에서 사용한 SS01의 경우 8개를 사용해야 하므로 휴대 단말 실장성이 심각히 저하되므로 현재 Quantum Research Group (QRG)사의 QT60645B 터치 센서 IC를 이용해 시스템을 다시 제작 중이다. 이 칩은 최대 64개의 터치 전극을 동시에 제어할 수 있으며 그 크기가 10 (L) × 10 (W) × 1.2 (H) (mm)로 적절한 실장성을 확보할 수 있다 [4]. 디스플레이부를 제외한 모든 면이 감지부로 작동되어야 하므로 기존의 제품들에 활용된 방식을 사용하는 경우는 각 면마다 독립적으로 터치 감지부를 장착해야 하므로 이는 조립성 및 양산성을 떨어뜨린다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 터치 감지부 제작 소재로 FPCB를 이용해 Flexible Touch Sensor Array (FTEA)를 제작해 하나의 FTEA가 여러 면의 감지부를 동시에 담당할 수 있도록 하였다. 그림 2에 제작된 센서 시스템을 도시한다.

3. 인식 시스템

제작된 센서 시스템의 신호를 이용한 인식기의 구성을 그림 3에 보인다. 본 논문에서는 인식 단계 전후처리 과정을 강화해 앞서 언급한 정전 용량 방식 터치 센서로 인한 오동작을 방지하였다.

정전 용량 방식 터치 센서는 습기나 도체와 같이 인체 이외의 물체도 감지를 하며 다수 전극이 장착된 시스템의 경우는 전극 상호간의 간섭으로 인해 때때로 잘못된 신호를 출력하는 경우가 발생한다. 비정상 신호 제거 (MSR; Misfired Signal Rejection) 단계는 이와 같이 센서 신호단에서 발생하는 이와 같은 잡음을 제거하기 위한 것이다. MSR은 내부에 (1)과 같은 간단한 규칙 베이스를 갖추어 해당 조건을 만족하는 센서 신호는 잡음으로 판정해 인식 대상에서 제외한다.

IF $\left\{ \begin{array}{l} (1) \text{ the number of fired electrodes are less than } N \\ \text{OR} \\ (2) \text{ the system is just placed on the surface} \\ (3) \text{ the system is just carried by the user} \end{array} \right.$

THEN reject the signal.

(1)

여기서 $N = 5$ 은 미리 정의한 사용자 접촉에 의해 발화되는 터치 전극의 수이다.

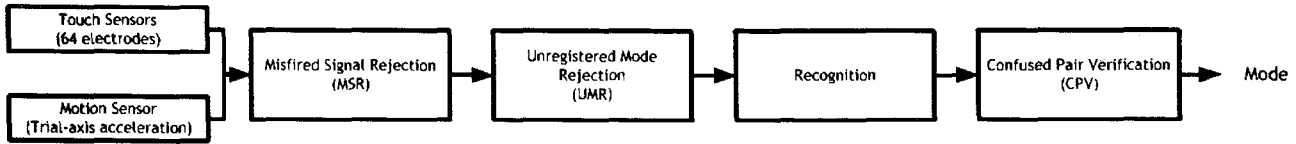


그림 3: 인식기 구조

두 번째 규칙의 만족 여부를 판정하기 위해 본 논문에서는 3축 가속도 센서 신호를 이용해 계산된 자세 정보를 이용한다. 시스템의 자세는 수학적으로 롤 (roll) ϕ , 피치 (pitch) θ , 요 (yaw) ψ 의 세 오일러 각 (Euler angle)으로 기술할 수 있으며 본 논문에서는 이 중 롤과 피치 각을 이용한다. 오일러 각에 대한 설명 및 각각의 계산에 관한 자세한 설명은 지면 관계 상 참고 문헌 [5]을 언급하는 것으로 대신한다.

따라서, 규칙 베이스 (1)의 두 번째 전건부 (antecedent part)는 다시 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$(|\phi| < \phi_t) \wedge (|\theta| < \theta_t) \quad (2)$$

여기서 $\phi_t = 10^\circ$ 와 $\theta_t = 10^\circ$ 는 각각 롤과 피치의 문턱치 (threshold)이다.

터치 센서 신호 중 추가로 제거해야 할 것은 사용자가 특정 의도 없이 시스템을 잡는 경우 또는 건드리는 경우에 해당하는 신호이다. 상세한 사용 상황의 관찰을 통해 이에 해당하는 경우는 사용자가 시스템의 좌우측면만을 동시에 잡는 경우와 특정 면 하나만을 접촉하는 경우가 있는 것으로 가정하였다. 따라서 규칙 베이스 (1)의 세 번째 전건부의 상세한 기술은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &(T \subseteq S_1 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 2, 3, 4, 5, 6)) \vee \\ &(T \subseteq S_2 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 3, 4, 5, 6)) \vee \\ &(T \subseteq S_3 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 2, 4, 5, 6)) \vee \\ &(T \subseteq S_4 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 2, 3, 5, 6)) \vee \\ &(T \subseteq S_5 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 2, 3, 4, 6)) \vee \\ &(T \subseteq S_6 \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)) \vee \\ &(T \subseteq (S_4 \cup S_6) \wedge T \not\subseteq S_i (i = 1, 2, 3, 5)) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 T 는 발화된 터치 전극들의 집합이며 S_1 은 시스템의 배면에 해당하는 전극들의 집합, S_2 는 시스템의 상단에 해당하는 전극들의 집합, S_3 은 시스템의 우측 모서리에 해당하는 전극들의 집합, S_4 는 시스템의 우측면에 해당하는 전극들의 집합, S_5 는 시스템의 좌측 모서리에 해당하는 전극들의 집합, S_6 은 시스템의 좌측면에 해당하는 전극들의 집합이다.

규칙에 기반한 오동작 방지는 간단한 구현이 장점이지만 하나 반면, 매번 설계자가 해당 규칙을 시행 착오를 거쳐 설계해야 하며 적용 대상 시스템이 변경될 때마다 수작업으로 규칙 베이스를 수정해야 해 그 규칙들이 항상 최적이라는 보장을 할 수가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 따라서 사용자 데이터에 기반해 자동적으로 오류 센서 데이터를 걸러내는 시스템을 구현하였다. 이를 비등록 모드 제거 (UMR; Unregistered Mode Rejection)라 칭한다. 본 논문에서 비등록 모드라 함은 기능 실행을 위해 정의된 파지 형태 이외의 모든 집합이며 따라서 열린 집합 (open set)으로서 무한히 많은 데이터가 이 비등록 모드 집합에 속한다. 현재까지 비등록 모드를 수집하고 판별하는 체계적인 방법론은 알려져 있지 않은 상태이다. 본 연구에서는 비등록 모드를 인식하기 위해 1 class Support Vector Machine (SVM) [6]과 베이지안 네트워크를 적용하였으며 최종적으로 베이지안 네트워크 기반 UMR을 구현하였다.

베이지안 네트워크는 인식을 위해 필요한 각 특징들간의 관계를 확률적으로 모델링하며 그 구조가 유연하고 외란에 강인한 성능을 보인다 [7, 8]. 등록 모드의 베이지안 네트워크 모델은 각 전극 간의 상호 관계가 긴밀해 모델링 정밀도가 높지만 비등록 모드인 경우에는 각 전극간의 의존 관계가 없다. 이러한 관찰에 기반해 UMR은 등록모드용 베이지안 네트워크 BN_R 과 비등록모드용 베이지안 네트워크 BN_U 를 구성한 후 (4)에 기술한 바와 같이 터치 센서 신호에 대한 두 베이지안 네트워크의 점수를 비교해 BN_R 의 점수가 높은 경우에 해당 터치 센서 신호를 최종 인식기에 전달한다.

$$Score(BN_U) \geq \max_i Score(BN_R^i), \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

여기서 N 은 등록 모드의 수이다.

SVM 기반 인식기는 이러한 두 단계 전처리 과정을 거친 센서 신호에 대해 적절한 분류를 수행한다.

사용자가 휴대 단말기를 파지함에 따른 파지 정보와 휴대 단말기의 각 기능 모드 사이의 관계를 나타내는 인식 모델은 특정 파지 정보 I 가 입력되는 경우 기능 모드 M 이 선택될 확률 $P(M|I)$ 로써 나타낼 수 있으며 이 확률은 베이스 규칙 (Bayes rule)에 따라 (5)에 비례한다.

$$P(M)P(I|M) \quad (5)$$

이때 $P(M)$ 은 임의의 기능 모드 M 을 선택할 확률을 나타내며, 이는 (6)를 통해 계산될 수 있다.

$$P(M) = \frac{Y}{X} \quad (6)$$

여기서 X 는 사용자가 임의의 기능 모드 M 을 선택하기 위해 휴대 단말기를 파지한 총 횟수이고, Y 는 사용자가 휴대 단말기를 파지하였을 때 기능 모드 M 이 선택된 횟수이다. 한편 (5)에서 $P(I|M)$ 은 임의의 모드 M 이 선택되었을 때 파지 정보 I 가 입력될 확률을 나타내며 이는 (7)을 통해 설명될 수 있다.

$$P(I|M) = \prod_i P(I_i|M) \quad (7)$$

여기서 I_i 는 각 터치 센서와 가속도 센서로부터 입력되는 정보들을 의미한다. 따라서 (7)에서 좌변의 I 는 각 센서들로부터 입력되는 정보들을 조합한 정보를 나타낸다. SVM 기반 인식기는 미리 저장된 인식 모델을 기초로 하여, 사용자가 휴대 단말기를 파지함에 따라 생성되는 정보로 수행할 수 있는 기능 모드 또는 응용 프로그램을 선택한다. 인식되는 모드는 (8)를 만족시키는 기능 모드일 수 있다.

$$\arg \max_{m \in M} P(m|I) = \arg \max_{m \in M} P(m) \prod_i P(I_i|m) \quad (8)$$

이때 M 은 휴대 단말기의 임의의 기능 모드이고 m 은 휴대 단말기의 특정 기능 모드를 의미한다. 인식기는 미리 데이터 기반 학습을 통해 저장된 인식 모델 중 각 센서들로부터 전달 받은 정보를 기반으로 파지 형태에 가장 적합한 기능 모드 또는 응용 프로그램을 판단할 수 있다.

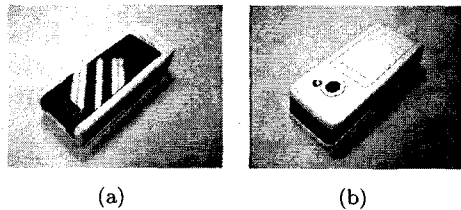


그림 4: 제작된 시스템의 외관 (a) 앞면 (b) 뒷면.

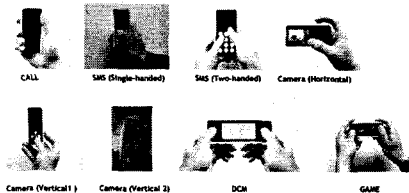


그림 5: 피험자에게 제시된 각 기능 모드별 파지 형태 (비등록 모드는 사진에서 제외하였음).

파지 형태 중 일부는 상호 유사해 인식 성능의 저하를 가져올 수 있다. 이러한 혼동쌍은 전체적인 인식 성능을 저해하게 되므로 본 논문에서는 인식 후처리 과정으로 혼동쌍의 제거를 위한 혼동쌍 검증 (CPV; Confused Pair Verification) 모듈을 추가하였다. CPV는 Chow [9]가 제안한 최적 제거 (optimal rejection) 알고리즘을 이용하였다.

4. 실험 결과

이 절에서는 개발된 프로토타입 시스템을 이용한 인식을 실험 결과를 기술한다. 그림 4에 제작된 시스템의 외관을 보인다.

인식기 학습을 위해 총 50인의 데이터를 수집하였다. 수집 시 설정한 기능 모드는 통화 모드, 한손 SMS 전송 모드, 양손 SMS 전송 모드, 수평 촬영 모드, 두 개의 수직 촬영 모드, DCM (Digital Contents Management) 모드, 게임 모드, 비등록 모드의 9개 모드이다. DCM 모드는 최근 각광을 받고 있는 DMB (Digital Multimedia Broadcasting)을 위해 추가된 모드이며 비등록 모드는 UMR의 학습을 위한 모드이다. 데이터 수집 직전 피험자에게 그림 5에 보인 각 모드의 예를 제시하였다. 비등록 모드는 사용자에게 특별한 파지 형태를 제시하지 않고 일상적으로 잡는 모양 취하도록 지시해 데이터를 수집하였다. 데이터는 샘플링 레이트는 30 Hz이며 64개의 이진 터치 센서 데이터와 3개의 아날로그 가속도 센서 출력으로 이루어진다.

인식 성능은 전체 50인의 데이터를 4등분해 PC에서 측정하였다. 첫 번째로 처음 세 개의 데이터를 인식기 학습에 적용하고 나머지 하나를 인식기 검증에 적용한다. 두 번째 단계에서는 그 다음의 세 개의 데이터를 인식기 학습에 적용하고 나머지 하나를 인식기 검증에 사용한다. 이러한 과정으로 총 네 개의 학습 - 검증 집합을 구성할 수 있으며 이 네 개의 집합으로 피험자 독립 인식 성능을 계산할 수 있다. 인식을 위해 각 모드의 데이터 중 마지막 10개의 샘플을 평균한 데이터를 인식기에 제공하였으며 계산된 인식률은 93.8 %로 본 논문에서 제안한 인터랙션 기법이 실제로 구현 가능함을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 소형 다기능 휴대 단말의 사용성을 향상시키기 위한 새로운 인터페이스 방식을 제안하였다. 제안한 인터페이스는 휴대 단말을 쥐는 사용자의 손의 모양, 즉, 파지 형태를 감지해 해당 파지 형태에 가장 적합한 응용 프로그램을 구동하는 것이다. 제안된 개념의 유용성을 보이기 위해 본 논문에서는 정전 용량 방식 터치 센서, 유연 소재 기반 터치 감지부, 파지 형태 인식기로 구성된 시스템을 개발하였다. 또한, 제안된 방법의 실제 적용 가능성을 인식을 테스트를 통해 확인하였다.

참고 문헌

- [1] J. Rekimoto, "Smartskin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces," in *CHI '02: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM Press, 2002, pp. 113-120.
- [2] P. Dietz and D. Leigh, "Diamondtouch: a multi-user touch technology," in *UIST '01: Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA: ACM Press, 2001, pp. 219-226.
- [3] *SS01 8-CH Digital Capacitive Sensor*, Dec. 2003. [Online]. Available: <http://www.essd.com>
- [4] *QT60325B, QT60485B, QT60645B 32, 48, 64 Key QMatrix™ Keypanel Sensor ICs*, Quantum Research Group, 2001.
- [5] G. Dissanayake, S. Sukkarieh, and H. Durrant-Whyte, "The aiding of a low-cost strapdown inertial measurement unit using vehicle model constraints for land vehicle applications," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, pp. 731-747, Oct. 2001.
- [6] B. Scholkopf, J. Platt, J. Shawe-Taylor, A. Smola, and R. Williamson, "Estimating the support of a high-dimensional distribution," Tech. Rep. MSR-TR-99-87, 1999.
- [7] S. J. Cho, J. K. Oh, W. C. Bang, W. Chang, E. S. Choi, Y. Jing, J. K. Cho, and D. Y. Kim, "Magic wand: A hand-drawn gesture input device in 3-d space with inertial sensors," in *Proc. Samsung Tech. Conference 2004*. Giheung, Kyonggi, Korea: SAIT, Nov. 2004, p. 35.
- [8] F. Jensen, *An Introduction to Bayesian Networks*. New York: Springer, 1996.
- [9] C. Chow, "On optimum recognition error and reject tradeoff," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 16, no. 1, pp. 41-46, Jan. 1970.