
비접촉식 터치센서와 가속도센서를 이용한 사용자의 감정적 터치 인식 인터페이스 시스템

↓

User's Emotional Touch Recognition Interface Using non-contact Touch Sensor and Accelerometer

↓

구성용, Seongyong Koo*, 임종관, Jong Gwan Lim**, 권동수, Dong Soo Kwon***

↓

요약 ~ 인간의 자연스러운 터치 행동에서 사실적 정보를 인식하고 감정적 정보를 이해하는 터치 인터페이스 장치를 제안하고 사용자의 자연스러운 터치인식 성능을 검증하였다. 우선적으로 물리적인 터치의 종류를 구분하기 위하여 현 시스템에서 분류 가능한 터치를 분석하였고 실시간 터치 인식이 가능하도록 알고리즘을 설계하였다. 또한 앞으로 사람의 자연스러운 터치를 통해 사용자의 의도뿐 아니라 감정 상태도 이해할 수 있는 아이디어를 제안한다.

↓

Abstract ~ This paper proposes a novel touch interface for recognizing user's touch pattern and understanding emotional information by eliciting natural user interaction. To classify physical touches, we represent the similarity between touches by analyzing touches based on its dictionary meaning and design the algorithm to recognize various touch patterns in real time. Finally we suggest the methodology to estimate user's emotional state based on touch.

↓

핵심어: *Touch Recognition, Multimodal Interface, Emotional Interaction, Temporal Decision Tree*

↓

이 연구(논문)는 산업 자원부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업 (인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업)의 일환으로 수행되었음.

*주저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: koosy@robot.kaist.ac.kr

**공동저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: limjg@robot.kaist.ac.kr

***교신저자 : 한국과학기술원 기계공학과 e-mail: kwonds@kaist.ac.kr

1. 서론

그 동안 기기의 기능을 사람이 익혀서 사용해야 했던 사람과 기기간의 인터페이스 장치들은 사람의 자연스러운 음성이나 동작을 이해하는 인터페이스, NUI(Natural User Interface)로 바뀌어 가고 있다. 사람의 어떤 대상에 대한 터치는 상호작용 채널 중의 하나로 이미 많은 연구를 통하여 그 혜택이 입증되고 있다[1].

사람이 어떤 대상에 대하여 자연스러운 터치를 할 때, 그 터치는 대상에 대한 사람의 사실적 정보와 감정적 정보를 함께 가지게 된다. 예를 들어 “버튼을 누른다.” 는 같은 목적을 가진 터치행위에도 사람의 감정 상태에 따라서 부드럽게 누르거나 거칠게 누르거나 하는 다른 행동을 할 수 있다. 기존의 터치 인터페이스 장치들은 기기의 기능에 따라 사실정보를 얻기 위한 수단으로 사용되었기 때문에 사람의 부자연스러운 터치를 유발하여 위와 같은 감정적 정보는 얻지 못하였다.

최근 사람의 자연스러운 터치입력을 유발하여 사실정보와 감정정보 또는 감정정보만을 이용한 새로운 인터페이스 장치에 관한 연구가 진행되고 있다. Wensveen[2]은 쾌중시계의 시간을 맞추는 과정에서 사용자의 자연스러운 터치를 유발하고 그 과정에서 사람의 감정정보를 얻어내어 사용자의 감정 상태에 맞는 음악으로 아침을 깨우는 인터페이스 장치를 개발하였다. 또한 Bartneck[4]은 사람이 음악에 대한 호감도를 조사하는 시스템에서 기존의 설문조사를 이용하는 부자연스러운 방식을 음악을 듣는 과정에서 일어나는 자연스러운 터치입력을 통하여 호감도를 조사할 수 있었다.

터치를 통하여 감정적으로 풍부한 상호작용을 위한 인터페이스는 다음과 같은 요건을 갖추어야 한다[2].

1. 자연스러운 터치를 통한 사실적, 감정적 정보 유발
2. 사용자의 사실적 정보 인식
3. 사용자의 감정적 정보 이해

또한 자연스러운 터치를 통한 감정인식을 유발하기 위한 장치의 설계는 사용자의 행동과 장치의 반응이 모두 풍부하게 표현될 수 있도록 설계가 되어야 한다[3].

본 논문에서는 위의 3가지 조건 중 첫 번째, 두 번째 조건을 만족하는 터치 인터페이스 장치의 개발과 세 번째 조건을 해결하기 위한 방법론을 제시한다.



2. 시스템의 설계

2.1 관련 연구

자연스러운 터치 인식에 관한 연구는 로봇의 인공피부를

개발하기 위하여 다양한 형태로 이루어져 왔다. 우선 외형은 크게 딱딱한 표면과 부드러운 표면의 2가지로 나눌 수 있다.

부드러운 표면에 대하여 [5]는 인간의 피부의 감각기가 자극을 수용하는 방법과 유사한 센서들의 배열을 통하여 8 가지 터치패턴을 구별하였고, [6]는 인간이 가할 수 있는 31 가지 터치패턴을 조사한 후에 다수의 FSR(Force Sensitive Resister)와 force/torque sensor를 배열하여 그 중 10가지 패턴을 구별하였다.

딱딱한 표면에서의 터치 인식이 가능한 시스템은 대표적인 예로 터치스크린을 들 수 있다. 최근 Microsoft사에서는 멀티터치인식이 가능한 ‘surface’를 발표한 것과 같이 터치스크린의 인식기능은 상당히 발달되어 있다. 하지만 스크린의 평면 형태는 자연스러운 터치를 유도하기에 한계가 있다. 부드러운 표면에 대한 연구에 반해 딱딱한 표면에 대한 자연스러운 터치인식에 관한 연구는 많이 진행되지 않았다. 그 이유는 외관을 상하게 하지 않으면서 FSR이나 force sensor를 부착하기 어렵고, 딱딱한 외형을 통과하여 인식 가능한 정전용량형 터치센서는 on/off 만 측정 가능하므로 힘을 측정하기 어려우므로 다양한 터치패턴을 인식하기 힘들기 때문이다. 하지만 우리 주변의 사물들은 부드러운 표면보다는 딱딱한 플라스틱 형태의 제품들이 많고, 제품 생산도 쉬우므로 딱딱한 형태의 표면에 대하여 자연스러운 터치인식에 관한 연구도 반드시 필요하다.

본 논문에서는 3x3 배열 형태의 on/off 정전용량형 터치센서와, 가속도센서를 사용하여 딱딱한 표면의 인터페이스 장치에서 사람의 자연스러운 터치에 대하여 감정적 패턴을 인식하였다.

2.2 하드웨어 구성

2.2.1 외형

외형은 그림 1의 반구 모양의 플라스틱 외형을 사용하였다. 평면보다는 자연스러운 구형을 사용하였고, 외형에는 어떠한 변형도 가하지 않음으로써 사용자의 자연스러운 감정적 터치를 유도하였다.



그림 1. 터치 인식 인터페이스 하드웨어 외형

2.2.2 센서

딱딱한 표면의 외형을 변형하지 않고 터치를 인식하기 위하여 3x3 정전용량 터치센서와 가속도센서를 사용하였다. 정전용량 터치센서는 근접 또는 접촉을 on/off로 감지할 수 있으므로, 플라스틱 외형 내부에 설치하여 외형 외부에 손의 접촉 여부를 판단할 수 있다. 또한 터치패턴을 다양하고 안정적으로 인식하고 터치의 세기정보를 얻기 위하여 가속도센서를 사용하였다. 플라스틱 외형에 힘을 가하였을 때 가속도 센서는 외형의 흔들리는 가속도를 측정할 수 있으므로 터치의 세기를 효과적으로 계산할 수 있다. 아래 그림 2 는 외형 내부에 터치센서 전극 및 가속도센서를 부착한 모습을 보여준다.

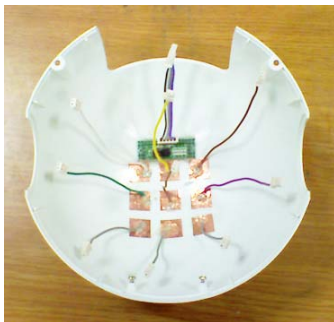


그림 2. 외형 내부 센서 배치

2.3 실시간 시스템 구성

본 논문의 터치 인식 인터페이스는 다양한 응용장치로 활용될 수 있다. 이를 위하여 실시간으로 터치패턴이 인식되어야 한다. 예를 들어 터치를 인식하는데 많은 시간이 걸리거나 '문지르기' 등과 같은 터치 입력이 오래 지속되었을 때 문지르는 과정에서 터치 인식이 되지 않는다면 다양한 응용장치로 활용하기가 어려울 것이다. 따라서 본 시스템과 알고리즘은 실시간성을 고려하여 설계하였다.

하드웨어를 구성하기 위한 시스템은 아래 그림 3과 같다.

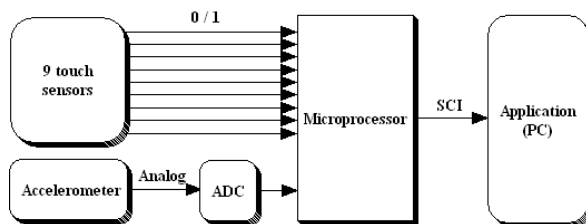


그림 3. 시스템 구성도

디지털 9개의 정전용량 터치센서 신호와 ADC를 통과한 가속도 센서 신호는 Microprocessor(ATmega128)로 들어가게 된다. Microprocessor에서 실시간으로 터치 인식을 하여 그 정보를 PC와 같은 다른 응용장치로 전송한다.

실시간 터치인식을 하는 과정은 다음 장에서 설명한다.

3. 감정적 터치 인식

3.1 터치 유형 분류

Iwata는 [6]에서 사전[7]에 근거하여 인간이 가할 수 있는 31가지 터치 유형(표 1.)을 정리하였다.

표 1. 인간이 가할 수 있는 31가지 터치 유형

touch	beat	pick	scrub
hit	push	pull	grasp
collide	thrust	tug	grip
smite	poke	draw	seize
pat	jab	drag	pinch
tap	jog	tweak	stroke
slap	nudge	scrape	scratch
punch	prod	rub	

본 논문에서는 위의 31가지 패턴을 cambridge dictionary[8]을 통하여 사전적 정의를 분석하여 특징 유사도에 기반 하여 다음 그림 4와 같이 분류하였다.

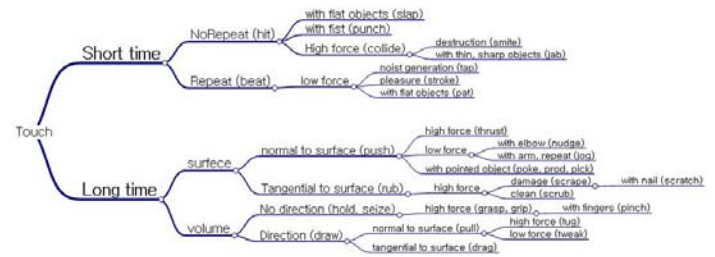


그림 4. 특징 유사도에 기반한 31가지 패턴 분류

이 중 본 논문에 사용된 딱딱한 외형에 입력 가능한 터치를 크게 4가지로 분류해 본 결과 다음 표 2와 같은 패턴에 따른 특징을 얻을 수 있었다.

표 4. 4가지 패턴의 특징 분류

	힘의 세기	접촉 시간	반복 여부	접촉면 변화
Hit	중간 / 션	짧다	없음	없음
Pat	약함 / 중간	짧다	있음	없음
Rub	약함	길다	없음	있음
Push	약함 / 중간	길다	없음	없음

3.2 실시간 터치 패턴 인식

센서 데이터가 아날로그에서 디지털로 변환되는 시간과 응용장치에 따라 Microprocessor에서 시리얼 통신을 하는 시간을 감안하여 모든 센서 데이터는 10ms 마다 한 번씩 읽을 수 있다고 가정하였다. 10ms 마다 들어오는 터치센서와 가속도센서 데이터는 특징 추출과정을 거쳐 40ms 마다 패턴 분류기에서 패턴을 분류하게 된다.

특징 추출을 위한 Multi-windowing방법과 실시간 분류기를 위한 Temporal Decision Tree는 다음과 같다.

3.2.1 Multi-windowing 특징 추출

힘의 세기, 접촉 시간, 반복 여부, 접촉면 변화의 4가지 특징은 추출하는데 걸리는 시간이 각기 다르다. 힘의 세기는 터치를 가했을 때 외형이 떨리는 시간을 고려하여 20samples(200ms) 동안의 가속도의 변화의 합으로 계산되고, 접촉 시간은 터치가 시작된 시간부터 현재까지 걸린 시간이 된다. 반복 여부는 이전 터치가 끝난 시점부터 다음 터치가 시작된 시점까지 걸린 시간이고, 접촉면 변화는 4samples(40ms) 동안의 접촉면적의 변화를 합한 값이다.

위와 같이 힘의 세기와 접촉면 변화는 200ms, 40ms, 접촉 시간과 반복 여부는 10ms 마다 계산될 수 있으므로, 각 특징을 계산하기 위하여 다음 그림 5와 같은 Multi-windowing을 사용하였다.

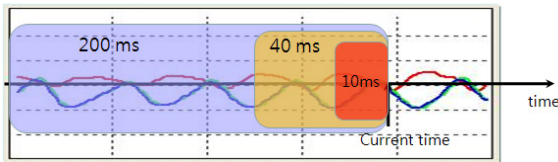


그림 5. Multi-windowing 특징 추출

3.2.2 특징 추출 전처리 과정

센서 데이터로부터 4가지 특징을 계산하기 위하여 터치센서 필터링과 터치의 시작점, 끝점, 접촉면적, 접촉면적의 변화의 값들을 계산하기 위한 전처리 과정을 거치게 된다.

정전용량 터치센서는 근접/접촉 여부를 판단할 수 있으므로, 사람의 손이 외형에 닿기 위해 어느 정도 근접했을 때 체터링 현상이 일어난다. 이를 없애기 위하여 1차 디지털 필터를 사용하여 필터링을 하였다.

필터링 된 터치센서의 값이 on이면 1, off면 0이라고 정의하고 9개의 값을 모두 합한 값이 0이면 접촉이 되지 않은 상태, 0이 아니면 접촉이 된 상태이다. 따라서 접촉이 되지 않은 상태에서 접촉이 된 상태로 바뀌는 순간이 터치의 시작점, 접촉이 된 상태에서 접촉이 되지 않은 상태로 바뀌는 순간이 터치의 끝점이라고 정의할 수 있다.

접촉면적의 변화는 9개 각 터치센서의 현재 값에서 이전 값을 뺀 9개의 차이의 절대값을 합한 값으로 터치가 된 상태에서 9개의 터치센서 값이 변하지 않으면 0이 된다.

3.2.3 특징 추출

다음 장에서 설명할 temporal decision tree 분류기를 사용하기 위하여 특징이 가질 수 있는 값은 다음과 같다.

1. 힘의 세기 : 약함(L), 중간(N), 셸(H)
2. 접촉 시간 : 접촉 시간은 접촉 여부(0/1)로 대신하여 판단할 수 있다.

3. 반복 여부 : 반복 있음(1), 반복 없음(0)
4. 접촉면 변화 : 변화 있음(1), 변화 없음(0)

위와 같이 4가지 특징 값을 결정하기 위하여 다음과 같은 특정한 경계 값들의 결정이 필요하다.

1. 힘의 세기 : 약함과 중간의 경계 값 (F_{LN}), 중간과 셸의 경계 값 (F_{NH})
2. 접촉 시간 : 짧음과 김의 경계 시간 (T_{SL})
3. 반복 여부 : 이전 터치가 끝난 시점부터 다음 터치가 시작된 시점까지 걸린 시간의 경계 시간 (T_{rep})
4. 접촉면 변화 : 변화 있음과 없음의 경계 값 (C)

위의 5가지 경계 값을 결정하기 위하여 24~39세의 남성 13명, 여성 2명에게 각 터치 패턴을 10초 동안 연속으로 하도록 요청하였다. 수집된 데이터를 분석하여 선형분류를 통하여 위의 5가지 경계 값을 다음과 같이 찾을 수 있었다.

$$F_{LN}:5, F_{NH}:20, T_{SL}:240ms, T_{rep}:480ms, C:0.1$$

3.2.4 Temporal Decision Tree

4가지 터치 패턴은 그림 4와 같이 특징을 기반으로 한 트리구조로 분류되었던 것에 착안하여 분류기 역시 트리구조로 설계하였다. 하지만 일반적인 Decision Tree는 실시간성을 만족하지 못하고 또한 여러 특징들을 한 번에 분류하기 위하여 시간에 따른 특징들의 값을 저장하고 있어야 하는 단점이 있다. 하지만 Temporal Decision Tree[9]는 특징들의 시간성을 고려하여 트리의 각 노드에서 분리되는 순간에 시간정보를 사용하므로 실시간 터치 인식에 잘 맞는 방법이라고 할 수 있다.

예를 들어 hit/pat과 rub/push은 접촉 시간을 특징으로 구별할 수 있다. 접촉 시간이 T_{SL} 보다 작은 경우에 터치가 끝나게 되면 반복 여부 특징을 사용하여 hit과 pat을 구별할 수 있고, 접촉시간이 T_{SL} 보다 큰 경우에는 접촉면 변화 특징을 사용하여 rub과 push를 구별할 수 있다. 따라서 hit/pat은 rub/push에 비해 빠른 시간에 구별해낼 수 있다. 또한 push와 rub 또한 터치가 끝나지 않더라도 구별할 수 있으므로 실시간 분류를 할 수 있다.

[9]에서 정의된 Temporal Decision Tree를 만들기 위한 Temporal Example Table은 다음 표 5와 같다.

상황 1~4는 분류기가 동작하면서부터 각 Hit, Pat, Rub, Push가 일어나는 상황을 시간대별로 나타낸 값들이다.

표 5. Temporal Example Table

	time	상황1	상황2	time	상황3	상황4
힘의 세기	0	N / H	L / N	0	L	L / N
	1	N / H	L / N	1	L	L / N
	...	N / H	L / N	...	L	L / N
	T_{end}	N / H	L / N	T_L	L	L / N
접촉 여부	0	1	1	0	1	1
	1	1	1	1	1	1
	...	1	1	...	1	1
	T_{end}	0	0	T_L	1	1
반복 여부	$T_{end}+5$	0		T_R	1	1
	0	0	1	0	0	0
	1	0	1	1	0	0
	...	0	1	...	0	0
접촉면 변화	T_{end}	0	0	T_L	0	0
	0	NA	NA	0	1	0
	1	NA	NA	1	1	0
	...	NA	NA	...	1	0
T_{end}	NA	NA	T_R	1	0	
	CL	Hit	Pat	CL	Rub	Push
DL		T_{SL}	T_{SL}	DL		

[9]에서 제시한 방법을 통하여 표 5의 Te-table을 통하여 Temporal Decision Tree를 만들 수 있다. 또한 여러 번의 실험을 통하여 위의 상황1~4 외에 발생할 수 있는 3가지 상황을 더 추가하여 Temporal Decision Tree를 다음 그림 6과 같이 구성하였다.

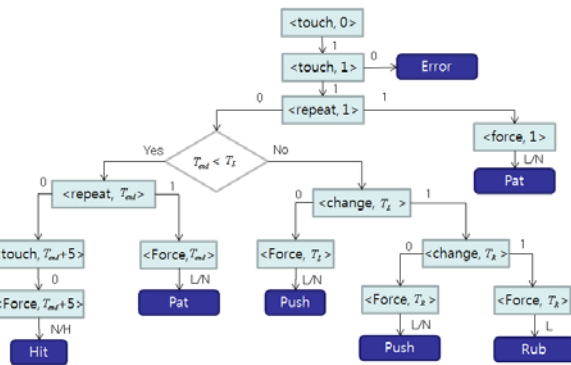


그림 6. Temporal Decision Tree

위의 트리는 접촉 여부가 1일 때 발화된다. 따라서 터치가 일어나지 않을 때는 분류기가 작동되지 않으므로 불필요한 연산을 하지 않을 수 있다. 또한 트리의 각 노드가 분류가 되는 시점에서는 현재 정보만 사용 되므로 시스템의 메모리도 효율적으로 사용할 수 있다.

3.3 감정적 터치 인식

서론의 자연스러운 터치에서의 감정 상호작용을 위한 세 가지 요소 중 앞의 실시간 터치 패턴 인식을 통하여 사용자의 자연스러운 터치를 통한 사실적, 감정적 정보를 유발하

고, 4가지 터치 패턴 인식을 통하여 사실적 정보 인식이 가능하다. 세 번째 조건인 사용자의 감정적 정보를 이해하기 위해서 앞의 4가지 터치 패턴은 상황에 따라 다양한 감정적인 행동으로 볼 수 있으므로 충분한 정보가 되지 못한다.

터치를 통하여 사용자의 감정인식을 하기 위하여 [10]에서는 혈압이나 피부 전도율 등 생리학적 측정을 통하여 감정을 파악하는 연구를 진행해 왔다. 하지만 이러한 방법은 사용자가 항상 측정 장치를 달고 있거나, 터치 인터페이스에 연속적인 터치를 가할 때 가능한 방법이기 때문에 사용자의 자연스러운 터치를 유발하기 어렵다.

따라서 사용자의 정확한 감정인식을 위해서는 응용장치에 맞는 제한된 상황에서 사용자의 감정 상태에 따른 터치 입력을 조사하고 제한된 감정 상태에 맞는 규칙적인 터치 특성을 파악하는 과정이 필요하다. [2]에서는 사용자의 하루 동안의 심리 상태에 따른 쾌중시계의 시각을 맞추는 상황에서 사용자의 감정 상태를 유발하고 이에 부합하는 터치 특성을 찾아내었고, [4]에서는 음악 감상이라는 상황 하에 사용자의 호불호 두 가지 감정 상태를 응용한 장치를 개발하였다. [11]에서는 단체 활동에서 발생할 수 있는 상황을 가정하고 터치 인터페이스를 활용하여 단체의 심리적 유사성을 조사하였다.

본 논문에서 개발된 터치 인터페이스 장치를 이용하여 사용자의 감정적 정보를 인식하기 위하여 다음과 같은 방법론을 제시한다.

1. 본 인터페이스 장치를 활용하여 사용자가 제한된 감정 표현을 할 수 있는 특정 상황에 맞는 응용장치를 개발 하고
2. 각 상황별 사용자의 감정 상태에 따른 터치 입력을 유발하여
3. 터치 패턴 및 힘의 세기, 접촉 시간 등 감정과 밀접한 특징들을 조사한다.

4. 실험 및 결과

개발된 터치 인식 인터페이스 시스템의 터치 패턴 인식을 측정하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

1. 실험대상 : 24~38세 남 11명, 여 1명
2. 실험방법 : 4가지 패턴 Hit, Pat, Rub, Push의 사전적 의미를 설명하고 각 패턴에 대하여 10번씩 수행하게 함

패턴인식의 실시간성 때문에 한번 터치에 대하여 여러 번 인식결과가 나오게 된다. 각 인식결과를 모두 세어서 다음 표 6과 같은 결과를 얻었다.

표 6. 패턴 인식 결과 (인식 수)

		사용자가 의도한 패턴			
		Hit	Pat	Rub	Push
인식된 패턴	Hit	96	30	2	19
	Pat	1	296	28	1
	Rub	0	0	168	19
	Push	10	0	4	180
	인식안됨	3	11	9	7

위의 표 6을 인식률로 나타내면 다음 표 7과 같다.

표 7. 패턴 인식 결과 (인식률[%])

		사용자가 의도한 패턴			
		Hit	Pat	Rub	Push
인식된 패턴	Hit	87.27	8.90	0.95	8.41
	Pat	0.91	87.83	13.27	0.44
	Rub	0	0	79.62	8.41
	Push	9.90	0	1.90	79.65
	인식안됨	2.72	3.26	4.27	3.10

Hit과 Pat은 약 87%, Rub과 Push은 약 79%의 인식률을 얻을 수 있었다. 오 인식률은 Rub을 의도하였을 때 Pat으로 인식한 경우가 13.27%로 가장 높았다. 그 이유는 Rub을 하는 도중에 손이 표면에서 떨어지거나 터치센서가 인식할 수 있는 범위를 벗어났다가 다시 돌아왔을 경우 반복된 패턴으로 인식하여 Pat으로 인식하였다. Hit을 Push로 구별한 9.9%의 오 인식률은 12명의 피실험자 중 특정한 한 사람의 10번의 Hit이 모두 Push로 인식된 결과이다. 이와 같이 사람들 마다 4가지 터치의 사전적 의미를 이해하고 행동하는 고유한 방식이 있었고 이를 감안하여 어느 정도의 사용자가 본 장치에 적응한다면 더 좋은 인식결과를 기대할 수 있다.

아래 그림 7은 본 인터페이스 장치의 동작 모습이다.



그림 7. 터치 인식 인터페이스

5. 결론

사람의 자연스러운 터치 행동을 유발하여 사실적 정보 인식과 감정적 정보 이해를 할 수 있는 반구 형태의 터치 인식 인터페이스를 개발하였다. 사람의 다양한 터치패턴 중 딱딱한 외형의 하드웨어에서 인식 가능한 4가지 Hit, Pat,

Rub, Push의 사전적 정의를 토대로 특징을 추출해 내었으며 이를 실시간으로 인식하여 응용장치에 사용하기 위하여 Temporal Decision Tree 분류기를 설계하였다. 사용자 실험을 통하여 인식률을 조사해본 결과 Hit과 Pat은 87%, Rub과 Push는 79%의 인식률을 얻을 수 있었다.

자연스러운 터치에서 감정적 정보를 이해하기 위해서는 사람의 감정을 유발할 수 있는 상황정보가 필요하다. 본 논문에서 구별한 터치 패턴과 특징 정보들을 통하여 특정한 응용장치에 적용하였을 때 그 상황에서 발생하는 감정적 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Field, "Touch", 2001.
- [2] Wensveen, S.A.G., Overbeeke, C.J., Djajadiningrat, J.P. "Push me, shove me and I show you how you feel: recognising mood from emotionally rich interaction, In" MacDonald, N. (ed.) DIS2002: Serious reflection on designing interactive systems, pp. 335-340. ACM press, New York (2002)
- [3] Wensveen, S.A.G., Overbeeke, C.J., Djajadiningrat, J.P. "Touch me, hit me and I know how you feel. A design approach to emotionally rich interaction, In" Proceedings of Designing Interactive Systems, DIS' 00, pp. 48-53. ACM press, New York (2000)
- [4] C Bartneck, P Athanasiadou, T Kanda, "Hit Me Baby One More Time: A Haptic Rating Interface" . In Jacko, J. (Ed.), HCI International, Part 2, HCII 2007, LNCS 4551. (pp. 743-747) Berlin
- [5] Walter Dan Stiehl et al., "Design of a Therapeutic Robotic Companion for Relational, Affective Touch", Ro-man2005), pp408~415, 2005
- [6] Hiroyasu Iwata et al., "Human-Robot-Contact-State Identification Based on Tactile Recognition", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005
- [7] P. M. Roget, Roget's Thesaurus of English Words and Phrases, Harlow, U.K.: Longman, 1987.
- [8] <http://dictionary.cambridge.org/>
- [9] Luca Console, Claudia Picardi, Daniele Theseider Dupre. "Temporal Decision Trees: Model-based Diagnosis of Dynamic Systems On-Board". Journal of Artificial Intelligence Research 19 (2003) pp469~512
- [10] Picard, R.W. "Affective Computing" MIT Press, Cambridge (1997)
- [11] O Mubin, AA Mahmud, C Bartneck "TEMo-Chine: Tangible Emotion Machine" LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 2007 - Springer