

## 전반사 장애를 이용한 멀티터치 시스템의 구현

### Implementation of Multi-Touch System using FTIR

차 수 정\* 이 구 연\*\*  
Cha, Soo-Jung Lee, Goo-Yeon

#### Abstract

In this paper, we implement a multi-touch system using FTIR. The implementation consists of hardware manufacture and development of image processing system. In the hardware system, touch screen, infrared LED placements and infrared camera are made. The image processing procedure is to extract each pointer's coordinates from image data and includes binary-coding, noise-elimination, labeling and calculation of mass center. From the implementation, we are able to make a multi-touch system with considerably lower cost than the existing ones.

키워드 : 멀티터치, 전반사 장애, 적외선 발광기, 이진화, 라벨링, 피드백, 영상 처리  
Keywords : Multi-touch, FTIR, IR LED, Labeling, Feedback, Image processing

#### 1. 서론

최근 휴대폰이나 오락기와 같은 소형 임베디드 시스템으로부터 노트북에 이르기까지 다양한 분야에서 터치스크린이 사용되고 있다. 기존의 입력 장치에서 터치스크린으로의 발전은 터치 방식이 UX(User Experience)라는 강점을 가지고 있다는 데에 기인한다. 기술의 대중화라는 문제에 대해서 UI는 비숙련자가 기술을 쉽게 배울 수 있게 만들었지만 UX는 기술을 별도의 학습 없이도 곧바로 사용하게 만들었다. 이러한 패러다임의 전환 과정 중에 멀티터치의 등장은 강화된 UX를 제공함으로써 커다란 반향을 일으켰다. 그 예로 마이크로소프트사는 멀티터치 컴퓨팅 환경을 제공하는 MS

Surface를 제작하여 상용화 하였으며 애플사는 Macbook시리즈에서 멀티 터치 기능을 넣음으로써 해당 분야에 대한 깊은 관심을 표했다. 멀티 터치는 하나의 컴퓨팅 환경에서 다수의 포인터를 이용하여 여러 사용자가 다른 작업을 진행할 수 있어 새로운 차원의 응용 프로그램들이 가능해지며, 이용자의 두 손으로 제어한다는 점은 단일 터치 시스템보다 향상된 UX를 보인다. 특히 최근 발표된 Windows 7에서 멀티터치를 지원한다는 사실은 멀티터치가 차세대 환경으로 주목받고 있다는 것을 증명한다.

제프 한 박사의 멀티터치 방식은 FTIR을 이용한 것으로 기존의 적외선 패널 방식을 벗어난 획기적인 이론이다[1]. 전반사 현상을 이용하기 때문에 이론적으로 카메라의 범위만 가능하다면 무한정 스크린을 크게 만드는 것도 가능하다. 단, FTIR을 이용한 경우 컴퓨터로 적절한 영상 입력이 들어오게 하는 과정과 함께 카메라를 통해서 들어온 영상을 별도로 처리하는 과정이 필요하다.

\* 강원대학교 컴퓨터공학과 학사 과정

\*\* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수, 교신저자

영상처리에 따른 부하가 컴퓨터의 성능 저하를 가져오는 것을 방지하기 위해서 적절한 하드웨어와 효율적인 영상처리 알고리즘을 선택해야 한다.

본 논문은 전반사 장애를 이용한 멀티터치 시스템의 구현과정을 연구하였다. 이 과정은 하드웨어 제작과 영상처리 과정으로 나누어지며, 최종적으로 사용자의 입력(터치)가 하나 이상의 좌표로 인식되는 과정으로도 볼 수 있다. 하드웨어 제작은 먼저 카메라에서 또렷한 영상을 받고 터치 입력을 유연하게 받아들일 트래킹 지 스크린의 제작, IR LED를 아크릴 판 단면에 부착함으로써 적외선 전반사 현상이 일어나게 하는 발광기 제작과 적외선만을 받아들일 적외선 카메라의 제작 등으로 이루어진다. 영상처리 과정은 이진화, 라벨링, 좌표 중심점 연산으로 이루어진다. 이진화를 통하여 불필요한 정보를 제거하여 연산 속도를 높이며 가치 있는 정보만을 남긴다. 잡음제거 과정은 원본에서 생기는 불필요한 잡음을 없애 자료의 순도를 높이기 위해서 수행하는 필터링 작업이다. 라벨링은 의미 있는 데이터들을 라벨을 붙임으로써 분류해내는 과정으로 이를 통하여 손가락 단위의 이미지들을 개별적인 값으로 구분해 내는 것이 가능하다. 무게 중심 연산은 라벨링 한 자료에 대해 무게 중심을 구하는 것으로 윈도우 상의 어떤 부분에 이벤트를 발생시키는 것인지를 결정한다.

## 2. 이론적 배경

전반사란 빛이 밀한 매질에서 소한 매질로 빛이 진행할 때, 특정 입계각 이상보다 큰 입사각으로 입사한 경우 빛이 굴절하지 않고 반사되는 현상으로, 빛의 손실률이 매우 낮기 때문에 다양한 광학 분야 및 통신 분야에서 이용되고 있다. 이러한 전반사가 일어나는 도중 손과 같은 방해물이 닿으면 전반사가 중지되고 해당 방해물이 닿은 지점에서 수직으로 빛이 떨어지게 된다. 이러한 현상을 전반사 장애(Frustrated Total Internal Reflection)라고 하며 이를 이용하여 멀티터치를 구현한다(그림 1 참조).

본 논문에서 구현한 멀티터치 시스템에서는 밀한 매질은 아크릴 판이 되며 소한 매질은 공기가 되는데 이 때 전반사를 방해할 요인은 사람의 손이 된다. 아크릴 판 내에서는 적외선 발광기에 의해 무수한 적외선이 전반사되기 때문에 동시에 여러 장소에 손을 올려놓아도 모두 동시에 전반사를 방해하게 만들 수 있다.

적외선 카메라로 이러한 영상을 찍으면 장애가 일어난 지점, 즉 터치가 일어난 지점 이외에는 적외선이 전반사를 하므로 아크릴판 외부로 방출되지 않는다. 따라서 터치가 일어난 부분 이외에는 검은색 화면이 만들어져 해당 부분을 구별할 수

있게 된다(그림 2 참조). 이렇게 만들어진 영상에서 영상 처리를 통하여 한 개 이상의 포인트의 중심 좌표를 구한다.

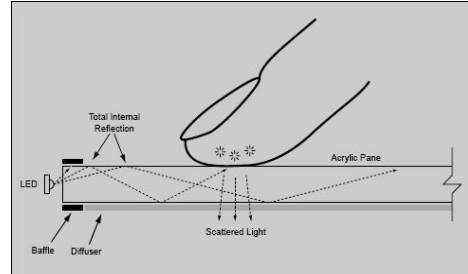


그림 1. 전반사 장애 현상

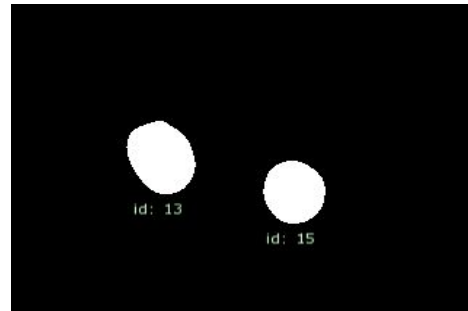


그림 2. 전반사 장애를 통한 입력 포인트 인식

## 3. 설계 및 구현

### 3.1 하드웨어 제작

광학적 조건을 만족시키기 위하여 하드웨어는 세심하게 설계되어야 한다. Beamer 역할을 할 프로젝터에서 방출되는 적외선의 인식 방식, 아크릴 판 외부로 반사되는 빛의 차단 등 안정적인 이용을 위하여 예민한 부분에 적절한 처리가 필요하다.

본 논문의 멀티터치 시스템 구현에서의 반사가 일어날 스크린은 아크릴 판과 트래킹 지로 구성이 된다. 아크릴 판의 흠집이 없고 내부에 별다른 무늬 및 음각 등이 없는 투명한 상태를 사용하여 전반사가 일어나는 환경을 만들어 준다. 트래킹지는 특성상 빛을 흡수하기 때문에 프로젝터의 빛을 투과시키지 않고 사용자에게 보여주기 용이하며 이에 석유 용매로 액체 상태로 만든 실리콘을 얇게 펴 발라 유연하게 포인트가 이동할 수 있도록 하였다. 이 과정은 필수적인 것으로 인식률을 크게 향상시킬 수 있다.

또한 본 논문에서는 인식률의 향상을 위해 적외선 IR LED를 아크릴 판의 모든 면에 알루미늄 형틀을 이용하여 부착하였고, 아크릴 판과 발광기를 실리콘을 이용하여 접합하였다. IR LED간의 간격은 2cm로, 병렬로 랜 케이블의 얇은 전선을 이용하여 연결하였다. 합선 및 감전 등을 방지하고 사이로 빛이 새어나가는 것을 막기 위하여 전기 테이프를 이용하여 사이를 막았다. 그림 3은 이와 같은 모습을 보여주고 있다

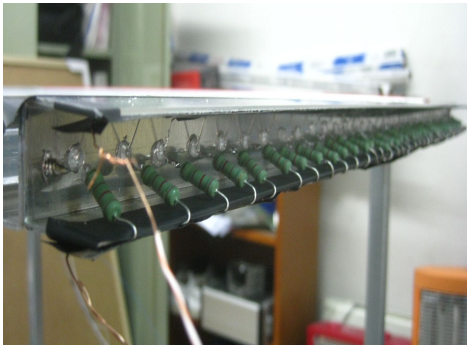


그림 3 아크릴 판과 LED의 부착 형태

본 논문에서는 카메라 대신 웹캠을 사용하였는데 이는 비용이 저렴하고 내용 상 고화질을 필요로 하지 않으며 개조가 용이하기 때문이다. 정상적으로 시판되고 있는 웹캠은 적외선 차단 필터를 가지고 있는데 적외선을 받아들이기 위해서는 이 필터를 제거해주는 과정이 필요하다[3]. 그림 4는 이와 같은 과정을 보여주고 있다.



그림 4 웹캠에서의 적외선 차단 필터 제거 과정

필터를 제거해도 웹캠은 여전히 가시광선은 받아들이기 때문에 가시광선을 별도로 차단해야 한

다. 카메라 필름의 인화된 부분을 여러 겹 이용하여 빛을 약화시키는 방법과 특정 구간만 통과시키는 bandpass, 특정 값 이상을 모두 통과시키는 longpass 필터를 사용하는 방법이 있는데 여기서는 인화된 필름을 사용하여 가시광선을 차단할 수 있었다.

전체 모듈을 구성하기 위하여 프로젝터, 거울의 각도 조절은 매우 중요한 문제로 거울을 이용하여 전체 시스템의 높이를 낮출 수 있기에 거울의 각도를 적절한 시점으로 조정하여야 한다. 여기서 프로젝터는 알루미늄 프로파일을 별도로 조립하여 높낮이를 조절할 수 있게 하였고 거울의 각도 수정을 통해 스크린에 비치는 화면의 크기를 조절하였다. 전체 프레임은 강철 프레임을 가공하여 제작하고 그 위에 적외선 발광기가 부착된 아크릴판을 접합하였으며 밑에 바퀴를 달아 자유롭게 이동이 용이하도록 만들었다. 전체 모듈의 구조는 MS사의 MS Surface를 참조해서 구성하였으나 단, Surface의 경우 카메라의 개수가 4개인데 반해 이 경우 한 개로 제작하였으므로 정 중앙에 웹캠을 배치하였다. 그림 5는 이와 같은 과정을 보여주고 있다.

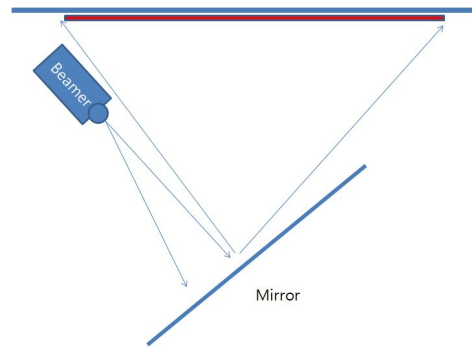


그림 5. 프로젝터와 거울의 위치

### 3.2 영상처리 과정

영상처리 알고리즘은 효율성과 간단함을 중심으로 선택하였으며, 영상처리는 그림 6과 같은 순서로 수행된다.

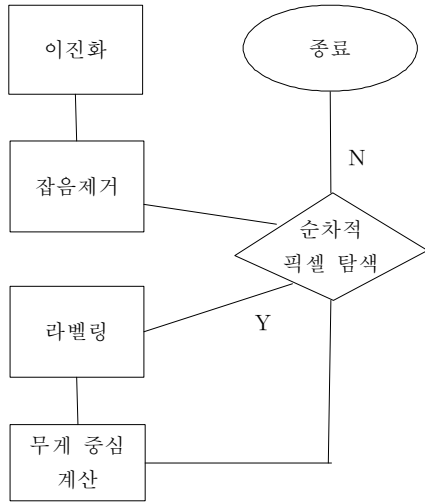


그림 6. 영상 처리 과정

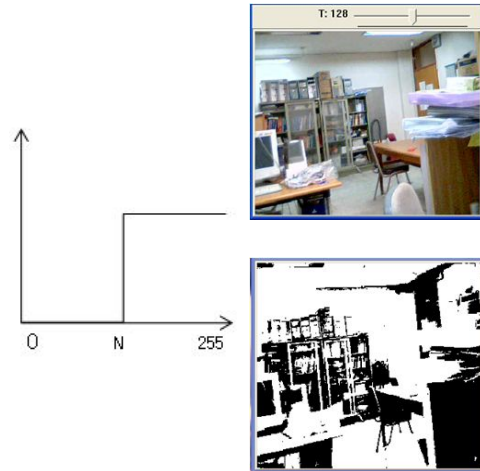


그림 7. 이진화 과정에서의 임계치 값(좌 그림)과 이진화 적용 그림 예(우 그림)

이진화 과정은 픽셀 값을 0 또는 1의 두 레벨로 레벨 다운하는 과정으로, 하드웨어로부터 획득한 영상은 한 픽셀당 1바이트의 값을 가진 흑백 영상이므로 하나의 픽셀은 0부터 255까지의 정수 값을 가진다. 예를 들어 기준치를 100으로 할 경우 100 이하는 모두 0이 되며 이상은 모두 1이 된다. 이진화를 통하여 계산 데이터 량의 감소와 필요 없는 데이터를 제거할 수 있다. 여기서 사용한 알고리즘은 가장 쉬운 방법인 P-타일법으로(단순 임계치 방법), 일정 값 이상의 픽셀을 255로 만들고 미만인 값들은 0으로 만드는 방법이다.[2] P-타일법은 임계값인 N의 값을 이용하여 데이터의 양을 조절할 수 있다. 임계치를 크게 주어 필요 없는 데이터를 대폭 삭제할 수 있으나 지나치게 큰 임계치는 중요한 데이터마저 제거될 수 있으므로 적절한 수치의 선택이 중요한 요건이다. 그림 7은 이진화 과정에서의 임계치 값과 이진화 적용 그림 예이다.

잡음은 데이터 처리나 원본 데이터 상의 문제, 카메라 하드웨어로부터 발생할 수 있는데 이러한 잡음은 오작동을 일으킬 가능성이 있으므로 순도 높은 데이터 정제를 위하여서는 잡음 제거 과정이 필요하다. 다양한 알고리즘을 통해 잡음 제거를 구현할 수 있지만 여기서는 가장 간단한 방법으로 미디언 필터를 이용하여 잡음을 제거 하였다. 미디언 필터는 일종의 저주파 필터로 잡음은 인근 픽셀과 확연히 다른 값을 가지고 있다는 특성을 적용, 인근 픽셀의 대표 값을 적용시킴으로써 잡음을 없애는 방법이다. 그림 8은 잡음제거 과정을 보여주고 있다.

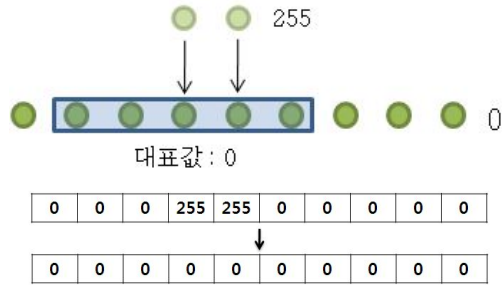


그림 8. 잡음 제거과정

라벨링은 멀티터치 과정중 가장 중요한 과정이다. 이진화와 잡음 제거 과정을 거친 로우 데이터는 255값의 덩어리 형태를 띄게 되는데 이를 컴퓨터가 구별할 수 있도록 해당 ID로 내부를 채움으로써 각각을 독립된 객체로 만든다. 4방향을 채워로 탐색하는 알고리즘을 사용하면 8방향에 비해 계산량을 줄일 수 있어서 이 경우에 적합하다. 라벨링 과정은 값이 255인 픽셀을 만날 때마다 위, 아래, 왼, 오른쪽 방향으로 채워로 다시 함수를 호출하여 연속된 255값들값이 식해낸다. 채워 호출이 끝난 지점에는 255값의 픽셀을 더 이상 찾을 수 없는 상황이기 때문에 ID값을 1증가시키고 다른 값의 픽셀을 찾는다. 이 과정을 거치면 각각의 객체들은 서로 다른 ID값의 픽셀을 가지고 있으므로 컴퓨터가 이를 구별해내는 일이 가능해진다. 그림 9는 라벨링 과정이다.

0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0

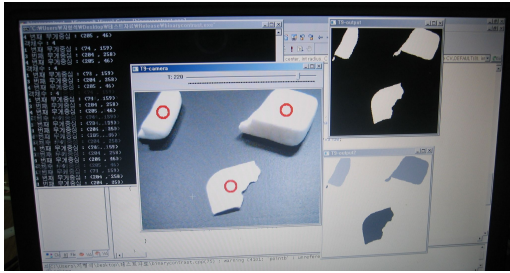


그림 9. 라벨링 과정

라벨링이 끝난 각각의 덩어리들에 대해 어떤 좌표로 이벤트를 발생시킬 것인지 결정하는 과정이 무게 중심 과정으로 입력에 대한 신뢰성을 높이기 위해 해당 객체들의 정확한 중심점을 구하는 과정이 필요하다. 이 중심점을 무게 중심이라고 하며 이는 수학적인 연산으로 구하는 것이 이미 증명되어 있다. 모든 픽셀들은 각기 좌표 값을 가지고 있으므로 X, Y 좌표 값들을 각각 더해서 개수로 나누어주면 평균 좌표 값이 구해지므로 정확히 중간 위치의 픽셀을 찾을 수 있다.[4]

0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0

그림 10. 무게중심을 통한 좌표값 계산

#### 4. 결과 분석 및 결론

본 논문에서는 FTIR을 이용한 멀티 터치 시스템을 구현하였다. 멀티터치 시스템에서의 사용자

입력에 대하여 3장에서 처리 과정을 통하여 추출된 좌표들은 각각의 이벤트를 발생시켜 Windows 7이나 멀티터치 어플리케이션에서 멀티터치 작업을 수행하게 한다.

시스템 구현 과정 중에 도출된 문제점이며, 이는 추후 개선을 위한 연구가 필요한 부분이 된다. 웹캠을 이용한 시스템의 구현의 경우 웹캠의 해상도와 속도의 문제 때문에 노출을 증가시켜 빛의 양을 증가시킬 경우 반응 속도가 현저하게 낮아지는 단점이 있었다. 또한 필름을 이용한 차단으로 완전하게 가시광선을 차단하지 못했기 때문에 가끔 포인터의 방향이 뒤며 손을 인식하지 못하는 문제가 발생했다. 반응 속도 개선을 위해서는 하드웨어의 개선 및 알고리즘의 개선이 필요하다. 입력 영상은 1초에도 수십 번씩 새로운 정보를 받아들이기 때문에 처리 과정이 오래 걸린다면 사용자의 입력을 그 때 그 때 피드백 하지 못한다는 커다란 결점이 발생하게 된다. 따라서 영상 처리의 속도 문제는 멀티 터치 커다란 쟁점 중의 하나가 될 수 있다. 여기서 구현한 알고리즘은 평균 이상의 처리 속도를 내면서도 구현하기 용이한 알고리즘으로 이루어져 있다. 하지만 빛이 장애요인으로 발생하는 경우에는 카메라의 노출을 늘릴 수밖에 없어서 반응 속도가 현저하게 떨어지는 현상이 발생했다. 따라서 여기서 소개한 알고리즘들은 최상의 선택은 아니기 때문에, 일부 알고리즘을 더 뛰어난 성능의 알고리즘으로 대체함으로써 반응 속도와 정확성에 대한 개선이 가능할 것이다. 또한 모폴로지 등을 사용하여 너무 작게 인식되는 포인터를 처리하게 하여 성능 향상을 꾀할 수도 있을 것이고, 일정 이상의 크기의 객체의 경우 처리를 하지 않도록 처리하여 오작동을 방지하며 신뢰성을 높이는 방법이 존재한다. 앞으로 개선의 여지가 있는 부분을 향상시켜 더욱 정교한 멀티 터치 시스템을 구현할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Jeff Han, *Detecting multiple finger touches on a rear-projection surface Paper at ACMUIST2005*, <http://cs.nyu.edu/~jhan/ftir-sense/index.html>
- [2] 고성재 · 김재원, *DIPSIM을 이용한 디지털 영상처리*.
- [3] T9T9 Research Center, <http://t9t9.com/>
- [4] 정성환 · 이문호, *CxImage를 이용한 Visual C++ 디지털 영상처리*, 2007.