

논문 2011-48SP-3-6

가시광선을 이용한 터치스크린 구현에 대한 연구

(A Study on Touch-screen Development Using Visible-ray)

박준우*, 정용진**

(Junwoo Park and Yongjin Jeong)

요 약

중대형 터치스크린의 일반적인 방법으로 적외선을 이용하고 있지만 이 방법은 터치인식장치의 설치가 어렵고, 응용의 범위가 제한적이며, 멀티포인트 방식에서 좌표오류가 발생하는 문제점을 가진다. 가시광선을 이용하는 일반 카메라를 이용한 터치스크린의 경우 접촉이 일어난 위치 이외에서 접촉 물체의 색상정보를 이용할 수 있기 때문에 적외선을 사용하는 터치스크린보다 활용성이 뛰어나다. 또한 적외선 터치스크린에 비하여 설치가 간편한 장점을 가진다. 그러나 주변의 색상 및 조도에 따라서 인식 성능이 달라지고, 스크린의 반사광도 인식되는 문제점을 안고 있어 지금까지 큰 호응을 얻지 못하고 있다. 본 논문에서는 일반 카메라를 사용하는 터치스크린의 구조, 접촉 물체의 인식 및 싱글 포인트 및 멀티 포인트의 좌표 연산과정에 대하여 연구한다. 이 방법은 싱글 포인트의 터치스크린에서 적외선 카메라방식과 동일한 인식성능을 보였다. 멀티 포인트 터치스크린은 접촉 물체의 거리정보를 이용하여 기존의 터치스크린이 가지고 있는 고스트 포인트(Ghost point)를 해결하였으나, 싱글 포인트 터치스크린에 비하여 인식성능이 감소하였다. 실험 결과에 따르면 싱글 포인트 터치스크린의 수행속도를 개선할 경우 적외선 카메라방식을 대체 가능함을 알 수 있다.

Abstract

The Infrared touch method is generally used for a mid and large-size touch screen. But this method has several problems, such as difficulty with installation of a touch-object recognition device, limited application and coordinate error in multi-point touch system. Since we can take advantages of both color and local information when we use general cameras for a touch screen, a touch screen using general camera is more efficient than infrared one. It also has an advantage of easy installation of a touch-object device. However, it did not much appeal in a market because of several problems, such as color sensitivity, illumination and reflected light. In this paper, we study a method for a touch screen using a general camera and image processing method to recognize touch objects and coordinate calculation method to single and multi-point touch screen. It has the same recognition performance as an infrared touch screen for single-point method. And it does not have ghost point problem by using distance information of touch object and camera in multi-point touch system. But recognition performances of multi-point touch screen are less than single-point. If we improve execution time, this method can replace an infrared method for a single point touch screen, according to result of experience.

Keywords : touch screen, visible ray, multi-touch, ghost point

I. 서 론

터치스크린은 사용자가 화면에 손이나 특수장치를 이용하여 컴퓨터에 명령을 입력하는 접촉식 디스플레이 장치이다. 과거에 터치스크린의 사용은 산업용 제품에 한정되었으나, 최근 모바일 기기에서 터치스크린의 비중이 높아지면서 데스크탑 시장까지 그 영향력을 확대하고 있다. 또한 터치스크린의 대형화 추세에 힘입어

* 학생회원, 광운대학교 임베디드소프트웨어공학과
(Department of Embedded software, Kwangwoon University)

** 정회원, 광운대학교 전자통신공학과
(Department of Electronic and communication, Kwangwoon University)

※ 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(KU080661) 및 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2010-0014557) 지원으로 이루어졌습니다.

접수일자: 2010년9월13일, 수정완료일:2011년2월15일

중대형의 디스플레이장치를 위한 터치스크린 솔루션에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

소형의 터치스크린은 감압식, 정전용량방식, 저항막 방식을 주로 사용하고, 중대형의 터치스크린은 디스플레이장치와 터치인식장치를 독립적으로 구성하여 디스플레이장치의 크기증가에 따른 추가비용이 적은 적외선 카메라방식을 선호한다. 그러나 적외선 카메라방식은 스크린에 접촉된 손이나 특수장치의 위치정보만을 알 수 있기 때문에 멀티 포인트를 지원하는 터치스크린을 구현할 경우 고스트 포인트(Ghost point)의 문제가 발생한다. 또한 적외선 소자의 배열이 필요한 구조상의 한계로 인하여 터치인식장치가 다양한 크기의 디스플레이장치를 지원할 수 없는 문제도 있다.

고스트 포인트와 터치인식장치의 크기 문제가 존재하는 적외선 카메라방식의 터치스크린을 가시광선을 이용한 일반 카메라를 사용하는 터치스크린으로 대체가 가능하다. 일반 카메라는 입력영상에서 접촉물체의 색상을 인식할 수 있어서 터치스크린의 활용성이 넓어진다. 그리고 2D영상이 입력되어 디스플레이장치에 접촉한 물체에 대하여 카메라와 물체간의 거리 정보를 획득할 수 있기 때문에 접촉지점의 좌표연산과정에서 고스트 포인트의 제거가 가능하다. 또한 적외선 발광소자가 필요하지 않기 때문에 적외선 터치스크린에 비하여 터치스크린의 설치의 제한이 적다. 그러나 조명변화, 디스플레이장치의 출력으로 인한 오류와 같은 인식 성능의 한계 때문에 관련된 연구는 손가락을 대상으로 하는 제스처 인식에 한정되어 있고, 멀티 포인트가 가능한 터치스크린의 구현은 보고된 바가 없다.

본 논문은 기존의 손가락에 제한된 제스처 인식을 넘어서 다양한 인식장치를 사용할 수 있고, 인식장치의 디스플레이장치에 접촉된 위치를 좌표화 하여 컴퓨터의 입력장치로서의 수행이 가능한 일반 카메라방식의 터치스크린에 대하여 연구한다. II장에서는 일반 카메라를 이용한 터치스크린의 구조를 소개하고, III장에서는 카메라에 입력된 영상에서 디스플레이장치에 접촉하거나 접촉하기 위해 접근하는 물체의 윤곽을 획득하는 과정을 보인다. IV장과 V장에서는 싱글 포인트 및 멀티 포인트의 터치스크린에서 호스트에 전송될 최종좌표의 추출과정을 보인다. VI장은 구현된 터치스크린의 성능을 보이고, VII장에서 제안된 터치스크린에 대한 결론을 맺는다.

II. 카메라 방식의 터치스크린의 구조

1. 터치스크린의 하드웨어 구조

그림 1은 적외선 카메라 방식의 구조와 본 논문에서 사용한 일반 카메라를 이용한 터치스크린의 구조이다. 일반 카메라를 이용한 터치스크린은 적외선 카메라 방식과 구조가 유사하다. 일반 카메라 방식의 터치인식장치는 디스플레이장치의 상단 양 끝에 설치하고 카메라가 디스플레이장치의 중심을 바라보도록 조정한다. 이는 2개의 카메라 이외에 디스플레이장치 주변에 적외선 발광소자를 배치해야 하는 적외선 카메라방식보다 설치가 간편하고, 스크린의 크기가 증가함에 따른 추가 비용이 적다.

일반 카메라는 가시광선을 이용하기 때문에 디스플레이장치의 출력 영상이 카메라에 직접 비춰질 경우 손이나 특수장치의 인식을 방해하는 요인이 된다. 카메라와 디스플레이장치 사이의 각이 충분히 작기 때문에 보안필름을 사용하여 디스플레이장치의 출력이 카메라에 입력이 되지 않도록 한다.

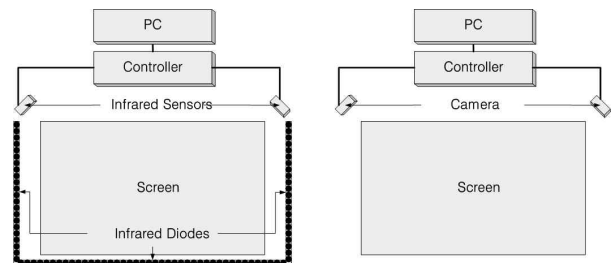


그림 1. 터치스크린의 구조: 적외선 카메라 방식(좌), 비전 카메라 방식(우)

Fig. 1. Architecture of touch screen: Infrared touch screen(left), vision touch screen (right).

2. 터치스크린의 소프트웨어 구조

카메라 방식의 터치스크린의 동작은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫째, 센서에서 데이터를 입력받고, 입력받은 데이터에서 접촉물체의 위치를 확인한다. 둘째, 접촉물체에 대한 정보를 기존에 보정과정을 통해 획득한 정보를 이용하여 대상의 위치를 각도로 변환한다. 셋째, 양측의 센서정보를 이용하여 연산된 각도를 삼각측량법을 이용하여 최종좌표로 변환하여 호스트에 전송한다.

일반 카메라를 이용한 터치스크린은 그 처리과정이 적외선 카메라 방식과 동일하지만 접촉 물체를 찾는 방

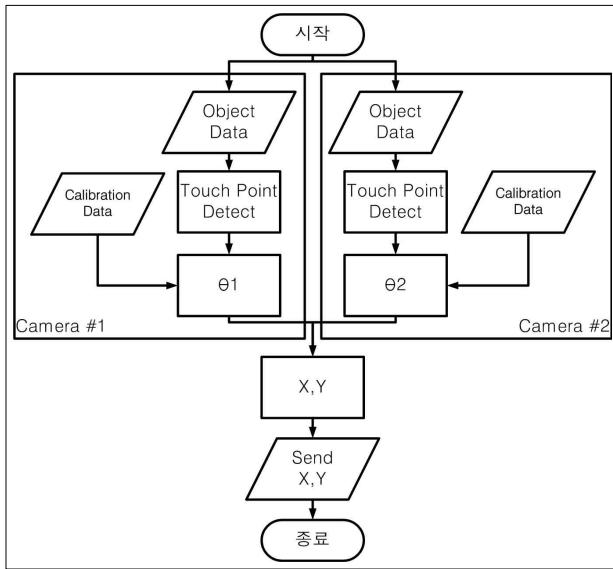


그림 2. 카메라 방식의 터치스크린의 동작
Fig. 2. Progress of touch screen using camera.

법에서 영상처리에 기반을 둔 물체인식을 사용하는 점이 다르다. 또한 멀티 포인트를 지원할 경우 다수의 접촉지점을 분리해 내는 과정이 추가된다.

III. 카메라 방식의 터치스크린 동작을 위한 물체이식

일반 카메라를 사용하는 터치스크린은 입력된 영상에서 디스플레이장치에 접촉하기 위하여 접근하는 물체나 접촉한 물체를 검출하기 위하여 그림 3과 같은 과정을 거친다.

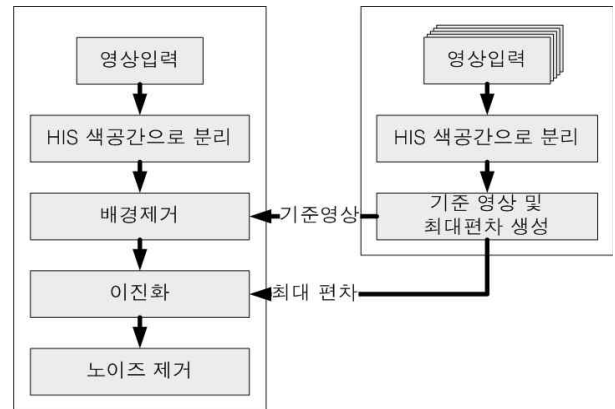


그림 3. 일반 카메라를 이용한 터치스크린의 물체인식 과정
Fig. 3. Object recognition progress of touch screen using camera.

첫 번째 단계에서는 카메라에 입력된 영상을 HSI 색공간으로 변환한다. 일반 카메라를 사용하는 터치스크린의 경우 영상을 이용하는 물체인식 시스템과 같이 주변의 배경색상과 조도에 인식성능이 영향을 받는다. 특히 물체가 디스플레이장치에 접촉하기 위하여 접근할 때 발생하는 그림자는 실제 물체의 구별을 방해하는 요소이다. 이러한 문제 때문에 입력영상을 RGB형식이나 회색조를 이용할 때 보다 조명변화에 강한 특성을 가지는 HSI 색공간으로 변환하고 색상(Hue)정보를 사용하여 입력 영상을 표현하여 물체의 인식성능을 높인다.

두 번째 단계에서는 물체와 배경을 분리해 내는 과정이다. 물체와 배경을 분리해 내기 위하여 차영상을 생성하는 방식을 사용한다. 차영상을 생성할 때에는 연속

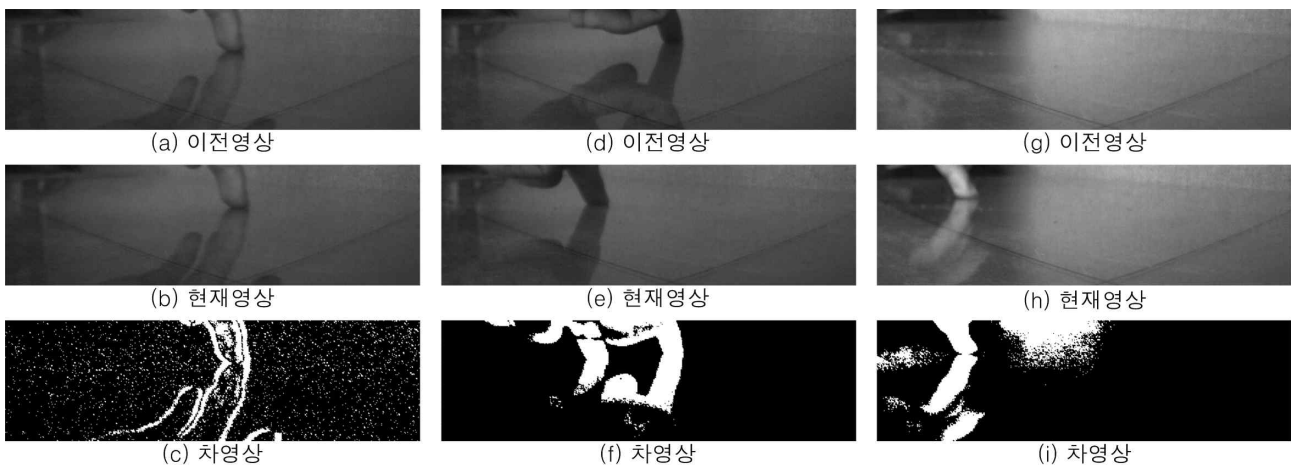


그림 4. 연속영상과 기준영상을 이용한 차영상의 예시: 연속영상(a,b,c), 연속영상(d,e,f), 기준영상(g,h,i)
Fig. 4. Example of difference image using sequence image and reference image: sequence image(a,b,c) sequence image(d,e,f) reference image(g,h,i).

적인 영상을 비교하여 물체의 움직임에 포착하는 방법과 터치가 일어나지 않은 초기상태의 영상과 입력영상을 비교하는 방법이 있다. 연속된 영상을 비교하는 방법은 그 배경제거 성능이 좋을 뿐만 아니라 노이즈의 발생이 비교적 적다.

그림 4의 (a), (b), (c)는 연속영상 (a), (b)와 그 차영상 (c)를 나타낸 그림이다. 그러나 물체의 이전위치와 현재위치가 차영상에 같이 나타나기 때문에 물체의 이동속도가 빠른 경우 그림 4의 (d), (e)와 같이 이전 프레임의 영상과 현재영상의 차이가 크게 되어 그림 4의 (f)와 같은 차영상을 가지게 된다. 이 경우 차영상 획득 이후 추가적인 처리를 통해 물체의 현재 위치를 판단해야 하는 단점이 존재한다.

그러나 기준영상을 지정하고 이와 현재영상의 차영상을 생성할 경우에는 기준영상과 현재영상이 시간적 차이가 증가할수록 노이즈가 증가할 수 있다는 단점이 존재하지만 물체의 현재 위치만이 나타나기 때문에 처리과정이 간단해진다. 그림 4의 (i)는 기준영상 (g)와 현재영상 (h)의 차영상이다. 기준영상은 n개의 초기상태 영상을 촬영하여 식 (1)과 같이 n개의 영상에 대하여 각 영상에서 x지점에 위치한 픽셀($p_{x,i}$)들의 평균값(A_x)으로 이루어진다.

$$A_x = \sum_{i=1}^n \frac{p_{x,i}}{n} \quad (1)$$

세 번째 단계는 배경이 제거된 차영상을 이진화하는 과정이다. 차영상을 이진화 할 때에 이진화 기준값을 정해야 한다. 이진화 기준값이 낮은 경우에는 입력 오

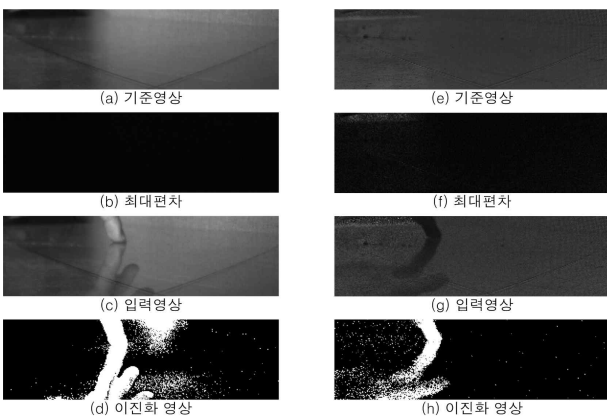


그림 5. RGB(좌), HSI(우) 색공간을 사용한 이진화 영상의 예시

Fig. 5. Example of binary images using RGB(left) and HSI(right) color space.

차까지 인식되어 물체 이외의 영상이 검출되는 문제가 발생하고, 높은 경우에는 감도가 떨어져 배경색과 유사한 물체를 인식하지 못하게 된다. 이 때문에 이진화 기준값은 카메라의 입력 오차를 허용하는 범위 내에서 가장 높은 민감도를 가져야 한다. 본 논문에서는 이진화 기준값을 식 (2)의 과정으로 산출해 낸 각 픽셀의 최대 편차로 사용한다. 최대 편차(D_x)는 n개의 초기상태 영상에서 x지점의 평균값(A_x)을 구한 이후 각 영상의 편차 중 최대값을 사용한다.

$$D_x = \max(|A_x - p_{x,1}|, |A_x - p_{x,2}| \dots |A_x - p_{x,n}|) \quad (2)$$

이 방법은 RGB와 회색조, HSI 색공간에 대하여 향상된 노이즈 제거 효과를 보인다. 그림 5는 RGB와 HSI 색공간에 최대편차를 이용한 이진화를 적용한 예시이다. RGB 색공간에 적용할 경우 스크린에 비치는 잔상 이외에도 물체의 그림자까지 검출하였고, HSI 색공간에 적용한 경우에는 물체와 스크린에 비친 잔상의 일부분만을 검출한다. 그러나 물체와 배경의 색상이 유사한 경우에는 RGB나 HSI 색공간 모두 이진화 영상에 물체가 검출되지 않는다. 그러나 HSI 색공간은 배경이 검은 색에 가까운 경우 기준영상에서 생성된 최대 편차가 큰 값으로 형성되어 물체가 차영상에 나타나지 않는 단점이 있다.

네 번째 단계는 이진화된 영상에서 노이즈를 제거하고 물체의 윤곽에 가까운 영상을 획득한다. 이진화 영상은 움직임이나 기타 요소로 인하여 노이즈가 검출된다. 다수의 노이즈는 물체 인식 이후 단계에서 불필요한 연산을 초래하기 때문에 노이즈의 수를 줄이거나 완전히 제거하도록 한다. 노이즈는 대부분이 임펄스 노이즈로 구성되어 있기 때문에 미디언 필터나 가우시안 필터를 사용한 이후 다시 이진화하는 방법으로 노이즈의 제거가 가능하다. 미디언 필터로 노이즈를 제거할 경우 결과 영상에서 물체의 경계가 명확하게 나타나지 않아 좌표 연산과정에서 오류가 발생하는 단점이 있다. 이에 비하여 가우시안 필터처리 이후 이진화를 한 경우 물체의 영역이 뚜렷하게 나타나 물체의 좌표연산과정에서 오류가 적어진다.

IV. 싱글 포인트 터치스크린

1. 영상에서의 좌표 획득

일반 카메라는 2차원의 영상을 출력하기 때문에 물체가 디스플레이장치에 접촉하였을 경우 입력 영상에서 물체의 가로축 위치(X_C)를 찾기 이전에 세로축 위치(Y_C)를 확인한다. 중대형의 터치스크린의 경우 연산과정에서의 작은 오차가 결과에서 크게 나타나기 때문에 접촉 좌표를 구하는데 사용되는 가로축 값에 대한 정확도는 매우 중요하다. 그러나 물체가 스크린에 수직으로 접촉되지 않고 기울어져 있을 경우 영상에서 접촉지점의 세로축 값에 따라서 접촉지점의 가로축 값이 변하게 된다. 따라서 접촉 지점에 대한 가로축 값을 구하기 이전에 세로축 값을 구하는 과정이 선행 되어야 한다.

접촉지점의 세로축 좌표(Y_C)를 구하는 과정은 물체의 실제 이미지와 디스플레이장치에 반사된 이미지는 서로 대칭이 되는 성질을 이용한다. 그림 6은 세로축 좌표를 찾는 과정을 나타내는 그림으로 세로축 위치를 달리하여 실제 이미지와 실제 이미지의 상하를 반전시킨 이미지를 겹쳤을 때의 유사성을 측정하여 가장 높은 유사도를 가지는 세로축 지점을 찾는다.

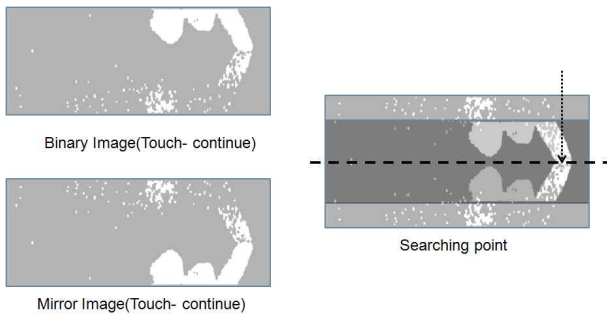


그림 6. 터치 영상의 세로축 좌표 측정 과정
Fig. 6. Progress of finding Y axis in touch image.

2. 최종 좌표연산

그림 7은 카메라 영상에서 획득한 좌표(X_C, Y_C)의 물리적인 의미를 나타낸다. 카메라(C)에서 접촉지점(P)에 대한 가로축 좌표 $X_{(C,P)}$ 는 두 카메라를 잇는 선분으로부터의 거리이고, 세로축 좌표 $Y_{(C,P)}$ 는 카메라에서 접촉지점까지의 거리를 정보를 가진다.

$$X = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_1 + \tan\theta_2} \times WIDTH \quad (3)$$

$$Y = X \tan\theta_1 \quad (4)$$

각 카메라에서 접촉지점의 가로축 좌표가 확인이 되면 X 좌표는 두 카메라를 연결한 선분과 카메라와 터

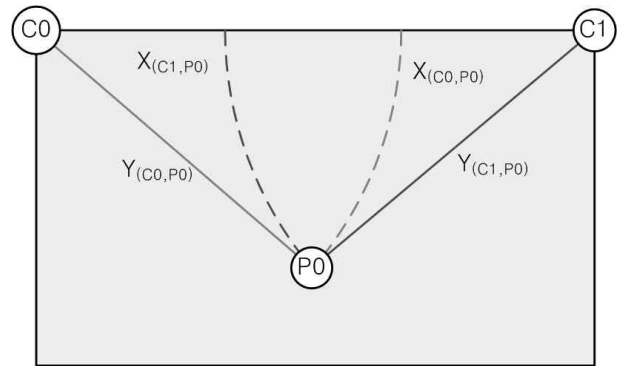


그림 7. 접촉지점에 대한 X,Y 좌표
Fig. 7. X,Y axis of touch point,

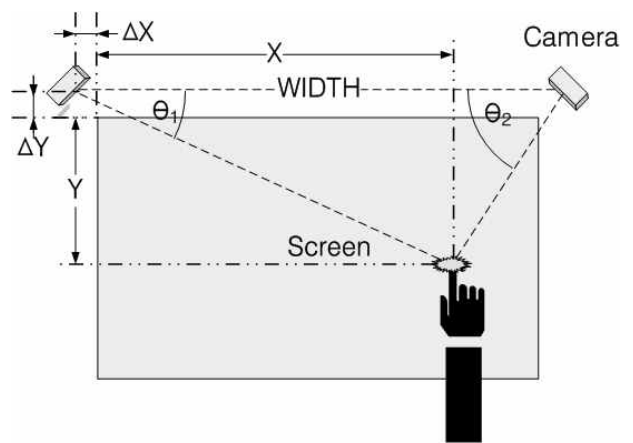


그림 8. 접촉지점의 최종좌표 연산
Fig. 8. Calculate axis of touch point.

치 물체의 위치를 잇는 선분의 각도 θ_1, θ_2 로 변환이 가능하고, 이를 선분의 길이(WIDTH)를 이용하여 식 (3)과 식 (4)의 과정을 거쳐 호스트에 전송하게 될 물체의 접촉이 발생한 지점의 좌표(X,Y)를 산출 할 수 있다.

V. 멀티 포인트 터치스크린

1. 영상에서 좌표 획득

멀티 포인트를 지원하는 터치스크린을 구성하기 위해서는 입력 영상에서 다수의 접촉지점을 정확히 구분하여야 한다. 이진화 영상에서 검출된 물체 1개마다 1개의 접촉지점을 가질 경우 각각의 접촉지점에 대하여 싱글 포인트 방식의 처리과정을 수행 할 수 있으나, 1개의 물체가 다수의 접촉지점을 가지는 경우 위의 방식은 다수의 접촉지점을 찾지 못하는 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위하여 영상에서 접촉지점으로 가능성이 있는 후보지점을 모두 찾고 이들 중 실제 접촉이 이루

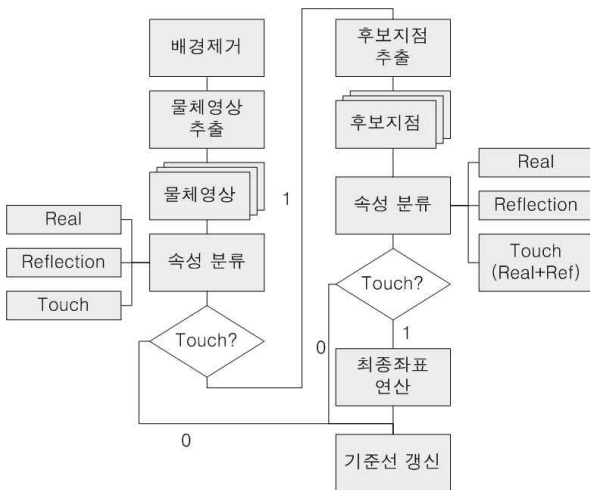


그림 9. 멀티 포인트 터치스크린의 처리과정
Fig. 9. Progress of multi-touch screen.

어진 분할영상을 찾아서 접촉지점의 좌표를 찾는 전략을 사용한다. 그림 9는 멀티 포인트를 지원하기 위한 영상의 처리과정을 나타낸 순서도이다.

가. Real, Reflection, touch 구분

멀티터치 스크린에서는 이진화된 영상에서 물체의 영상은 3가지의 속성 중 한가지에 속하게 된다. 실제 이미지(Real image)는 그림 10의 (b)-(ㄱ),(ㄴ)과 같이 물체의 실제 이미지로서 스크린 위에 물체가 떠 있는 경우이다. 반사 이미지(Reflection image)는 그림 10의 (b)-(ㄷ)의 경우로서 스크린 내부에서 생성이 되며 스크린에 비친 물체의 잔영으로 실제 이미지와 대칭을 이

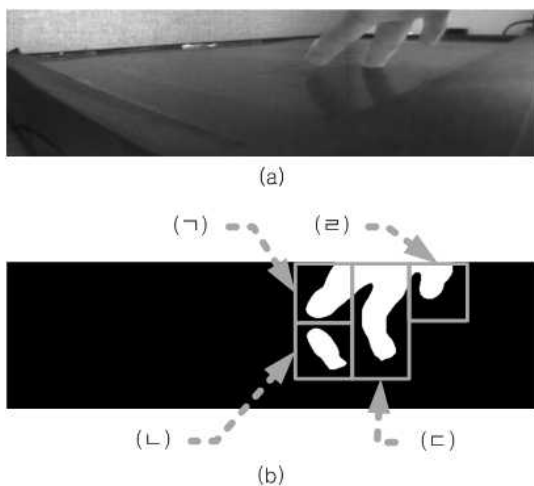


그림 10. 입력영상에서의 속성 구분 예시: 입력영상(a) 속성 구분(b)
Fig. 10. Example of define state in input images: original image(a), state(b).

룬다. 마지막으로 터치 이미지(Touch image)는 그림 10의 (b)-(ㄷ)과 같이 물체가 디스플레이장치에 접촉하였을 때 검출되는 영상으로서 실제 이미지와 반사 이미지가 결합된 형태를 가진다.

나. 영상 분할

하나의 터치 이미지를 검출하였을 경우 다수의 포인트가 존재하는 경우가 있으므로, 해당 물체에서 포인트의 개수를 확인하는 작업이 필요하다. 그림 11의 (a)와 같이 하나의 터치 이미지에서 다수의 접촉지점이 존재하는 경우에 접촉지점 사이에는 터치 이미지가 존재하지 않는 영역이 존재한다. 따라서 접촉 지점은 해당 위치에서 각각의 물체 영상을 갖고 접촉 지점과 멀어질 때 각각의 물체 영상이 합쳐져 하나의 영상으로 되는 양상을 보인다. 결국 하나의 물체 영상에서 접촉 지점에 접근할 경우 물체 영상이 분기되는 지점을 찾으면 접촉지점이 될 가능성이 있는 후보 영상을 확인 할 수 있게 된다.

다수의 접촉이 이루어진 물체의 영상을 살펴보았을 때, 실제 이미지에서 분기점은 물체의 외곽선이 세로축 상으로 증가에서 감소 추세가 되는 지점이고, 반사 이미지에서 분기점은 감소에서 증가 추세가 되는 지점이다. 실제 이미지와 반사 이미지를 분기점을 기준으로 가로 분할하면 이들은 다시 실제 이미지, 반사 이미지. 터치 이미지의 3가지 속성을 가진 영상들로 분류가 된다.

그림 11은 입력된 영상에서 멀티 포인트를 검출하는 과정을 나타낸 그림이다. 입력된 영상은 (b)과 같이 실제 이미지(R)와 반사 이미지(I)로 분할된다. 각 분할된 이미지의 외곽선에서 실제 이미지는 상승-하강 지점을, 반사 이미지는 하강-상승 지점을 찾아서 영상을 세로로

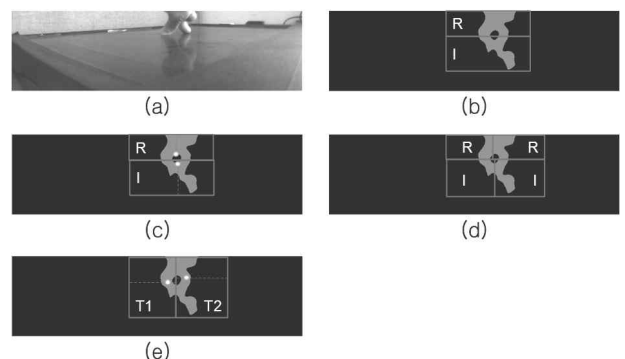


그림 11. 다중 접촉지점 영상의 접촉지점 분할 과정
Fig. 11. Progress of image division in multi-touch point image.

분할한다. 세로로 분할된 이미지는 각각 접촉지점을 가질 확률이 있는 후보 영상이 되고, 이들의 속성을 분석하여 접촉 지점의 Y좌표를 찾는다.

다. 접촉지점의 추출

실제 이미지와 반사 이미지의 유사성을 이용하는 방법은 실제 영상과 반사 영상이 수직으로 연결된 경우 세로축 좌표의 오류가 심하다는 단점이 있다. 이 문제는 세로로 분할된 영상에서 터치지점을 찾을 경우에도 발생한다. 이 때문에 실제 이미지와 반사 이미지의 유사성을 이용하는 방법을 대체하여 원 영상에서의 명암 변화를 관측하는 방법을 사용한다.

반사광의 경우 보안필름에 상이 맺히기 때문에 특정 범위의 시야각이 되지 않을 경우 흑색으로 변하는 보안 필름의 특성으로 인하여 반사광의 명암이 어두워진다. 따라서 터치 이미지 영역의 명암을 비교하였을 때 실제 이미지와 반사 이미지의 접점 즉 물체의 터치지점에서 명암의 변화가 크게 나타난다. 명암을 비교하는 방법은 멀티 포인트를 찾는데 적합할 뿐만 아니라 접촉 지점을 찾는 시간을 단축할 수 있다. 그러나 물체의 색상변화가 심하거나 주변 조명이 어두워서 물체와 반사광의 구분이 힘든 경우 오류를 일으킬 가능성이 있다.

그림 12는 새롭게 제안된 좌표 검출 방법을 나타낸다. 이진화 영상에서 접촉지점을 가지는 후보영상을 검출한 뒤 회색조 영상에서 후보영상에서의 물체 영역의 명암 변화를 관찰한다. 명암변화는 식 (5), (6), (7)과 같이 가로 라인에서 명암의 평균값(M_y)을 구하여 인접한 위치에서의 평균값의 차이(ΔM_y)중 최대값을 가지는 위치를 세로축 좌표로 설정한다.

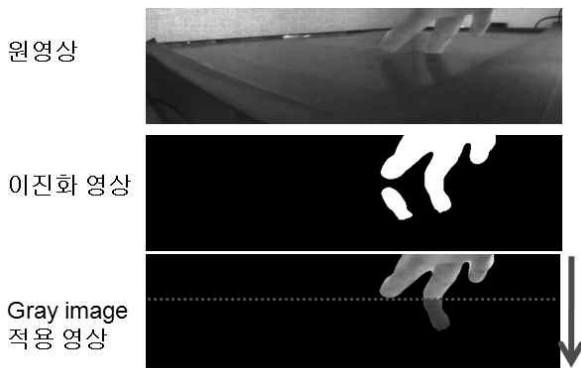


그림 12. 회색조 영상을 이용한 세로축 좌표 측정
Fig. 12. Find horizontal axis using Gray-image.

$$M_y = \text{mean}[P_{(\min, y)}, P_{(\min + 1, y)} \cdots P_{(\max, y)}] \quad (5)$$

$$\Delta M_y = M_y - M_{y-1} \quad (6)$$

$$TP = \max[\Delta M_{\min}, \Delta M_{\min + 1} \cdots \Delta M_{\max}] \quad (7)$$

라. 기준선 설정

이진화 영상에서 실제 이미지와 터치 이미지를 구분할 때 그 방법에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 기준선을 설정하여 영상에서 물체의 위치에 따라 기준선을 변화하는 방법을 사용한다. 물체의 접촉이 일어나기 이전에는 반드시 물체의 실제영상과 반사광이 존재하고, 접촉지점의 세로축 좌표는 실제 영상과 반사광 사이에 존재한다. 이러한 성질을 이용하여 영상에서 기준선을 정하기 위한 3가지 동작을 규정지을 수 있다.

- 실제 이미지만 존재: 기준선이 실제 이미지의 최저 지점 아래로 설정한다.
- 실제 이미지와 반사 이미지 존재: 기준선이 실제 이미지와 반사 이미지 사이에 있도록 설정한다.
- 터치 이미지 존재: 기준선이 접촉된 위치를 지나게 설정한다.

현재 영상의 속성에 의해 설정된 기준선은 다음영상에 적용되어 물체의 실제 이미지와 반사 이미지, 터치 이미지를 구분하게 된다.

2. 최종 좌표 연산

각각의 카메라에서 접촉 좌표를 찾은 이후에 이들을 조합하여 호스트에 보내게 될 좌표를 생성한다. 싱글 포인트 방식은 각 카메라의 영상에서 하나의 좌표가 나오기 때문에 별도의 과정 없이 최종좌표의 연산이 가능하다. 그러나 멀티 포인트 방식은 카메라와 2개의 접촉 물체가 일직선이 되는 경우에는 일직선상의 카메라에서 1개의 좌표를, 다른 카메라에서 2개의 좌표를 찾을 수 있기 때문에 좌표 조합의 생략이 가능하지만 양측 카메라에서 모두 다수의 접촉 좌표가 출력될 경우 이들의 조합으로 실제 접촉 좌표를 선택해야 한다.

가. 멀티터치방식의 좌표 오류

기존의 멀티 포인트 터치스크린에서는 카메라에서 출력된 좌표가 이전시간 좌표와 비교하였을 때 그 차이가 가장 작은 값을 선택하였다. 이러한 방법은 단일 점

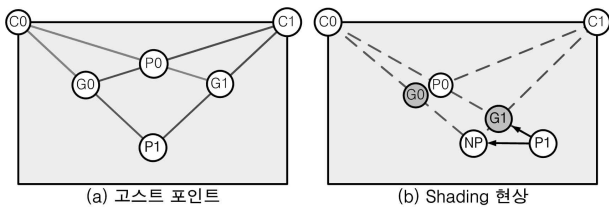


그림 13. (a)고스트 포인트의 생성과 (b)고스트 포인트로 인한 오동작(우)
 Fig. 13. (a)Create Ghost-point and (b)the problem of Ghost-point(right).

축으로 시작해야 정상적으로 작동하며, 카메라와 2개의 접촉 물체가 일직선이 되어 하나의 좌표가 출력된 후 물체의 움직임으로 다시 2개의 좌표가 출력되는 경우 각 물체에 대한 좌표를 정확하게 찾지 못하고 고스트 포인트를 실제 좌표로 인식하여 잘못된 좌표를 연산하는 문제점이 있다. 그림 13의 (a)는 고스트 포인트 문제에 대한 그림으로 2개의 접촉지점 P0, P1을 연산할 때 고스트 포인트 G0와 G1이 항상 존재한다. 이 때문에 그림 13의 (b)와 같이 2개의 접촉지점이 카메라와 일직선인 상태에서 벗어나는 경우 P1이 이동한 실제 터치지점인 NP와 G1중 P1과의 거리가 가까운 G1을 선택하여 오류가 발생한다.

나. 일반 카메라를 이용한 고스트 포인트 제거

일반 카메라를 이용한 터치스크린에서 접촉지점의 좌표는 항상 영상에서 물리적으로 카메라와 접촉물체간의 대략적인 거리를 나타내는 세로축 좌표를 포함하고 있다. 이 때문에 영상의 (X_c, Y_c) 좌표의 관계성을 이용하여 고스트 포인트의 제거가 가능하다. 2개의 터치 지점이 존재할 때 X_c 와 Y_c 를 그 크기에 따라 H(High), L(Low)로 구분할 수 있다. 그림 14 (a)에서 카메라 C0에서 관측되는 P0의 위치는 $\{X_{(c_0,p_0)}, Y_{(c_0,p_0)}\} = \{H,L\}$ 으로 나타낼 수 있고 C1에서 관측되는 P0의 위치는 $\{X_{(c_1,p_1)}, Y_{(c_1,p_1)}\} = \{L,H\}$ 로 나타낼 수 있다.

표 1. 접촉지점의 위치관계에 따른 좌표출력
 Table 1. Output of location relationship.

	P0		P1	
	C0	C1	C0	C1
(a)	H,L	L,H	L,H	H,L
(b)	L,L	L,L	H,H	H,H
(c)	L,L	L,H	H,H	H,L
(d)	L,H	L,L	H,L	HH

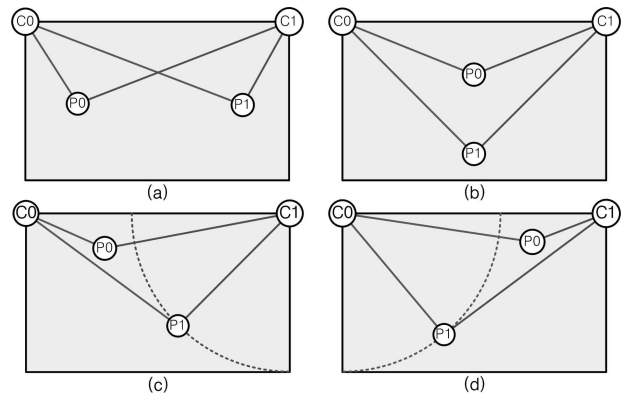


그림 14. 접촉 포인트가 2개인 경우의 위치관계
 Fig. 14. Location relationship of dual touch point.

2포인트의 위치관계는 그림 14와 같이 4가지의 경우를 예상할 수 있고, 이들의 경우에 대하여 앞서 소개한 표현으로 2개의 접촉지점을 표 1에 정리하였다.

(a)의 경우는 2개의 포인트가 서로 수평선상에 위치한 경우로서 P0는 P1보다 높은 가로축 좌표값을 가지면서 C0에 가까운 경우이다. (b)의 경우는 P0와 P1이 수직선상에 위치하여 P0가 X_c 좌표, 카메라와의 거리인 Y_c 좌표에서 모두 P1보다 낮은 값을 가진다. (c)는 (b)의 경우와 유사하지만 P1이 P0보다 카메라 C1에서 거리가 더 먼 경우이고, (d)는 P0가 P1보다 카메라 C0에서 거리가 더 먼 경우이다. 이들의 관계를 카메라에서 출력되는 좌표를 기준으로 살펴보았을 때, C0와 C1에서 검출된 접촉 지점의 좌표 중 낮은 X_c 값을 가지는 지점들과 높은 X_c 값을 가지는 지점들의 조합으로 (b), (c), (d) 경우의 접촉 좌표를 찾을 수 있다. (a)의 경우에는 C0에서 서로 반대되는 표현 값을 가지는 좌표의 조합으로 접촉 좌표를 찾을 수 있기 때문에 고스트 포인트의 생성 없이 좌표조합이 가능하다.

2개의 좌표가 동일한 Y_c 좌표를 가지는 경우에는 이전 영상에서의 접촉 좌표를 이용하여 차이가 최소화 되는 지점의 조합으로 현재의 좌표를 찾는 방법을 사용한다.

제스처를 인식하기 위해서는 접촉 지점의 좌표와 함께 해당 접촉 지점의 이동성도 고려하여야 한다. 즉 P0 지점에서 터치가 시작한 이후 P1지점으로 이동한 이후에도 처음 터치는 동일한 물체가 이동했음을 인지하고 있어야 한다. 이를 위하여 기존의 터치스크린에서 사용되고 있는 운동량을 비교하는 방식을 사용하여 물체의 이동을 추적하였다.

VI. 구 현

1. 실험환경

터치스크린의 성능은 좌표오차, 접촉 오류, 동작속도로 분류할 수 있다. 좌표오차는 물체가 접촉한 지점과 이 지점을 디스플레이장치에 나타내었을 경우의 오차를 말한다. 접촉오류는 물체의 접촉상태를 잘못 인식하는 경우이다. 이 외에도 민감도와 चे스처 인식률 등의 요소가 있는데 위의 3가지 항목들의 조합으로 설명이 가능하다.

구현된 터치스크린의 성능 측정을 위하여 24인치 LCD 모니터와 700 X 200의 해상도를 가진 일반 카메라를 사용하였고, 디스플레이장치의 출력이 카메라에 직접 입력이 되게 하지 않기 위하여 3M社의 보안필름을 부착하였다. 호스트는 Intel社의 E7400(2.8GHz) 프로세서를 사용하고 3GB RAM환경에서 구현하였으며 MFC를 기반으로 한 전용 프로그램으로 터치스크린의 성능을 측정하였다. 실험에 사용된 디스플레이장치의 해상도는 1600 X 1200 이다. 그림 15는 최종 완성된 환경이고, 그림 16과 그림 17은 검증을 위해 개발한 터치

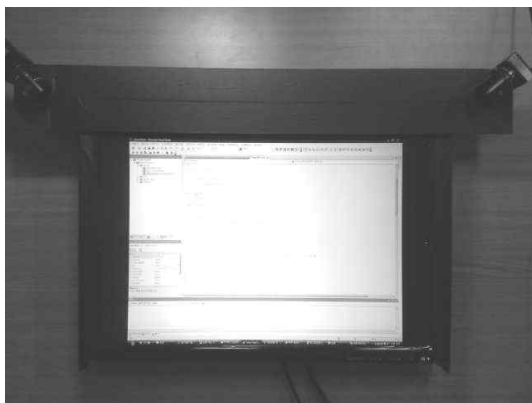


그림 15. 실험 환경
Fig. 15. Experiment environment.

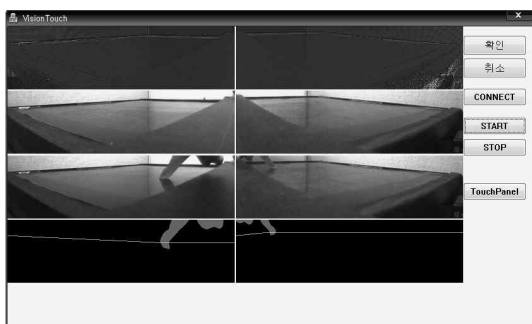


그림 16. 검증용 프로그램
Fig. 16. Verification program.

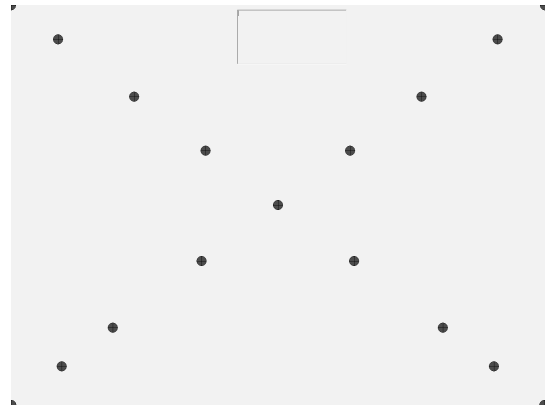


그림 17. Calibration 기준점
Fig. 17. Reference point of calibration.

스크린 전용 프로그램과 전용 프로그램에서 좌표 보정 작업(Calibration)을 수행하는 경우 좌표 보정의 기준점을 스크린 상에 나타낸 그림이다.

2. 싱글 포인트 터치스크린

싱글 포인트에서 위치에 따른 좌표 오류는 표 2와 같다. 좌표 오차를 측정하기 위하여 Calibration 과정에서 접촉 기준점을 표본 수집의 대상으로 하여 동일한 지점에 100번 접촉하였다. 위치를 다르게 한 접촉 시도에서 접촉을 인식하지 못하는 경우는 발생하지 않았으며, 우측 상단을 제외한 모든 부분에서 Calibration 기준좌표와 접촉 지점의 좌표 연산 결과 사이에 10픽셀(Pixel)이내의 오차가 있었다. 10픽셀 내의 좌표 이동은 손이나

표 2. 싱글 포인트 터치스크린의 인식률 및 오차
Table 2. Recognition and axis error of single point touch screen.

위치	인식률	좌표오차(pixel)
좌상	100%	±6
좌하	100%	±7
우상	100%	±11
우하	100%	±7
중앙	100%	±7

표 3. 싱글 포인트 터치스크린의 수행시간
Table 3. Execution time of single point touch screen.

연산과정	수행시간(ms)
HSI 변환	25.729
차영상 생성	10.543
노이즈 제거	109.669
좌표 연산	25.942
최종좌표 연산	0.005
합계	171.888

특수 장치가 디스플레이 부분에 접촉하였을 경우 접촉면 안에 존재하므로 허용 가능하다.

표 3은 싱글 포인트 터치스크린의 수행시간을 정리한 표이다. 카메라 입력을 제외한 전체 수행시간이 약 172ms정도 이는 5.8FPS의 속도로 터치스크린으로 동작하기에 부족한 성능을 보였다. 만약 2개의 카메라영상에 대한 좌표연산이 병렬처리 되지 않고 순차적으로 진행될 경우 최종좌표가 연산되기까지 약 344ms의 수행시간이 필요하다. 전체 수행 시간 중 가우시안 필터 처리가 전체 수행시간 중에서 63.80%를 차지하였다. 그리고 좌표연산단계는 영상에서 터치가 발생하지 않아도 동일한 수행 시간이 필요하였다.

인식성능과 수행시간의 측정 결과 일반 카메라를 이용한 터치스크린은 싱글 포인트의 터치스크린으로 기능을 수행 할 수 있다. 그러나 실시간 수행이 불가능하기 때문에 하드웨어로 구성이 필요하다.

3. 멀티 포인트 터치스크린

표 4는 멀티 포인트 터치스크린의 인식성능을 싱글 포인트 터치스크린과 동일한 방식으로 나타내었다. 그 결과 좌표오차는 싱글 포인트 터치스크린에 비하여 좌표오차가 증가하고, 인식률이 감소함을 확인하였다. 이는 멀티 포인트 방식에서 제안된 접촉 상태 판별법 및 회색조 이미지를 이용한 접촉지점 검색 방법에 의한 오류로서 새롭게 제안된 방식의 개선이 필요함을 확인할 수 있다.

멀티 포인트 터치스크린의 수행시간을 처리 과정별로 표 5에 정리하였다. 싱글 포인트 방식과 비교해 보았을 경우 물체 인식 단계까지의 수행시간은 큰 차이가 없었으나, 전체 수행시간이 감소하는 경향을 보였는데 이는 레이블링 과정 중 영상에서 처리영역을 확인하여 다음 단계에서 선택된 영역만을 처리하였기 때문이다.

제스처 인식은 5.2절에서 소개한 터치포인트의 위치

표 4. 멀티 포인트 터치스크린의 인식률 및 오차
Table 4. Recognition and axis error of multi point touch screen.

위치	인식률	좌표오차(pixel)
좌상	96%	±15
좌하	98%	±10
우상	93%	±10
우하	99%	±7
중앙	98%	±5

관계가 변화하면서 멀티 포인트의 연산이 정상적으로 수행됨을 확인할 수 있다. 특히 회전 제스처는 터치포인트의 위치관계를 모두 포함하고 있다. 시계방향 회전 제스처의 경우 그림 14의 (b)-(d)-(a)-(c)-(b)의 순서로 위치관계가 변하고, 반시계방향 회전 제스처는 (b)-(c)-(a)-(d)-(b)의 순서로 위치관계가 변화한다. 표 6은 멀티 포인트 터치스크린의 제스처 인식성능을 측정 한 결과로서 확대, 축소 제스처는 임의의 두 지점에서 서로 멀어지거나 접근하는 방향으로 10cm이동하여 20번을 수행한 결과이고, 회전 제스처는 시계방향과 반시계방향으로 원을 그리는 결과이다. 대부분의 제스처가 정상적으로 인식되는 경우가 50%를 넘어감으로 본 논문에서 제안한 위치관계를 기반으로 한 좌표연산방식이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있다. 그러나 고정좌표의 인식성능에 비하여 제스처의 인식성능이 크게 떨어지는 것은 세로축좌표(Y_C)의 검색과정 오류로 인하여

표 5. 멀티 포인트 터치스크린의 수행시간
Table 5. Execution time of multi point touch screen.

연산과정	수행시간(ms)
HSI 변환	25.510
차영상 생성	10.518
노이즈 제거	109.482
레이블링	12.579
속성 판단	0.013
영상 분할	0.518
레이블링	1.379
속성 판단	0.013
좌표 연산	0.077
기준선 생성	0.023
최종 좌표 연산	0.005
합계	160.117

표 6. 멀티 포인트 터치스크린의 제스처 인식성능
Table 6. Gesture recognition performance of multi point touch screen.

	인식률	이동방향
세로 확대	78%	↕
세로 축소	83%	
가로 확대	80%	↔
가로 축소	76%	
회전1	82%	↻
회전2	80%	↻
대각선1 확대	84%	↗↘
대각선1 축소	81%	
대각선2 확대	86%	↖↙
대각선2 축소	80%	

잘못된 기준선이 생성되어 다음 영상에서 접촉지점을 찾지 못하는 현상이 발생하였기 때문이다. 그리고 확대 동작 보다 축소 동작에서 오류가 더 많아지는 현상이 나타나다. 물체가 디스플레이장치에 접근할 때 이진화 영상에서 나타난 물체의 반사광이 작아서 노이즈 제거 과정에서 반사광이 제거된다. 이 때문에 실제로 물체가 접촉되었으나 터치이미지로 판별이 되지 않았다.

일반 카메라를 이용한 터치스크린은 멀티 포인트로 수행할 때 고스트 포인트를 효과적으로 제거하여 좌표 오류가 발생하지 않았으나, 접촉지점을 찾는 과정에서 인식성능이 적외선 카메라방식의 터치스크린보다 떨어졌다.

VII. 결 론

일반 카메라를 이용한 터치스크린은 기존의 적외선 카메라 방식과는 달리 2D 영상을 이용하여 접촉 좌표를 획득하기 때문에 터치 상태에 대하여 다른 접근이 필요하다. 본 논문에서는 일반 카메라에서 물체의 영상을 획득하기 위한 배경제거와 터치인식 알고리즘에 대하여 연구하였다.

싱글 포인트인 경우에는 접촉물체에 대하여 높은 인식률과 허용 가능한 오차를 보여 터치스크린으로의 수행이 가능하다. 멀티 포인트의 경우에는 접촉 후보군을 분류하는 작업을 수행한 후 실제 이미지와 반사 이미지간의 유사성이 훼손되기 때문에 회색조 영상을 이용하여 접촉 지점을 찾는 방법을 사용하였다. 이 방법은 멀티 터치포인트의 검출이 가능하나 싱글 포인트 검출에 사용된 방법보다 인식성능이 떨어지는 단점을 보였으나 적외선 스크린에 비하여 효과적인 고스트 포인트의 제거가 가능함을 보였다.

일반 카메라를 이용한 터치스크린은 싱글 포인트 방식에 대해서 적외선 카메라와 비교할 때 만족할 인식성능을 보여 터치스크린으로서의 수행이 가능함을 보였다. 그러나 멀티 포인트 방식은 카메라 영상에서 접촉 지점의 세로축좌표 인식과 터치상태 판별과정에서 문제점을 드러내어 상용화에 부족함을 보였다. 추후 일반 카메라 방식의 터치스크린의 더 범용적인 환경에서 수행하기 위한 배경 제거 단계와 터치상태의 판별, 좌표 인식단계에 대한 추가연구와, 수행속도의 증가를 위한 하드웨어 구성이 진행될 때 상용화가 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 정성완, 권오준, 정용진, “스트레오비전을 이용한 저전력 적외선 멀티 터치스크린 컨트롤러의 설계”, 대한전자공학회논문지, 제47권 SD편, 2호, 68-76쪽, 2010년 2월
- [2] Pak-Kiu Chung, Bing Fang and Francis Quek, MirrorTrack - A Vision Based Multi-Touch System for Glossy Display Surface, The 5th International Conference on Visual Information Engineering, July, 2008, Xi'an, China.
- [3] J. Y. Han, “Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection,” In Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.15-118, 2005.
- [4] A. D. Wilson, “TouchLight: An Imaging TouchScreen and Display for Gesture-Based Interaction,” In Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces, pp.69-76, 2004.
- [5] R.Y. Tsai, “A versatile camera calibration technique for high accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses”, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-3, pp. 323 - 344, 1987.
- [6] Agarwal, A., et al. “High Precision Multi-touch Sensing on Surfaces using Overhead Cameras”, Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP '07. Second Annual IEEE International Workshop on, pp. 197 - 200, 2007.
- [7] 정성완, 이현오, 정용진, “광학 영상 기법을 이용한 멀티 터치 스크린 컨트롤러 개발”, 대한전자공학회학술대회, 344-347쪽, 전북대학교, 대한민국, 2009년 5월
- [8] Displaybank's Research Division, “미래형 터치스크린 기술 분석 및 시장전망(내장형 터치스크린 기술과 시장)”, Displaybank, pp.12-16, 2010.

— 저 자 소 개 —



박 준 우(학생회원)
2009년 광운대학교 전자통신
공학과 학사 졸업.
2009년~광운대학교 임베디드
소프트웨어공학과
석사 재학중.

<주관심분야 : 임베디드 시스템, 통신, 신호처리>



정 용 진(정회원)
1983년 서울대학교 제어계측
공학과 학사 졸업.
1983년 3월~1989년 8월 한국전자
통신연구원.
1995년 미국 UMASS 전자전산
공학과 박사 졸업.

1995년 4월~1999년 2월 삼성전자 반도체 수석
연구원.

1999년 3월 광운대학교 전자통신공학과 정교수
<주관심분야 : 무선통신, 정보보호, SoC 설계,
영상처리 및 인식, 임베디드 시스템>