

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.167>

IIBC 2015-2-23

# 적외선 확산 투광에 의한 비장착형 공간 손가락 마우스 구현

## Implementation of non-Wearable Air-Finger Mouse by Infrared Diffused Illumination

이우범\*

Woo-Beom Lee\*

**요 약** 손-동작(Hand-Gesture) 인터페이스 기술에서 사용자의 다중 입력을 위하여 손가락 끝점(Finger end-points)의 추출은 가장 중요한 과정 가운데 하나이다. 그러나 이전의 방법들은 손 영역을 추출하고 기하학적 또는 형태학적 영상 처리 방법에 기반하여 손-동작 명령 수행을 위한 손가락 끝점 추출을 수행하고 있다. 따라서 본 논문에서는 멀티터치(Multi-Touch) 디스플레이 장치에서 사용자 입력 처리를 위해서 사용되는 적외선 확산 투광(DI: Diffused illumination) 방식을 이용하여 사용자 손가락 끝점을 추출하고, 추출된 끝점의 개수 변화 및 이동 방향에 의해서 동작하는 공간 마우스를 구현한다. 제안하는 공간 마우스는 기본적인 마우스 이벤트 처리뿐만 아니라, 확장된 사용자 멀티제스처를 위한 연속적 명령 기능을 포함한다. 구현된 공간 마우스의 성능 평가를 위해서 윈도우 웹 브라우저 어플리케이션 사용 환경에 적용한 결과 다양한 사용자 명령에 대하여 평균 90%의 성공적 결과를 보였다.

**Abstract** Extraction of Finger-end points is one of the most process for user multi-commands in the Hand-Gesture interface technology. However, most of previous works use the geometric and morphological method for extracting a finger-end points. Therefore, this paper proposes the method of user finger-end points extraction that is motivated a ultrared diffused illumination, which is used for the user commands in the multi-touch display device. Proposed air-mouse is worked by the quantity state and moving direction of extracted finger-end points. Also, our system includes a basic mouse event, as well as the continuous command function for expending a user multi-gesture. In order to evaluate the performance of the our proposed method, after applying to the web browser application as a command device. As a result, the proposed method showed the average 90% success-rate for the various user-commands.

**Key Words** : Finger Mouse, Diffused illumination, Hand Gesture, Finger End-points Extraction, Multi Touch

### I. 서 론

최근 컴퓨터 사용자 인터페이스(HCI: Human Computer

Interaction) 분야에서 사용자 명령 입력의 편리성, 다중성, 독립성, 공간적 제약성 등은 핵심 연구 사항이다. 여러 가지 사용자 입력 기술 가운데에서 기존의 멀티-터치

\*정회원, 상지대학교 컴퓨터정보공학부  
접수일자 : 2015년 1월 5일, 수정완료 : 2015년 2월 17일  
게재확정일자 : 2015년 4월 10일

Received: 5 January, 2015 / Revised: 17 February, 2015 /

Accepted: 10 April, 2015

\*Corresponding Author: beomlee@sangji.ac.kr

School of Computer Information Engineering, Sangji University, Korea

(Multi-touch) 기술에 기반 한 손-동작 인터페이스는 부가적인 입력 장치를 요구하지 않고 장치의 공간적 제약성 문제가 없다. 또한 사용자의 다중 입력이 가능하고 사용의 편리성 때문에 가장 주목 받고 있는 기술이다.

그러나 손-동작 인터페이스를 공간에서 자유롭게 사용하기 위해서는 배경으로부터 객체가 되는 손 영역을 추출하고, 실제 동작의 연동을 위한 손가락 끝점(Finger end-points)의 추출이 필수적이기 때문에 이전의 고성능 공간 마우스(Air-mouse)들은 부가적인 물리적인 장치를 손에 착용하는 센서 기반의 하드웨어형 제품이 대부분였다. 또한 비착용형 방식은 손 영역 추출과 손가락 끝점 추출을 위해서 입력되는 영상으로부터 칼라모델 변환, 채널 분리, 기하학적 정보, 형태학적 정보 등의 영상 처리 과정을 복합적으로 적용함으로써 많은 계산량을 요구한다<sup>[1][2]</sup>.

따라서 본 논문에서는 사용자의 다양한 손 동작 명령 수행을 위해서 기존의 멀티터치 디스플레이어 장치<sup>[3]</sup>에서 입력 획득이 용이한 적외선 확산 투광(Infrared Diffused Illumination) 방식의 입력 처리 방법을 적용하여 손가락 끝점 영역을 직접적으로 추출하고 사용자 명령과 연동한 공간적 제약이 없는 공간 마우스를 구현한다. 구현된 공간 마우스는 별도의 사용자 입력 장치를 요구하지 않는 장치 독립성을 제공하며 확장된 사용자 인터페이스(UI: User Interface) 서비스가 가능하다.

## II. 적외선 확산 투광 방식

본 논문에서 적용하는 적외선 확산 투광 방식은 원래 사용자 화면이 보여 지는 멀티-터치 입력 장치에서 사용자 손가락 끝점의 개수 및 이동 방향에 기반 한 명령 인터페이스를 위해서 개발되었다<sup>[3]</sup>.

프로젝터(Projector)에 의해서 투영된 화면이 반사경(Mirror)에 의해서 아크릴 수지(Plexiglas)에 투영되면, 사용자는 그 투영면 위에서 손 동작 명령을 입력한다. 손 동작 명령이 입력되는 아크릴 수지로 적외선 광원(IR LED)를 투광하면 패널 위의 손가락 터치점들은 적외선 광원에 의해서 빛이 확산하게 되고, 적외선 통과 카메라로 아크릴 수지 패널을 촬영하게 되면 적외선에 의해서 확산된 손가락 터치점의 획득이 가능하다<sup>[4]</sup>.

그림 1은 이상의 개념을 본 논문에서 구현하는 공간

마우스 시스템에 적용한 것이다. 그림 1에서 사용자는 컴퓨터 화면을 보면서 공간에서 손 동작을 취하면 손 동작을 비추는 적외선 광원에 의해서 손영역에 투과된 빛이 확산하게 되고 카메라로 확산된 영역만을 포착한다. 이때 일반적으로 사용되는 범용 카메라는 적외선 차단 필터가 내장되어 있기 때문에 입력 영상의 해상도가 떨어진다.

따라서 적외선 차단 필터가 제거된 카메라를 사용함으로써 로우패스(Low-pass) 필터 기능이 제거된 보다 선명한 영상의 획득이 가능하다. 또한 적외선 LED 광원에 의해서 반사된 적외선을 카메라 센서로 포착하게 되면 어두운 장소에서 눈으로 보이지 않은 피사체의 촬영도 가능하기 때문에 프리젠테이션 용도로 그 활용 가치가 크다.

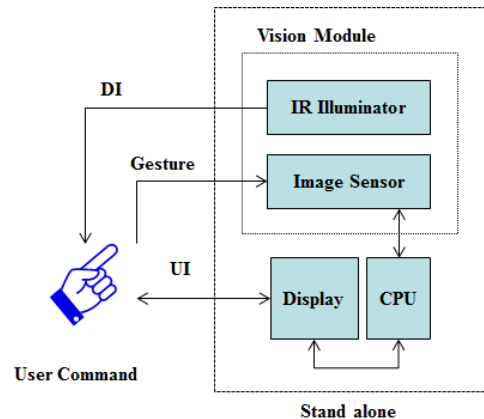


그림 1. 적외선 확산 투광 마우스 개념  
Fig. 1. Infrared Diffused Illumination Mouse Concept

특히, 스마트폰에 내장된 카메라와 광원을 변경하여 이용하는 앱을 설치하면 사용자 제스처를 인식하는 프리젠테이션 용도의 사용자 인터페이스의 개발도 가능하다.

## II. 멀티-제스처 공간 마우스 시스템

본 논문에서 제안하는 멀티 제스처 공간 마우스는 그림 2와 같이 5개의 처리 모듈로 구성된다. 카메라로부터 획득된 사용자 제스처 입력은 확산투광 방식에 의해서 사용자의 손가락 끝점이 검출되고, 검출된 끝점의 개수, 위치, 순서, 그리고 이동방향 등에 따라서 제스처 분석을

수행한다. 분석된 제스처는 정의된 마우스 또는 키보드 이벤트로 맵핑(mapping)되고, 이벤트 처리기에 의해서 맵핑된 사용자의 입력 명령을 처리한다.

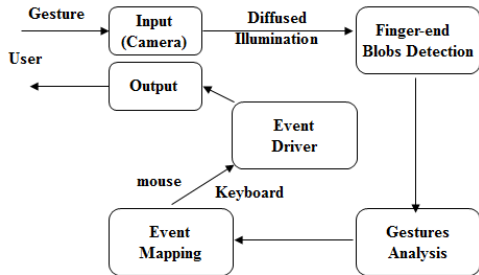


그림 2. 멀티-제스처 공간-손가락 마우스 시스템  
 Fig. 2. Multi-Gesture Air-Finger Mouse System

### III. 손가락 끝 흔적(Finger-end Blobs) 검출<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 확산 투광(DI: Diffused Illumination) 방식을 사용하여 제스처 인식을 위한 사용자 손가락 끝 점(Finger End-Points)을 검출한다. 손가락 끝 점 검출을 위해서는 카메라로 획득된 영상에 대해서 그레이 변환, 윤곽 강조, 배율 조정, 임계처리의 4 단계 영상 처리를 단계적으로 적용하여 손가락 끝 흔적을 검출한다.

그레이 변환 단계에서는 카메라로부터 전송된 RGB 24비트 프레임을 8비트 그레이(Gray) 영상으로 변환한다. 그레이 변환된 영상은 윤곽 강조(Edge enhancement)를 위해서 아래 식 (1)의 언샐 마스크(Unsharp mask) 처리를 이용한다.

$$f_{EE}(x,y) = f(x,y) \oplus (k \times f_{us}(x,y)) \quad (1)$$

where,  $f_{us}(x,y) = f(x,y) \ominus f_b(x,y)$

식 (1)에서  $f_{EE}(\cdot)$ 는 윤곽 강조 영상을 의미하고,  $f(\cdot)$ 와  $f_{us}(\cdot)$ 는 각각 그레이 레벨 원영상과 언샐 마스크 처리된 영상의 영상합( $\oplus$ ) 연산을 나타낸다. 그리고  $k$ 는 필터 상수로서 그 값이 1보다 클 경우에 High-boost 고주파 필터로 사용된다.

또한 이 때 사용된  $f_{us}(\cdot)$ 는 원영상과 블러링된 영상  $f_b(\cdot)$ 의 영상차( $\ominus$ ) 연산에 의해서 생성된다. 블러

링 영상  $f_b(\cdot)$ 를 생성하기 위해서 사용되는  $n \times n$  크기의 저주파 필터의 계수  $c(k,l)$ 는 아래 식 (2)와 같이 필터 내의 화소 수의 역수로 사용한다.

$$c(k,l) = \frac{1}{(2N+1)^2} \quad -N \leq k,l \leq N \quad (2)$$

식 (2)에서 필터 크기  $n = 2N+1$ 에 상응한다.

다음 단계로서 윤곽 강조에 의해서 감소된 손가락 끝 흔적 영역(End-points Blobs)의 신호를 확장하여 선명한 끝 흔적 영역을 획득하기 위해서 레벨 값에 따른 영상의 배율을 조정한다. 손가락 끝 흔적 영역이 강조된 영상은 사용자 제스처 분석에 사용될 손가락 끝 흔적들만을 얻어내기 위해서 아래 식 (3)에 의해서 임계 처리되어 이진 영상을 생성한다.

$$f_T(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_s(x,y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

where,  $f_s(x,y) = S \times f_{EE}(x,y)$

위 식 (3)에서  $f_s(\cdot)$ 와  $f_T(\cdot)$ 는 각각 배율 상수  $S$ 에 의해서 배율 조정된 영상과 임계값  $T$ 에 의해서 임계 처리된 이진 영상을 의미한다. 그림 3은 손가락 끝 흔적 추출을 위한 단계 별 처리 결과 영상이다.

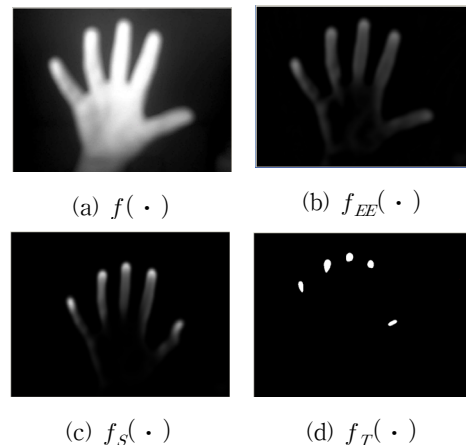


그림 3. 손가락 끝 흔적 추출 과정<sup>[5]</sup>: (a) 그레이 원영상, (b) 윤곽 강조 영상, (c) 배율 조정 영상, (d) 임계처리 영상

Fig. 3. Finger-end Blobs Extraction Processing<sup>[5]</sup>: (a) Gray Source Image, (b) Edge Enhancement Image, (c) Scaler Image, (d) Thresholding Image

이진 영상 내의 추출된 손가락 끝 흔적들로부터 중심 좌표를 계산하기 위하여 본 논문에서는 일반적인 체인 코드와 최소경계사각형을 이용한 알고리즘을 배제하고, 4장에서 설명될 흔적 영역의 화소 분포에 기반 한 통계적 방법을 이용한다. 그리고 각 흔적들의 중심점이 계산되면 사용자 제스처 인식을 위해서 흔적의 개수와 각 흔적들의 중심 좌표를 TouchData 구조체의 형식으로 관리하여 이용한다.

## VI. 사용자 제스처 인식

손가락 끝 흔적 영역의 검출이 완료되면, 사용자 인터페이스(UI)를 마우스 기능과 연동시키기 위해서는 검출된 손가락 끝 흔적들의 개수와 이동 방향에 의해서 2 단계 분류를 수행한다.

1차 분류는 손가락 끝 흔적 영역의 개수(NOFB: Number Of Finger-end Blobs)에 의해서 아래 식 (4)와 같이 사용자 제스처 명령 해석을 위한 1차 분류(Classification)를 수행한다.

$$\text{NOFBs} = 1(\text{: Move}) \mid 2(\text{: R/L Click}) \mid 3(\text{: Scroll or Web F/B}) \quad (4)$$

먼저, 마우스 이동(Move)을 위한 동작은 한 손가락을 이용하여 마우스 커서를 움직이는 동작을 의미한다. 손가락 끝 흔적 영역을 마우스 포인트로 맵핑하기 위해서는 검출된 영역으로부터 아래 식 (5)를 이용하여 흔적의 중심을 계산하여 흔적 중심(Blob center)  $B_C(\cdot)$ 를 구한다.

$$B_c(x_c, y_c) = \left( \frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right) \quad (5)$$

여기서,

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y), \quad M_{10} = \sum_x \sum_y x I(x, y), \\ M_{01} = \sum_x \sum_y y I(x, y)$$

이다. 식 (5)에서  $M_{00}$ 는 0차 모멘트이고,  $M_{10}$ 와  $M_{01}$ 는 각각  $x$ ,  $y$ 에 대한 1차 모멘트이다. 그리고  $I(x, y)$ 는 손가락 끝 흔적 영상 내의  $(x, y)$  화소 위치에서의 이진 강도 값을 의미한다. 그리고 이 방법은 Mean Shift 알고리즘<sup>[6]</sup>

에서 사용되는 윈도우 중심값 설정 방법에 상응한다.

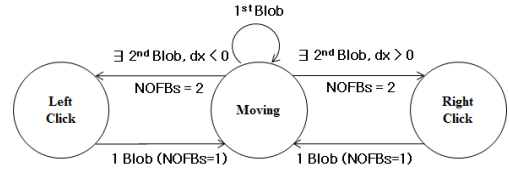


그림 4. 마우스 클릭 이벤트 처리 과정  
Fig. 4. Mouse Click Event Processing Task

둘째로, 마우스 클릭(Click)은 그림 4에 나타낸 것처럼 검지 이외의 엄지 및 중지 두 손가락을 이용하여 동작이 수행되며, 첫 번째 손가락(1st Blob)에 의한 마우스 이동 작업 중에 나타나는 두 번째 손가락(2nd Blob)의 위치에 따라 마우스 오른쪽 또는 왼쪽 클릭으로 맵핑된다.

사용자 제스처 명령 해석을 위한 2차 분류는 손가락 끝 흔적의 개수가 통상 3개 또는 그 이상으로 1차 분류되었을 경우에 수행되는 제스처 이동 방향 인식을 목적으로 한다.

마우스 스크롤(Scroll) 동작은 세 손가락 끝 영역이 검출되었을 때에 위(Up), 아래(Down)로 움직일 경우 연속적 명령(Continuous command)의 형태로서 동작이 수행되며, 웹 브라우저에서 페이지 앞/뒤로(Page Forward/Backward)의 동작은 왼쪽, 오른쪽으로 움직일 경우 일회성 명령(One-Time command)의 형태로 동작을 수행한다.

그림 5에서  $Z_C$ 는 방향성 인지를 수행하지 않는 안전 지역(Safe zone)으로서 손가락 끝 흔적들의 중심,  $\overline{B_C}$ 에서 일정 반경의 원형 지역으로 설정한다. 그리고 이 안전 지역에서  $\overline{B_C}$ 가 상( $Z_U$ )/하( $Z_D$ )/좌( $Z_L$ )/우( $Z_R$ ) 영역으로 벗어났을 경우에 해당 명령을 수행한다.

이 경우에 손가락 끝 영역은 식 (5)에서와 같이 하나의 영역에서의 중심을 의미하는 것이 아니기 때문에 아래 식 (6)과 같이 검출된 각 흔적들의 중심으로부터 흔적 영역의 중심  $\overline{B_C}$ 를 계산한다.

$$\overline{B_C}(x_c, y_c) = \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_B} B_{C(i)}(x)}{N_B}, \frac{\sum_{i=1}^{N_B} B_{C(i)}(y)}{N_B} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서  $B_{C(i)}(x)$ 는  $i$ 번째 흔적 영역  $B_C(\cdot)$ 의

$x_c$  값을 의미하고,  $B_{C(i)}(y)$ 는  $y_c$  값을 의미한다. 그리고  $N_B$ 는 검출된 손가락 끝 흔적 영역의 총 개수를 나타낸다.

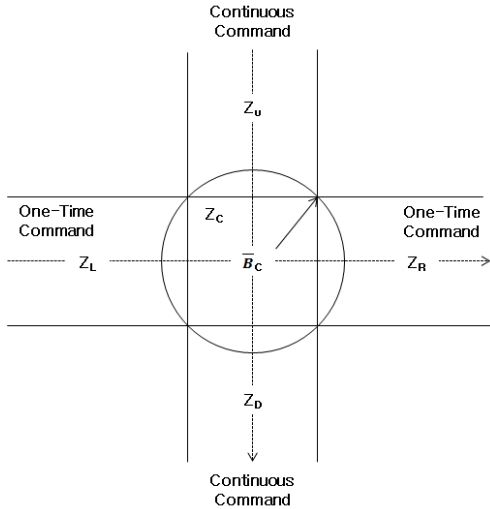


그림 5. 제스처 이동 방향 인식을 위한 인식 영역  
 Fig. 5. Recognition Zone for Recognizing Gesture Moving Orientation.

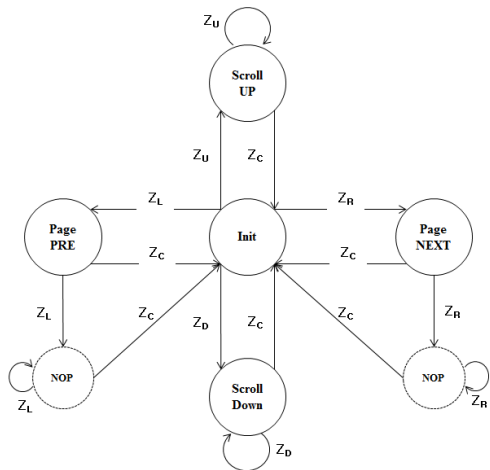


그림 6. 제스처 이동 방향 인식을 위한 상태 천이도  
 Fig. 6. State Transition Diagram for Recognizing Gesture Moving Orientation.

그림 6은 1차 분류에서 그림 5의 각 영역 인식을 위한 상태 천이도를 나타낸다. Init 상태는 초기 안전 영역에 사용자 제스처가 존재하는 상태를 의미하는 것으로서 고정된 영역을 의미하는 것이 아니라 사용자의 명령 완료 후에는 재설정되는 가변 영역을 의미한다.

즉, 다른 흔적 영역의 개수에서 3개 이상의 흔적 영역으로 1차 분류된 경우에 새롭게 설정된다. 그리고 상/하 영역이 인식된 후에 안전 영역으로 회귀하지 않고 해당 영역에 제스처가 머무를 경우에는 지속적 명령을 수행하도록 되어 있다. 또한 좌/우 영역으로의 이동이 인식된 후에는 1회 명령 수행 후에 사용자 제스처 명령이 해당 영역에 머무를 경우에는 NOP(No Operation)을 수행함으로써 더 이상의 동일 명령을 수행하지 못하도록 한다.

## VI. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 사용자 제스처 인식 기반의 공간 마우스 인터페이스 시스템의 성능 평가를 위해서 윈도우 7 환경에서 Intel社의 컴퓨터 비전 라이브러리인 OpenCV<sup>[7]</sup>와 멀티터치 오픈 소스인 Touchlib<sup>[8]</sup>을 기반으로 C++ 언어를 이용하여 구현하였다.

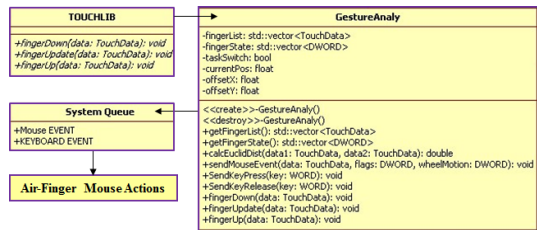


그림 7. 윈도우 이벤트 연동을 위한 클래스-다이어그램  
 Fig. 7. Class-Diagram for Windows Events Association

본 시뮬레이션에서 사용하는 Touchlib는 멀티터치 입력 장치 위에서 적외선 흔적의 추적(tracking)과 손가락 다운(down), 놓기(released), 이동(moved) 등의 멀티터치 이벤트를 그림 7과 같은 윈도우 프로그램에서의 마우스 혹은 키보드 이벤트와 연동하는 기능을 제공한다<sup>[8]</sup>. 그림 7은 본 논문에서 구현한 공간 마우스 시스템의 이벤트 연동을 위한 클래스-다이어그램을 나타낸다.

실제 사용자 인터페이스로서의 유효성 검증을 위해서 그림 8과 같이 일반적인 이동, 왼쪽 클릭, 오른쪽 클릭의 마우스 이벤트와 웹 브라우저 프로그램에서 상/하 스크롤링과 페이지 앞/뒤 이동 명령을 여러 사용자를 대상으로 실험하였다.

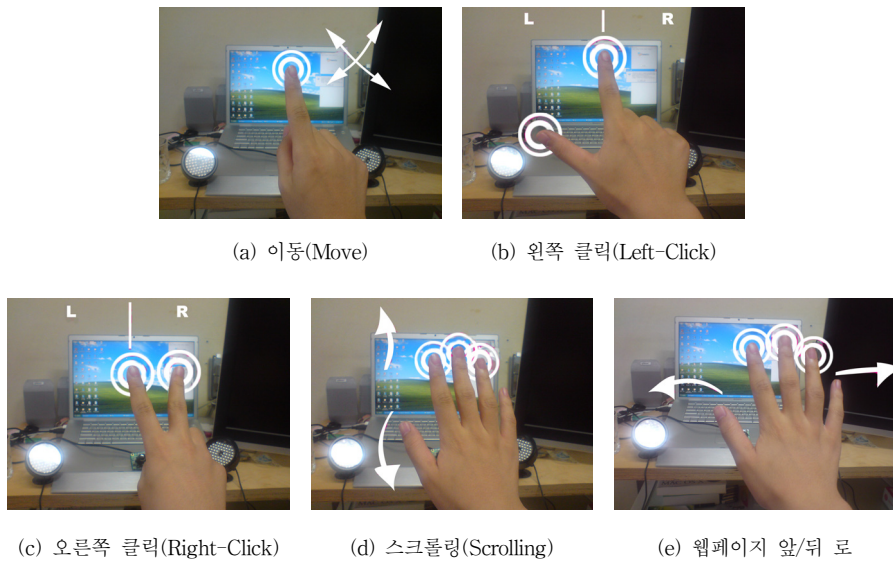


그림 8. 공간 마우스 사용자 인터페이스 유형과 시뮬레이션 예

Fig. 8. Air-Finger Mouse User Interface Types and Simulation Example

표 1. 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation Results

유형	1 Blob	2 Blobs		3 Blobs	
				스크롤링	웹 페이지
	좌표 이동	왼쪽 클릭	오른쪽 클릭	상/하	좌/우
인식률	100%	91%	91%	84%	83%

실험 결과 표 1과 같이 기본적인 마우스 이벤트에 대해서는 매우 유용한 결과를 보였으며, 웹 브라우저 인터페이스에 대해서는 80%이상의 명령 성공 효율을 보임으로써 응용 프로그램 컨트롤 인터페이스로서의 가능성을 보였다.

웹 브라우저에서의 인터페이스 인식 효율이 떨어지는 이유는 각각 손가락 흔적 중심들로부터 흔적들의 중심 계산에 있어서 하나의 흔적 유실이나 일회성 및 지속적 명령 인식을 위한 안전 존의 미인식에 의한 오류 때문이다. 그럼에도 불구하고 시뮬레이션은 기존 마우스가 가지고 있는 터치점 인식 문제, 공간적 제약, 제한된 이벤트 처리 등의 문제점의 해결이 가능한 성공적인 결과를 보였다.

## VI. 결론

본 논문에서 제안하는 공간 마우스는 별도의 입력 장치를 요구하는 않는 공간적 독립성을 보장함과 동시에 다중 입력을 제공한다. 특히, 손가락 끝점 인식을 위해서 비기하학적이고 비형태학적인 방법으로 적외선 확산 투과 방식을 사용함으로써 처리 과정을 단순화 하였다.

또한 단순한 마우스 기능뿐만 아니라 다양한 사용자 제스처 인식을 이용한 확장된 기능의 명령 수행도 가능하다. 그러나 빛의 확산을 위한 적외선 광원의 강도와 사용자 인터페이스의 다양성 문제 등이 발생한다.

향후 본 논문에서 제안하는 방법은 특정 프로그램에 최적화된 다양한 손동작 제스처 UI 개발을 통해서 사용자의 직접적인 이벤트 연동이 가능하다. 특히, 스마트폰에 내재된 카메라 광원에 의한 확산 투과가 가능하게 된다면 스마트폰을 이용한 효율적인 프리젠테이션 앱의 인터페이스로 적용 및 활용성이 크다.

## References

- [1] R. Z. Khan and N. A. Ibraheem, "Survey on Gesture Recognition for Hand Image Posture", Computer and Information Science Vol. 5(3), pp. 110-121,



2012.

- [2] S. Mitra and T. Acharya, "Gesture Recognition: A Survey", IEEE Trans. on SMC Vol. 37(3), pp. 311-324, 2007.
- [3] Jefferson Y. Han, "Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection", Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.115-118, New York, NY, USA, 2005.
- [4] L.Y.L. Muller, "Multi-touch display: design, application and performance evaluation", M.S. Thesis, Univ. of Amsterdam, 2008.
- [5] Woobeom Lee, "Implementation of a DI Multi-Touch Display Using an Improved Touch-Points Detection and Gesture Recognition ", Journal of The Institute of Signal Processing and Systems, vol.11(1), pp. 13-18, 2010.
- [6] Y. Cheng, "Mean shift, mode seeking, and clustering", IEEE Trans. PAMI, 17:790-799, 1995.
- [7] Open Source Computer Vision Library: Reference Manual, Intel, 2001. (<http://opencv.org/>)
- [8] David Wallin, Touchlib: an opensource multi-touch framework, 2006. (<http://nuigroup.com/touchlib/>)
- [9] X. Shen, etc., "Dynamic hand gesture recognition: An exemplar-based approach from motion divergence fields", Image and Vision Computing 30, pp. 227-235, 2012.
- [10] V. A. Prisacariu and I. Reid, "3D hand tracking for human computer interaction", Image and Vision Computing 30, pp. 236-250, 2012.
- [11] M. S. Jang and W. B. Lee, "Implement of Finger-Gesture Controller using the Moving Direction Recognition of Single Shape", The Journal of The IIBC, Vol. 13(4), pp. 91-97, 2013.

## 저자 소개

### 이 우 범(정회원)



- 1995년 : 영남대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1997년 : 영남대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2000년 : 영남대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2000년 3월 ~ 2004년 2월 : 대구과학대학교 컴퓨터공학과 교수
- 2004년 3월 ~ 2007년 2월 : 영남대학교 전자정보공학부 컴퓨터전공 특임교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
<관심분야 : 뉴로비전컴퓨팅, IT융합의료기(한방의료영상), 심층 신경회로망>

※ 이 논문은 2013년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.