

# 협력적인 상호작용을 위한 테이블-탑 디스플레이 기술 동향

Survey: The Tabletop Display Techniques for Collaborative Interaction

김송국, 이철우  
전남대학교

Kim Song-Gook, Lee Chil-Woo  
Chonnam National University

## 요약

최근에 인간과 컴퓨터 상호작용을 위한 사용자 의도 및 행위 인식에 관한 비전 기반 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 테이블-탑 디스플레이 시스템은 터치 감지 기술의 발전, 협력적인 작업 추구에 발맞추어 다양한 응용으로 발전하였다. 이전의 테이블-탑 디스플레이는 오직 한명의 사용자만을 지원하였으나 현재에는 멀티터치를 통한 멀티유저를 지원하게 되었다. 따라서 테이블-탑 디스플레이의 궁극적인 목적인 협력적인 작업과 네 가지 원소(인간, 컴퓨터, 투영된 객체, 물리적 객체)의 상호작용이 실현 가능하게 되었다. 일반적으로 테이블-탑 디스플레이 시스템은 다음의 네 가지 요소; 맨 손을 이용한 멀티터치 상호작용, 동시적인 사용자 상호작용을 통한 협력적인 작업의 구현, 임의의 위치 터치를 이용한 정보 조작, 상호작용의 도구로서 물리적인 객체의 사용을 중심으로 설계되어 있다.

본 논문에서는 테이블-탑 디스플레이 시스템을 위한 최첨단의 멀티터치 센싱 기술을 시각기반 방법, 비-시각기반 방법으로 분류하고 비판적인 견해에서 분석을 하였다. 또한 테이블-탑 디스플레이 관련 연구들을 시스템 구성방식에 따라 분류하고 그 장단점과 실제 사용되는 응용 분야에 대해 기술하였다.

## Abstract

Recently, the researches based on vision about user attention and action awareness are being pushed actively for human computer interaction. Among them, various applications of tabletop display system are developed more in accordance with touch sensing technique, co-located and collaborative work. Formerly, although supported only one user, support multi-user at present. Therefore, collaborative work and interaction of four elements (human, computer, displayed objects, physical objects) that is ultimate goal of tabletop display are realizable. Generally, tabletop display system designs according to four key aspects. 1) multi-touch interaction using bare hands. 2) implementation of collaborative work, simultaneous user interaction. 3) direct touch interaction. 4) use of physical objects as an interaction tool.

In this paper, we describe a critical analysis of the state-of-the-art in advanced multi-touch sensing techniques for tabletop display system according to the four methods: vision based method, non-vision based method, top-down projection system and rear projection system. And we also discuss some problems and practical applications in the research field.

## I. 서론

최근에 인간과 컴퓨터간의 자연스러운 상호작용을 위하여 시각을 기반으로 한 사용자 의도 및 행위를 인식하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 손을 이용한 제스처 인식은 시각 기반 인식 분야에서 핵심 기술 분야로 계속 연구되어 왔으며, 이를 이용한 인간과 컴퓨터의 상호작용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 테이블-탑 디스플레이는 가장 직관적인 도구인 손을 사용하여 인간과 컴퓨터의 상호작용을 뛰어넘어 인간과 인간의 협동적 상호작용까지 구현할 수 있는 가장 적합한 시스템이다. 협동적 상호작용이란 상대가 되는 이쪽과 저쪽이 함께 서로 마음과

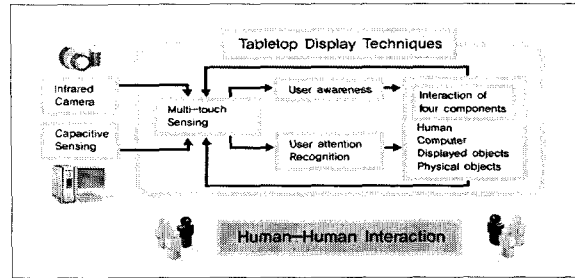
힘을 하나로 합하여 어떠한 현상을 일으키거나 영향을 미치는 것을 말하는데, 이전의 협동적 상호작용은 종이로 된 문서를 가지고 전통적인 테이블에 앉아서 그룹이 미팅을 하는 것이었다. 그러나 최근 컴퓨터 기술의 발달과 함께 영상처리, 터치 감지, 테이블 탑 디스플레이 등의 관련 기술의 발전에 힘입어 최첨단 기술이 집약된 새로운 형태의 상호작용 테이블이 선보여지고 있다. 특히 SIGGRAPH 2006의 "Emerging Technologies" 부분에서는 다양한 멀티터치 패널이 선보여졌으며 이러한 상호작용 테이블은 인간을 중심으로 컴퓨터, 물리적 객체, 투사된 객체간의 상호작용을 추구한다.

일반적으로, 우리가 조사한 테이블-탑 디스플레이 시스템의 이전 연구들에서는 다음과 같이 시스템 설계에서 네 가지 측면에 중점을 두고 있었다. 첫째, 맨손을 사용한 멀티터치 상호작용으로 자연스럽게 직접적인 조장이 가능하다는 것과 여러 개의 손가락을 사용하여 정교한 상호작용을 할 수 있다는 것. 둘째, 협력적인 작업의 구현, 동시에 일어나는 사용자 상호작용으로 다른 사람의 작업에 영향을 끼치는 것 없이 스크린에 한명 이상의 사용자가 접촉하는 것을 가능하게 한다는 것. 셋째, 직접적인 터치 상호작용으로서 테이블-탑 디스플레이 사용자는 원하는 위치에 간단히 터치하는 것만으로 스크린의 어느 점이라도 랜덤하게 접촉하여 정보를 조작할 수 있다는 것. 넷째, 상호작용의 도구로서 물리적 객체를 사용하여 augmented reality를 실현할 수 있다는 것이다.

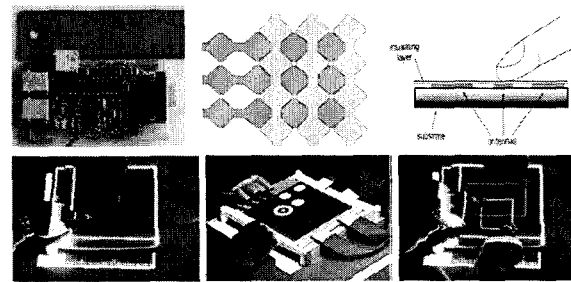
본 논문에서는 협력적 상호작용을 위한 기반 기술 중 컴퓨터와 인간, 인간과 인간 사이에 가장 자연스러운 의사소통 방법의 하나인 테이블-탑 디스플레이 기술에 대하여, 최근 연구 성과를 중심으로 멀티터치 센싱 원리 및 요소 기술의 중요내용과 응용사례를 소개한다.

## II. 테이블-탑 디스플레이 기술의 개요

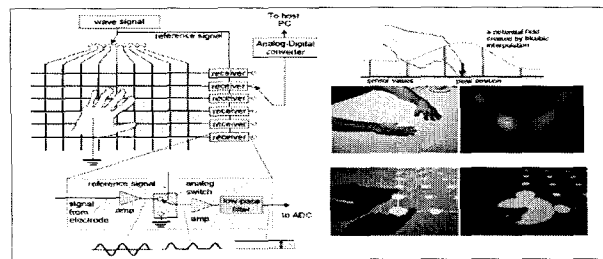
테이블 탑 디스플레이의 사전적 의미는 여러 가지 형태의 탁자 위에 컴퓨터의 처리 결과를 직접 눈으로 볼 수 있도록 스크린을 부착하여 텔레비전과 같은 화면에 문자나 도형을 표시하는 것으로 정의된다. 그 동안 테이블 탑 디스플레이 기술은 오직 한 명의 사용자만을 지원하였으나, 컴퓨터 H/W 및 S/W, 그리고 센싱 기술의 발달에 따라서 이제는 멀티유저, 멀티터치를 지원하는 협력적인 상호작용 및 작업으로 그 응용이 확대되고 있다. 그 결과 이전의 사전적 의미에서 벗어나 "table"이라는 용어는 입력 센싱을 하는 표면과 출력 디스플레이 역할을 하는 표면을 서로 겹쳐 놓은 Direct multi-touch, multi-user tabletop에 사용하게 되었다. 따라서 멀티-유저, 멀티-터치를 바탕으로 사용자 의도를 분석하고 인지하여 인간과 인간의 상호작용을 도와주는 매개체 역할을 하는 기술을 테이블-탑 디스플레이 기술이라고 한다(그림1).



▶▶ 그림 1. 테이블-탑 디스플레이의 개요



▶▶ 그림 2. DiamondTouch 테이블에 내장된 안테나 및 작동의



▶▶ 그림 3. SmartSkin 센서 구성과 손의 접근성 여부 판단

## III. 비-시각 기반 방법을 이용한 상호작용

인간의 손 제스처는 3차원 공간에서 매우 복잡하고 자유롭게 움직이기 때문에 그 움직임을 수치적으로 정량화하고 의미 있는 부분을 추출하는 일은 매우 어렵다. 그러나 비-시각 기반 방법에서 많이 사용되는 Force-Sensitive-Resistors의 회로망 또는 정전용량 방식을 사용하면 스크린 상에서의 손 움직임의 위치와 접촉 정보를 정확히 추출할 수 있다.

### 1. DiamondTouch의 멀티터치 센싱 원리

DiamondTouch[3]의 테이블 표면은 (그림2)와 같이 전기적인 정전용량 재료의 임의의 형태와 사이즈를 가진 내장된 안테나 세트에 구성되어 있으며, 안테나는 서로 각각 절연체로 싸여있는 전기적인 정전용량 재료의 얇은 조각으로서 각 행과 열은 다른 방향으로 분리되어 연결된 다이아몬드 패턴으로 구성되어 있다. 작동 원리는 테이블 안의 안테나

나를 통해서 신호를 전송함으로써 이루어지는데, 각각의 위치를 식별하기 위해서 특별한 전자적 신호를 테이블 표면의 각 부분에 전송함으로써 작동한다. 즉, 사용자가 테이블에 터치하였을 때, 신호는 터치 포인트 아래에 직접 연결되어 있는 한 쌍의 정전용량 장치를 통해 연결된 사용자의 수신기로 들어간다. 따라서 수신기는 사용자가 테이블 표면의 어떤 부분을 터치했는지 인식할 수 있으며, 이 정보는 마우스나 태블릿 데이터와 같은 방법으로 컴퓨터에 의해서 사용될 수 있다.

## 2. SmartSkin의 구조와 멀티터치 센싱 원리

또 다른 대표적인 예인 SmartSkin [5]은 손의 위치와 형상을 인식하기 위하여 그물 형태의 안테나와 정전용량 방식 사용하여 손과 표면 사이의 거리를 계산하였다. 여기서 사용한 센서는 그물망 형상으로 수직 전선의 송신 전극과 수평 전선의 수신 전극으로 구성되어 있으며 투명 양극(Indium-Tin Oxide) 또는 전도성의 폴리머를 사용하여 투명하게 할 수 있다. SmartSkin의 센싱원리를 살펴보면 다음과 같다. 만약 송신기의 하나가 신호파장에 의해 일어났다면 각 송신기와 수신기의 교차점이 매우 약한 축전기로서 작용하므로 수신기는 이 파장 신호를 받는다. 받은 신호의 고도는 전송된 신호의 주파수와 전압에 의해 비례하며, 두 전극들 사이에 용량에도 비례한다. 따라서 전도성의 물체가 교차점에 닿을 때 정전용량 성으로 두 전극성과 파장 신호를 배출한다. 그 결과, 받은 신호 고도는 약해짐으로써 이 효과를 측정하여 "proximity pixels"이라 불리는 2차원 센서 값 형태를 분석하여 인간의 손과 같은 전도성 물체의 접근성을 검출할 수 있다 (그림3).

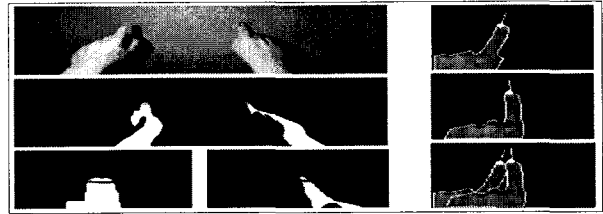
## IV. 시각 기반 방법을 이용한 상호작용

컴퓨터 비전 기반 테이블들은 스크린 위에 놓여진 물리적 객체의 검출 및 인식을 포함하여 흥미로운 센싱 능력을 보여줄 수 있다. 또한 비디오카메라를 이용하여 저렴한 비용으로 높은 해상도의 데이터를 획득할 수 있다.

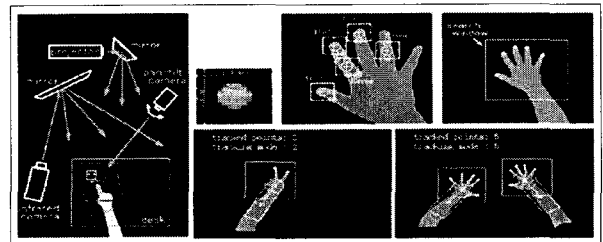
### 1. 다중카메라를 이용한 터치인식

오직 비전기반 방법만을 이용하여 스크린에 손의 접촉 여부를 인식하려는 초기연구는 다음과 같다. 손의 그림자 정보를 이용하여 손가락 끝 부분의 뾰족한 정도를 판별하여 터치를 인식하는 시스템 (그림4)과 2개의 스테레오 카메라를 통해 획득한 좌, 우 영상을 비교, 분석하여 테이블 표면에 손가락의 터치를 판별하는 시스템 (그림4)이 그 예이다.

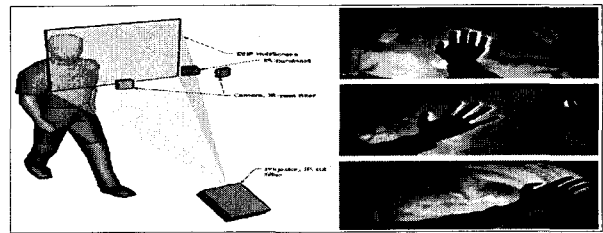
하지만 이러한 방법들은 스크린에 손가락의 접촉을 판별하는 정확도나 인식률이 많이 뒤떨어진다.



▶▶ 그림 4. 그림자 영상과 스테레오카메라를 이용한 터치인식



▶▶ 그림 5. Template matching을 이용한 fingertips 검출



▶▶ 그림 6. 깊이를 측정하는 터치 디스플레이의 예

### 2. Template matching을 이용한 터치인식

보통 비전 기반 연구에서는 손을 추출하기 위해 컬러 세그먼테이션 또는 배경 이미지 차분 방법을 사용하는데 이는 급격한 조명변화 및 복잡한 배경을 가진 영상에서 신뢰할만한 결과를 내지 못하게 된다. 따라서 EnhancedDesk [6]은 열 감지 적외선 카메라를 사용하여 효율적으로 손 영역만을 추출하였으며, 템플릿 매칭을 이용하여 양손의 모든 fingertips의 2D 위치를 검출하였다(그림5). 그 다음에 검출된 fingertips을 Kalman filtering을 통하여 계속적으로 추적하였으며 이를 이용해 두 손의 drawing 및 GUI navigation 같은 작업을 수행하였다. 하지만 이러한 상부투영(top-down) 비전기반 시스템 구조들은 손가락이 스크린 표면에 접촉했는지 여부를 결정할 수 없다는 단점이 있다.

### 3. Depth를 측정하는 방법

또 다른 유형으로서 깊이를 측정하는 Holowall [4]과 Motion Processor가 있다. 이러한 시스템은 인식을 위해서

광 적외선 필터를 부착한 비디오카메라를 사용하였고 적외선 빛은 카메라 앞의 물체를 밝게 비추기 위해 사용되었다. Motion Processor가 적외선 반사를 직접적으로 사용한 반면에 Holowall은 배경 이미지를 감소시키기 위해서 확산제 스크린을 사용하였다. 적외선 반사를 사용한 시스템은 손의 형상을 검출할 수 있을 뿐만 아니라 카메라로부터 손까지의 거리도 알 수 있다. 그 결과, 다른 비전 기반 시스템에서 인식하지 못한 제스처(수직으로 손가락을 움직인다는 것, 가볍게 두드리기)도 검출할 수 있다 (그림6). 그러나 다른 비전 기반 시스템과 같이 이 시스템 또한 외부 카메라와 빛을 필요로 하며 간단하게 하나로 통합될 수 없다는 단점이 존재한다.

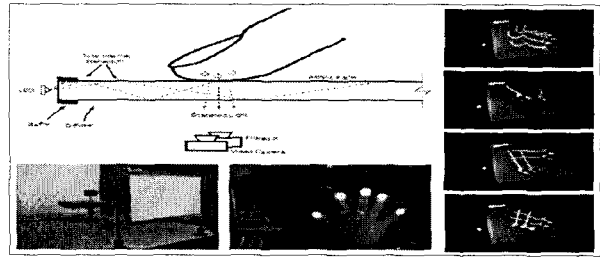
4. FTIR 멀티-터치 센싱 원리

뉴욕대의 multi-touch 센싱 패널 [7]은 지문 추출을 위해 사용되는 FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) 원리에 기반을 두고 있다 (그림7). 즉, 빛이 낮은 반사 지수를 가지고 매개로 하기 위하여 인터페이스를 만났을 때, 빛은 입사각에 의존하여 해당 범위를 굴절하게 된다. 확실한 임계각을 뛰어넘어 Total Internal Reflection을 겪게 되는데, 이는 아크릴 안에서 빛이 머물도록 유지한다. 이때 손가락으로 광학 접촉이 이루어지면, frustrated 현상이 일어나 아크릴을 통해 수직으로 빛이 분산되어 나온다. 이 나온 적외선 LED 빛을 band pass filter를 부착한 적외선 카메라를 사용하여 검출할 수 있게 된다. 이 방법의 가장 큰 장점은 rear projection 방식을 사용하여 시공간적으로 높은 해상도의 터치 이미지 정보를 획득할 수 있는 시스템을 저렴하게 구현할 수 있다는 것이다. 그러나 멀티-터치가 일어났을 때 접촉되는 각 포인트를 정확히 분류하지 못한다는 단점이 존재한다. 즉, 두 개의 접촉이 일어났을 때, 한 손의 두 손가락인지, 각각 서로 다른 두 손의 한 손가락들인지 또는 서로 다른 사용자의 손가락인지 구별이 불가능하다.

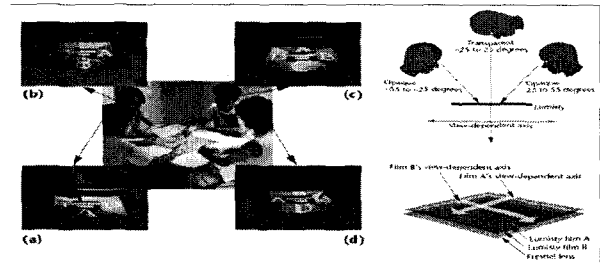
5. 새로운 패러다임을 선보인 LumisightTable

도쿄대학에서 선보인 Lumisight Table[1]은 건축재료인 Lumisty 와 Fresnel lens로 구성된 특별한 스크린 시스템으로 광학 디자인에 기반을 두고 있다. 이 시스템은 각각 사용자의 관점을 위해 네 개의 다른 이미지를 투영하기 위하여 4개의 프로젝터를 가지고 이 필름과 렌즈를 결합한다. 이런 방법으로 Lumisight Table은 물리적으로는 하나이지만, 비주얼적으로는 다중을 표방하고 있다. 이런 식으로 single screen에서 정보 공유 및 사적 정보 보호를 혼합하고 통합하기 위한 방법은 인간과 컴퓨터 상호작용에 새로운

패러다임을 제공하게 되었다.



▶▶ 그림 7. FTIR원리를 이용한 멀티-터치 스크린



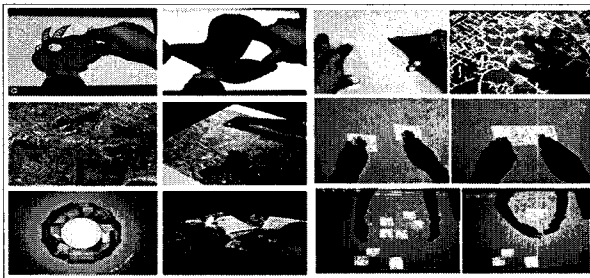
▶▶ 그림 8. Lumisty film의 광학적 속성을 이용한 새로운 패러다임의 상호작용 테이블 구조

V. 테이블-탑 디스플레이의 투사방식 분류

하나의 인기있는 접근은 높은 선반이나 천장에 카메라와 프로젝터를 설치하는 top-down 접근 방식 [3, 5, 6]이다. 비-시각 기반 방법을 사용하는 capacitive sensing 방식은 스크린이 불투명 하기 때문에 이 설치방식을 취하고 있으며 다음과 같은 장단점을 보여준다. 무거운 프로젝터의 천장 설치하는 어렵고, 위험하고 특별한 하드웨어 설치를 요구한다. 그리고 일단 설치가 완료되면 시스템과 스크린 시스템을 쉽게 옮길 수가 없다. 종종 작동하는 동안에 구조물에서 나타나는 적은 진동은 문제를 만들어 낼 수 있으며 카메라 보정을 유지하는 것을 어렵게 한다. 또한 사용자 고유의 머리와 손은 시스템과 상호작용을 하는 동안에 투영된 영상과 겹칠 수 있어 이미지의 왜곡을 일으킨다. Top-down 방식을 사용하는 비전기반 방법들의 대부분은 스크린에 손가락의 접촉을 강건하게 인식하지 못한다는 단점이 존재한다. 또 다른 두 번째 접근은 확산제를 부착한 투사 스크린에 프로젝터와 카메라를 테이블 안에 설치하는 rear 방식 [1, 2, 7]이다. 그것은 테이블 표면 밑에 사용자 다리를 충분히 놓을 수 있는 공간을 허락하는 큰 디스플레이 영역을 가진 테이블 시스템과 같은 것을 구성하기 어렵다. 그러나 이 방식은 physical objects를 사용한 시스템 제어 및 디지털 세계와 물리적 세계의 통합 구현이 가능하게 해준다.

## VI. 테이블-탑 디스플레이 응용의 예

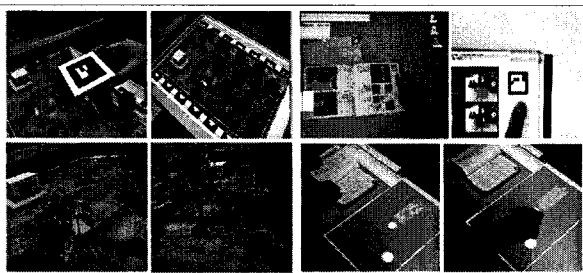
현재 테이블 탑 관련 기술들은 가장 흔한 지도검색, 가상 키보드 및 사진 편집과 같은 응용 (그림9)에서 점차 벗어나고 있다. 따라서 physical objects를 인간과 인간의 상호작용의 매개체로 활용하고 있으며 이를 이용해 augmented reality의 구현으로 점차 그 범위가 확대되고 있다. 이 기술을 응용한 예로서 marker를 이용한 도시건설 시뮬레이션, 전자책 구현 (그림11)을 비롯하여 Lumisight Table에서의 투영된 영상과의 관계를 이용한 시스템 제어 등을 들 수 있다. 다른 측면에서는 여러 명이 동시에 작동함으로써 그 흥미적 요소를 배가시키는 "marblemarket"과 "TetraTetris"같은 게임 (그림10) 및 눈으로 보는 것을 바로 들을 수 있는 "What you see What you hear (HyperScore GUI)" 같은 시스템이 있다. 가장 최근의 연구로서 뉴욕대는 멀티-터치 기술을 이용해 다양한 상호작용의 데모 (그림12)를 선보였는데 이는 테이블 탑 디스플레이의 발전 가능성과 그 중요성을 일깨워준 계기가 되었다.



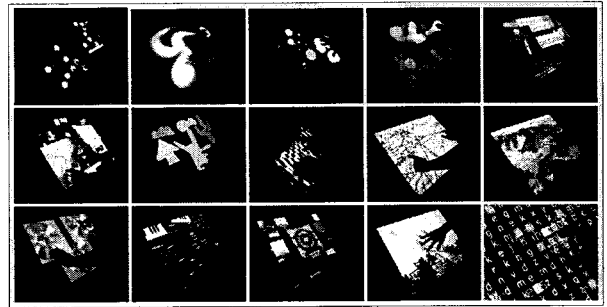
▶▶ 그림 9. 지도검색과 사진편집을 위한 프로그램 제어



▶▶ 그림 10. 테이블-탑 디스플레이의 게임 응용의 예



▶▶ 그림 11. 마커를 이용한 AR구현 및 전자책 구현



▶▶ 그림 12. 뉴욕대의 다양한 멀티-터치 상호작용의 예

## VII. 결론

본 논문에서는 협력적인 상호작용을 위한 멀티터치 테이블-탑 디스플레이 기술의 최근 연구 동향과 터치 센싱 원리 및 그 응용에 대해서 기술하였다. 또한 협력적인 상호작용을 위한 테이블-탑 디스플레이 시스템을 디자인하기 위한 4가지 중요사항을 제공하였다. 이 중요지침은 다른 작업 환경보다 작업 상황을 공유할 수 있는 테이블의 장점을 이용하여 협동적인 작업을 쉽게 통합할 수 있도록 도와줄 것이다.

현재는 멀티-유저의 멀티-터치 인식은 가능하지만 사용자간의 영역제한을 통한 방법을 제외하고는 어떤 사용자가 현재 작동 중인지는 모른다. 따라서 상황 인지적 측면이 추가되어 활성화된 사용자를 찾아낼 수 있다면 비로서 테이블-탑 디스플레이의 가장 큰 장점인 Collaborative work의 실현이 비로소 가능하다고 생각한다.

테이블-탑 디스플레이 기술은 인간과 컴퓨터의 자연스러운 의사소통을 위해서 반드시 해결해야 할 문제이며, 향후 지속적인 연구 개발이 필요한 분야이다. 인간이 도구에서 자유로워질 때까지, 더 나아가 네 가지 원소(인간, 컴퓨터, 물리적 객체, 투영된 객체)의 정서적인 교류가 가능해질 때까지 테이블-탑 디스플레이 분야의 연구는 꾸준히 진전되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Y. Kakehi, M. Iida, T. Naemura, Y. Shirai, M. Matsushita and T. Ohguro: "Lumisight Table: Interactive View-Dependent Tabletop Display," IEEE Computer Graphics & Applications, Vol.25, No.1, pp.48-53, 2005.
- [2] B. Ullmer and H. Ishii: "The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces," In Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'97), pp.223-232, 1997.

- [3] Dietz, P. and Leigh, D. 2001. DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology. (Orlando, Florida, November 11 - 14, 2001). UIST '01. ACM Press, New York, NY, 219-226.
- [4] Matsushita, N. and Rekimoto, J. 1997. HoloWall: Designing a Finger, Hand, Body, and Object Sensitive Wall. (Banff, Alberta, Canada, October 14 - 17, 1997). UIST '97. ACM Press, New York, NY, 209-210.
- [5] Rekimoto, J. 2002. SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces. CHI '02. ACM Press, New York, NY, 113-120.
- [6] K. Oka, Y. Sato, and H. Koike, "Real-Time Tracking of Multiple Fingertips and Gesture Recognition for Augmented Desk Interface Systems," Proc. IEEE Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2002), IEEE CS Press, 2002, pp. 429-434.
- [7] Han J. Y. "Low-Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection." ACM Press, New York, NY, 2005, 15-118

---

\* 본 연구는 문화관광부 지정 전남대학교 문화콘텐츠기술연구소와 전남대학교 "고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터"의 연구비 지원에 의해 수행되었음