Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 4 pp.563-569, August 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.4.563

A Study on the Effect of Pre-cue in Simple Reactions on Control-on-Display Interfaces

Ji Hyoun Lim[1], Junyoung Choi[2], Youngsu Kim[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791
[2]BPM/Mobile Development Team, BPM/Mobile Technology Lab, HandySoft Korea Inc., Seoul, 137-070

ABSTRACT

Objective: This study focuses on the effects of pre-cues informing the location of upcoming visual stimulus on finger movement response in the context of control-on-display interfaces. **Background:** Previous research on pre-cues focus on attention allocation and motion studies were limited to indirect control conditions. The design of this study aimed to collect data on the exact landing point for finger-tap responses to a given visual stimulus. **Method:** Controlled visual stimuli and tasks were presented on a UI evaluation system built using mobile web standards; response accuracy and response time were measured and collected as appropriate. Among the 16 recruited participants, 11 completed the experiment. **Results:** Providing pre-cue on the location of stimulus affected response time and response accuracy. The response bias, which is a distance from the center of stimulus to the finger-tap location, was larger when the pre-cue was given during a one-handed operation. **Conclusion:** Given a pre-cue, response time decreases, but with accuracy penalized. **Application:** In designing touch-screen UI's - more strictly, visual components also acting as controllers - designers would do well to balance human perceptual and cognitive characteristics strategically.

Keywords: Precue, Information process, Touch interface, Speed-accuracy tradeoff, Control on display

1. Introduction

모바일 제품의 설계에서 portability와 visibility간의 모순은, 이동성의 확보를 위해 제품의 경박 단소를 강조하는 동시에, 정보를 효과적으로 제공하기 위해 디스플레이의 크기를 최대화해야 하기 때문에 불가피하게 발생하는 문제이다. 이러한 모순을 해결하기 위한 해결책으로 기존의 indirect control(정보를 제공하는 디스플레이와 조작을 위한 컨트롤러로 구성) 대신 control-on-display 방식의 터치스크린이 주로 사용되고 있다(Altinsoy et al., 2009; Gartner Inc., 2010).

Control-on-display, 즉, 터치스크린을 사용한 인터페이스는 시각 자극이 직접 컨트롤을 유도하기 때문에 information processing의 단계가 줄어들어, 직접적이고 (Pickering, 1986) 직관적인(Sun et al., 2007; Jin et al., 2007) 조작을 가능하게 하는 방법이다. 분리된 디스플레이-컨트롤러 세트를 사용한 indirect control은 spatial stimulus response compatibility를 요구하는 반면(Fitts and Seeger, 1953), 터치스크린을 사용한 control-on-display 인터페이스는 자극과 반응이 같은 위치에서 발생하기 때문에 S-R coding *ensemble* 측면에서 유리하다(Fitts, 1959, Kornblum et al., 1990에서 재인용).

이러한 터치인터페이스와 관련한 기존 연구들은 버튼(터치키)의 사이즈와 위치(Park et al., 2010; Sun et al., 2007; Parhi et al., 2006), 전체적 인터페이스 레이아웃, 정보 입력, 메뉴 접근성(Balagtas-Fernandex et al., 2009), 디스플레이 사이즈(Koskela et al., 2004)의 효과를 관찰하였으며,

Corresponding Author: Ji Hyoun Lim. Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791.
E-mail: limjh@hongik.ac.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

이는 정보를 제공하고 이를 조작하는 측면을 분리하여 각각의 핵심 기능을 살펴본 연구들이다. 본 연구에서는 control-on-display interface에서 사전 단서(precue)가 단순 반응에 미치는 영향을 살펴보았다.

물리적인 자극에 대한 인간의 반응에 대한 연구는 심리학, 행동과학, 운동학 등 다양한 분야에서 다루어져 왔는데, 사전 단서(precue)가 인간의 반응에 미치는 영향 역시 주요한 연구주제 중의 하나이다. 제시된 물리적 자극에 대응하는 선택적 반응을 요구하는 과제에서, 사전 단서가 제시된 경우 반응 시간이 빨라지는 것은 일반적으로 알려진 사실이다(Bock & Eversheim, 2000). 연구자들은 그러한 사전 단서의 영향이 자극을 지각/인지하는 단계(stimulus identification)에서 나타나는 효과인지, 반응을 선택하는 단계(response selection)에서 나타나는 효과인지, 그리고 반응을 실행하는 단계(response execution)에는 어떠한 영향을 주는지에 대하여 다양한 실험 연구를 통해 검증하였다(Goodman & Kelso, 1980; Buckolz, et al., 1994; Gottsdanker, 1992; Cheal & Lyon, 1991; Schellekens & Kalverboer, 1986; Bock & Eversheim, 2000; Becker, 2008).

사전 단서에 대한 연구는 크게 주의와 동작분석의 맥락에서 살펴볼 수 있다. 우선 사전 단서가 자극의 지각/인지 단계 및 반응 선택 단계에 주는 영향에 대한 연구는, 인간의 주의분배 및 그 역할을 규명하기 위한 실험 연구에서 빈번히 다루어져 왔다(Dosher & Lu, 2000; Buckolz, et al., 1994; Cheal & Lyon, 1991). 이 분야의 연구는 사전 단서의 종류(시각, 청각), 제시 방법(자극 반응 양립성의 유무, 사전 단서와 본자극의 일치 확률, 사전 단서와 본자극 사이의 시간차 등), 제시 위치(center versus peripheral)을 세밀하게 변화시키며 사전 단서의 효과를 정밀하게 관찰하고, 그 영향을 분석하였다. Becker(2008)는 사전 단서의 제공이 주의를 유도하여 선택주의를 사용하여 본자극을 처리하는데 소요되는 시간이 단축되었다고 보고하였고, Buckolz, et al.(1994)과 Cheal & Lyon(1991)의 연구는 사전 단서가 주변시야(paraperipheral)에 제시된 경우, 그 효과가 더 큰 것을 관찰하고, 시각 정보를 fovea와 parafovea가 병렬적으로 처리할 가능성을 제시하였다. Bock & Eversheim(2000)는 본자극의 위치를 사전에 알려주는 사전 단서는 공간에 대한 표상(representation) 처리 과정에 작용하며, 반응 선택이나 반응 실행과는 무관하다고 보고하였다.

한편, 동작 연구에서는 반응 동작의 준비 및 실행 단계에 사전 단서가 미치는 영향이 주로 탐구되었다. 특히 자극에 대한 반응 방식을 변화시키면서 동작 준비, 실행 및 제어 과정에서 사전 단서의 영향을 규명하고자 하였다. Goodman & Kelso(1980)는 반응 동작을 동작의 크기(움직이는 거리), 방향, 그리고 팔(오른팔, 왼팔)의 선택 등 세 요인의 조합으로 구성하여 각각의 조합에 대한 사전 단서의 영향을 살펴봄으로써, 반응 동작 준비에 있어서, 각 요인을 처리하기 위한 별도의 프로세스가 존재함을 규명하였다. 그리고 Schellekens & Kalverboer(1986)은 시각적으로 제시된 사전 단서를 처리하는 과정은 반응 동작 제어에 영향을 주지 않는다고 보고하였다.

이처럼 사전 단서는 지각, 인지, 동작 과정 전반에 걸쳐 그 영향이 연구되어 왔는데, 이전 연구는 대부분 자극이 display에 제시되면 controller(주로 button으로 설계됨)를 사용하여 반응을 측정하는 형태의 indirect control 조건을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 사전단서가 control-on-display 조건으로 제시된 경우, 그 시각적 정보가 반응 동작에 미치는 직접적인 영향을 살펴 보고자 한다. 특히, 이전 연구에서는 기술적으로 측정하기 어려웠던 반응 동작의 정확성(반응 편향)을 측정하여 반응 시간과 함께 살펴보고자 한다.

2. Method

디스플레이에서 버튼을 누르는 과정은 전형적인 자극-반응 관계로서 자극(stimuli)의 물리적인 속성이 감지(sensation)되고, 감지된 자극이 심적 경험으로 지각(perception)된 후, 요구되는 의사결정(decision)을 거쳐 반응(response)을 실행(execution)한다(Wickens, 1984). 본 연구에서는 출현 위치가 불확실한 시각 자극을 터치하는 단순 반응 수행에 있어서, 사전 단서(precue)의 존재여부에 따른 반응 시간(response time)과 정확도의 변화를 살펴보았다.

2.1 Task design

실험에 사용된 과제는 시각 자극이 출현하면 그 시각 자극을 누르는 단순 반응 과제이며, 기존 reaction time 연구(Neubauer et al., 1997; Bates & Stough, 1998; Deary et al., 2001)에서 주로 사용한 'Jenson box'(Deary et al., 2001; Jensen & Munro, 1979)를 바탕으로 본 실험에 맞게 설계하였다. 하나의 task는 준비 단계와 실행 단계로 구성된다. 준비 단계에서는 화면에 십자선(crosshair)이 나타나면 이를 눌러 실행 단계로 넘어간다. 실행 단계에서는 조작된 시각 자극이 제시되며, 이를 누르면 반응 시간과 터치 지점이 저장된다(Figure 1).

손가락의 초기 위치를 고정시키고 손가락에 의한 버튼 인지의 간섭을 막기 위하여 초기 위치는 화면 중앙 원점으로 설정하였다. 원점에 나타나는 십자선(crosshair)를 눌

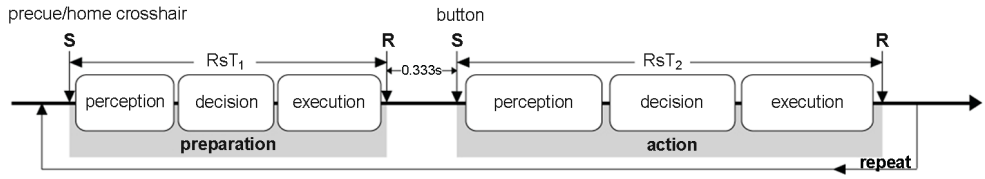

Figure 1. Structure and flow of the experiment

러야 시각 자극이 화면에 나타나도록 설계하였다. 사전 단서(precue)가 존재하는 조건에서는 본자극이 나타날 위치에 십자선이 나타나고, 이를 터치하면 0.333초 후에 본자극이 나타난다. 이는 의도하지 않은 연속 누름(double tap)으로 인한 실험 오류를 방지하기 위하여 십자선을 누른 후 버튼 발생 사이에 Card et al.(1983)가 제안한 Keystroke-Level Model의 press or release mouse button (0.1초)의 두 배(press and release)보다 큰 0.333초를 준비 시간으로 설정하였다.

2.2 Experimental design

실험에 사용된 시각 자극의 출현 위치는 Figure 2에 보이는 바와 같이 화면을 4×4 grid로 분할하여 가운데 원점의 상하좌우 교점 네 곳이며, 이 네 위치는 Perry와 Hourcade (2009)의 연구에서 주 사용 손에 영향을 받지 않고, 쉽고 편한 위치로 조사되었다. 시각 자극은 지름 9.5mm의 원형과 이 원을 외심원으로 가지는 삼각형이다. 종속변수는 Table 1에 정리된 바와 같이, 누른 지점의 편향도(웹 브라우저가 인식한 점의 좌표와 시각 자극의 외심까지의 거리) 및 반응 시간(RsT_1, RsT_2)이다.

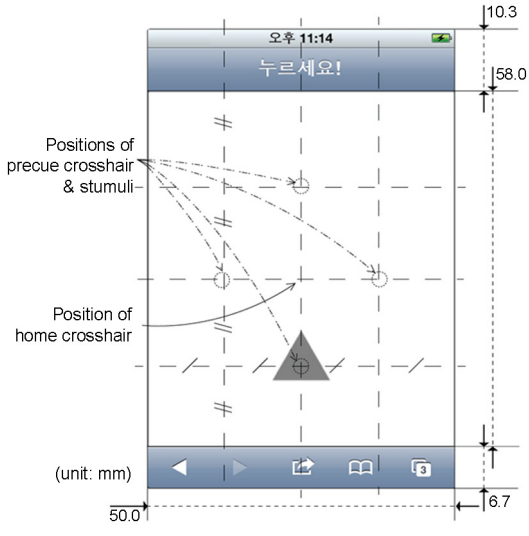

Figure 2. Display size and positions of stimuli

Table 1. Dependent variables

Variable		Unit and description
Deviation	x_{ij}, y_{ij}	i: i^{th} location, j: j^{th} trial (location measured in pixels, converted to millimeters)
Response time	RsT_1	Elapsed time from crosshair display to tap response(sec)
	RsT_2	Elapsed time from stimulus display to tap response(sec)

2.3 Block setup

실험은 주 사용 손만으로 실험하는 한 손 사용 조건과 한 손으로 스마트폰을 잡고 다른 한 손으로 터치하는 조건으로 크게 나뉘며 각 블록마다 사전힌트의 존재 여부로 하위 블록이 구성된다. 각 실험은 80회 버튼을 누르며, 십자선 및 사전 단서를 누르는 데이터까지 포함하여 각 실험당 160개의 데이터를 수집하였다(1인당 1,280개의 데이터). 버튼의 위치, 모양, 배경의 색은 랜덤화하여 순서 효과를 제거하였다. 십자선을 누를 때에는 두 선이 교차하는 점을 목표로 누르도록 하였다.

2.4 Participant and apparatus

모바일 디바이스의 실제 사용환경과 최대한 같은 상황에서 실험이 진행되도록 하기 위하여 스마트폰의 웹 브라우저를 통해 온라인 상에 구축된 웹 어플리케이션으로 피실험자가 접속하여 일정한 실험이 진행되도록 하였다. 실험은 사용자 스마트폰의 기본 내장된 웹 브라우저를 통해 on-line 상에 구축된 웹 서버에 접속하여 진행하도록 하였다. 실험 중 전화나 MMS 수신으로 인한 데이터 손실을 막기 위해 3G network 접속을 차단한 airplane mode로 진행하도록 하였으며 실험이 시작되면 사용자는 WiFi를 통해 웹 표준으로 구축된 웹 어플리케이션을 사용자의 스마트폰에 전송 받고 실험을 진행한 후 이메일을 통해 결과를 다시 전송하도록 하였다. 실험에 사용한 모바일 기기는 Apple Inc.의 iPhone 3G 및 iPhone 3GS이다. 이 기기는 정전식 터치스크린을 사용하며 크기는 50×75mm, 해상도는 320×480px이고

실험에서 사용한 배경의 크기는 50×58mm이다(Figure 2). 전체 실험 참가자는 20대 남녀 16명이나 이 중에서 분석 가능한 데이터 세트를 제공한 사람은 11명이다.

3. Results

우선, control-on-display에서 target에 지정하는 위치와, 참여자들이 누른 지점을 분석한 결과, 일관된 편향이 발견되었다. 피실험자들은 목표 지점보다 +X 방향 1.36mm, −Y 방향 0.60mm 치우쳐 있었다. 터치 지점의 90% 신뢰구간의 가로 길이는 6.72mm, 세로 길이는 6.17mm, 95% 신뢰구간의 가로 길이는 7.56mm, 세로 길이는 6.83mm 이다.

개별 효과들을 보는 데에 앞서, 다변량 분산분석(Multivariate ANOVA)를 수행하여 주효과와 교호작용 효과의 통계적 중요도를 살펴보았다. 분석결과는 Table 2에 요약되어 있다. 종속변수는 반응 시간과 X 편향도 및 Y 편향도로 이뤄진 벡터로 설정하였으며, 통계량은 Pillai's Trace를 살펴보았다. 다변량 분산분석 결과, 수행 자세(한 손 사용 대 양 손 사용)에 따른 반응 시간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나, 누른 지점의 편향도에 있어서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다. 그리고, 수행 자세와 자극의 출현 위치 사이에 통계적으로 유의한 교호작용이 관찰되었다.

Table 2. Multivariate ANOVA results

Treatment	Pillai's Trace	F	Sig.
Existence of Precue	0.373	2380.7	0.000
Hand Posture	0.038	159.507	0.000
Location	0.504	612.944	0.000
Hands*Location	0.011	10.732	0.000

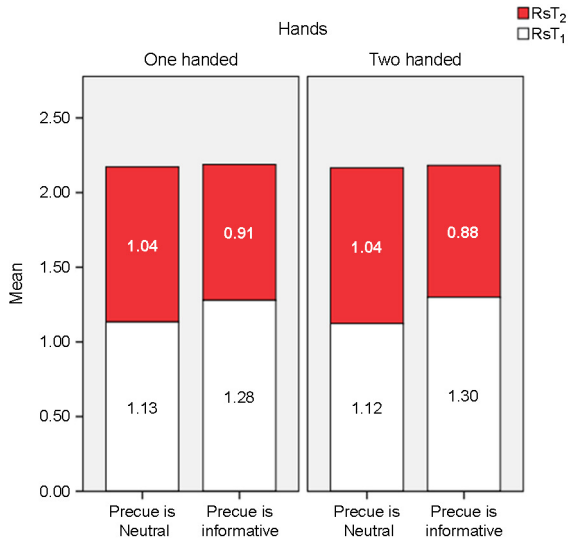

Figure 3. Effect of presenting precue on RsT for one handed and two handed condition

십자선이 버튼의 위치에 대한 정보를 주지 않는 경우 십자선을 누르는데 1,131msec, 버튼을 누르는데 1,060msec가 소요되었고, 십자선이 버튼의 위치에 대한 사전 단서를 담고 있는 경우 십자선을 누르는데 1,291msec, 버튼을 누르는데 905msec가 소요되었다(Figure 4). 사전 단서를 제공하면, 본자극에 대한 반응 시간(RsT_2)은 155msec 줄여주지만, preparation에 소요되는 시간(RsT_1)이 상대적으로 증가하였음을 알 수 있다. 즉, 반응을 준비하는 motor program loading에 필요한 시간이 preparation 단계에서 미리 일어나서, RsT_1은 증가하고, RsT_2는 감소했음을 알 수 있다. 한편, 사전힌트의 제공은 반응 시간은 줄어주었지만, 정확도는 떨어트리는 것으로 나타났다. 목표 자극을 누르는 지점이 −X 방향 0.27mm, +Y 방향 1.40mm 더 치우치게 하는 효과를 가져다 주었다(Table 3).

수행 자세와 자극이 제시된 위치는 실험을 통해 수집한 종속변수 – 반응 시간과 반응 지점의 편향도 – 중에서 편향

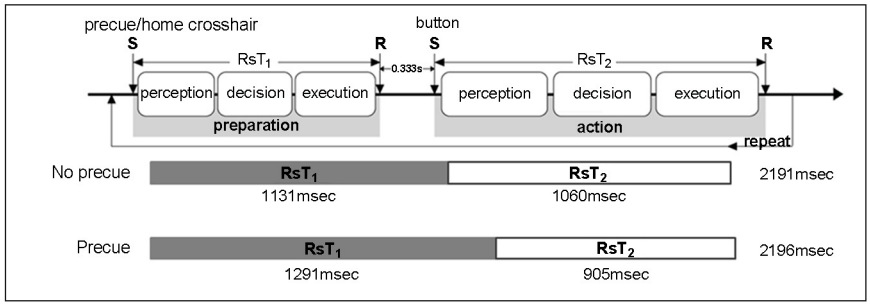

Figure 4. Changes in mean response times when precue was provided

Table 3. Paired t-test: changes in response time and accuracy affected by precue

Dependent variable	Precue	Mean	Std. Err.	95% C.I.		Mean difference (None - Given)	Std. error	Sig.
				Lower bound	Upper bound			
Response time (sec)	None	1.037	0.002	1.033	1.041	0.147	0.003	0.000
	Given	0.890	0.002	0.886	0.894			
X Deviation (mm)	None	1.09	0.02	1.06	1.13	-0.27	0.02	0.000
	Given	1.36	0.02	1.33	1.39			
Y Deviation (mm)	None	0.16	0.02	0.13	0.19	1.4	0.02	0.000
	Given	-1.24	0.02	-1.27	-1.21			

도에 유의한 영향을 주었다. 반면, 수행 자세는 반응 시간에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 관찰되었다(p=0.352). 한 손 및 두 손 조작 시 사전 단서 유무에 따른 반응 시간의 변화는 Figure 3과 같다.

반응 지점의 편향은 수행 자세에 따라 차이를 보였다. 세로 방향 즉 y축 편향은 한 손과 양 손 수행 경우 모두 사전 단서가 제시된 경우 편향의 크기가 증가하였다. 사전 단서가 제시되지 않은 경우는 한 손 수행의 경우, 터치 지점의 y축 편향이 1.34mm, 그리고 양 손 수행의 경우는 1.98mm였으며, 사전 단서가 제시된 경우, 즉 사전 단서가 자극의 위치에 대한 정보를 제공하는 경우는 이 편향의 크기가 7.87mm (한 손 조작)와 6.77mm(양 손 조작)로 증가하였다. 가로 방향의 편향에서는 사전 단서의 영향과 더불어 수행 자세에 따른 차이도 크게 관찰되었다. 한 손 수행에서는 x축 편향의 크기는 6.01mm에서 사전 단서를 제시하였을 때, 6.64mm로 증가하였으며, 양 손 수행의 경우는 0.56mm에서 1.63mm로 증가하였다.

즉, 양 손 수행의 경우 가로축 방향의 정확도는 한 손 수행보다 좋았음을 알 수 있다. 한편, 수행 자세와 상관없이 일관되게 관찰되는 현상은 사전 단서가 제시된 경우, 반응의 편향이 증가하는 것이다. 이는 시각 자극을 손가락 끝으로 터치할 때, 시각 자극의 중심에서 더 많이 벗어나서 터치함을 의미한다.

4. Conclusion

본 실험을 통해 시각 자극의 위치에 대한 사전 단서의 제공은 목표 자극에 대한 단순 반응 시간을 줄여주는 대신 반응의 정확도를 희생시키는 것으로 관찰되었다. 이는 속도가 증가하면 정확도가 낮아지는 일반적인 속도-정확도 상쇄(speed-accuracy tradeoff)에 부합하는 현상이다. 사전 단서의 제공과 속도-정확도 상쇄에 대해서 Godttsdanker (1992)가 언급하기는 하였으나, 기존의 사전 단서 연구 대부분이 반응의 정확도를 선택 반응에서 오류율을 사용하여, 동작 자체의 정확도라기 보다는 의사결정의 정확도를 측정했었다. 본 실험에서는 시각 자극에 의해 유도된 손가락 반응의 터치 지점에 대한 분석을 통하여 목표 지점을 누르는 동작 자체의 정확도를 시각 자극의 중심으로부터 편향을 측정하여 정량적으로 평가하였다. 이 결과, 시각 자극의 출현에 대한 사전 정보의 제공은 반응 속도를 증가시키는 장점이 있지만, 이때 증가된 속도만큼 정확도는 감소됨을 확인하였다. 반응 속도가 결정적인 인터페이스의 설계에는 사전힌트가 적극 활용될 수 있겠으나, 정확도가 중요한 인터페이스에서는 속도-정확도 상쇄에 대한 고려가 반드시 필요하다.

한편, 사전 단서의 제공은 목표 자극에 대한 반응 시간(RsT_2)은 단축하였으나, 그만큼 사전 단서를 처리하는 시간(RsT_1)이 증가하였다. 결과적으로 사전 단서와 목표 자극을 처리하는데 걸린 시간의 총합은 사전 단서가 위치에 대한 정보를 제공하는 경우와 그렇지 않은 경우(즉, 항상 정중앙에 출현하는 경우)의 차이가 5msec에 불과해 큰 의미가 없었다. 즉, 자극의 출현 위치에 대한 사전 단서의 제공은 다음 단계에서 처리해야할 위치에 대한 정보를 미리 처리하게 하여 반응 시간을 단축하는 효과는 있지만, 그 결과 반응의 정확도가 낮아지는 현상도 나타났다. 사전 단서를 처리하는 시간을 고려해보면, 전체 반응 시간은 동일하지만, 반응 정확도는 낮아진 것으로 볼 수 있다.

한편, 실험 전반에 걸쳐 모든 터치 반응에서 일관되게 관찰된 점은 우측 아래 방향으로의 편향이다. 사용자들이 목표한 위치와 터치스크린이 입력 지점으로 인식하는 위치를 분석한 결과 사용자들은 목표 지점으로 생각하는 곳에서 우측 아래를 누르는 경향을 보였으며, 그 오차는 가로 방향이 더 컸다. 과거 CRT display와 같이 image plane과 sensing plane이 분리되어 있는 터치스크린의 경우, 두 plane의 위상차에 의한 시차(視差)가 error vector를 발생시키는 주요

원인으로 연구되었으나, plane간에 위상차가 거의 없는 경우에도 이와 같은 error vector가 발생하는 것은 손의 구조 혹은 인지적 원인에 의한 행동특성으로 추후 연구가 필요하다고 생각된다.

Acknowledgements

This work was supported by the Hongik University new faculty research support fund.

References

Altinsoy, M. E. and Merchel, S., Audiotactile Feedback Design for Touch Screens. In M. E. Altinsoy, et al.(Ed), *Haptic and Audio Interaction Design*, Springer, Berlin, Heidelberg, 136-144, 2009.

Balagtas-Fernandez, F., Forrai, J. and Hussmann, H., "Evaluation of User Interface Design and Input Methods for Applications on Mobile Touch Screen Devices", *Proceedings of the 12th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction: Part I (INTERACT '09)*, Springer, Berlin, Heidelberg, 243-246, 2009.

Bates, T. and Stough, C., Improved reaction time method, information processing speed, and intelligence, *Intelligence*, 26(1), 53-62, 1998.

Becker, S., The stage of priming: Are intertrial repetition effects attentional or decisional? *Vision Science*, 48, 664-684, 2008.

Bock, O. & Eversheim, U., The mechanisms of movement preparation: a precuing study, *Behavioral Brain Research*, 108, 85-90, 2000.

Buckolz, E., Heywey, D., Khan, M. & Alain, C., The influence of attention and response factors upon the spatial precue effect, *Human Movement Science*, 13, 719-744, 1994.

Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A., *The psychology of human-computer interaction*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

Cheal, M. & Lyon, D. R., Importance of precue location in directing attention, *Acta Psychologia*, 76, 201-211, 1991.

Deary, I. J., Der, G. and Ford, G., Reaction times and intelligence differences: A population-based cohort study, *Intelligence*, 29(5), 389-399, 2001.

Fitts, P. M. and Seeger, C. M., S-R Compatibility: Spatial Characteristics of Stimulus and Response Codes, *Journal of experimental psychology*, 46(3), 199-210, 1953.

Fitts, P. M., *Human Information handling in speeded tasks*, IBM Research Center, Yorktown Heights, New York, 1959.

Gartner Inc., "Gartner Says Touchscreen Mobile Device Sales Will Grow 97 Percent in 2010", http://www.gartner.com/it/page.jsp? id=1313415, 2010.

Goodman, D. & Kelso, J. A. S., Are Movements Prepared in Parts? Not Under Compatible (Naturalized) Conditions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(4), 475-495, 1980.

Gottsdanker, R., Generalizations and extensions of the precue-utilization effect in rapid reactions, *Acta-Psychologica*, 79, 21-43, 1992.

Jensen, A. R. and Munro, E., Reaction time, movement time and intelligence. *Intelligence*, 3, 121-126, 1979.

Jin, Z. X., Plocher T. and Liana, K., Touch Screen User Interfaces for Older Adults: Button Size and Spacing. In S. Constantine(Ed), *Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity*, Springer, Berlin, Heidelberg, 933-941, 2007.

Kornblum, S., Hasbroucq, T. and Osman, A., Dimensional overlap: Cognitive basis of stimulus-response compatibility-A model and taxonomy, *Psychological Review*, 97, 253-270, 1990.

Koskela, T. and Vilpola, I., Usability of MobiVR Concept: Towards Large Virtual Touch Screen for Mobile Devices, In S. Brewster et al.(Ed), *Mobile Human-Computer Interaction - MobileHCI 2004*, Springer, Berlin, Heidelberg, 749-762, 2004.

Neubauer, A. C., Riemann, R., Mayer, R. and Angleitner, A., Intelligence and reaction times in the Hick, Sternberg and Posner paradigms, *Personality and Individual Differences*, 22(6), 885-894, 1997.

Parhi, P., Karlson, A. K. and Bederson, B. B., "Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices", *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services(MobileHCI '06)*, (pp. 203-210), New York. NY. 2006.

Park, Y. S. and Han, S. H., Touch key design for one-handed thumb interaction with a mobile phone: Effects of touch key size and touch key location, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 68-76, 2010.

Perry, K. B. and Hourcade, J. P., "Evaluating one handed thumb tapping on mobile touchscreen devices", *Proceedings of graphics interface 2008 (GI '08)*. Canadian Information Processing Society, (pp.57-64), Toronto, Ont., Canada, Canada, 2008.

Pickering, J. A., Touch-sensitive screens: the technologies and their application, *International Journal of Man-Machine Studies*, 25(3), 249-269, 1986.

Schellekens, J. M. H., Huizing, F. & Kalverboer, A. F., The influence of movement amplitude on precue-processing, *Human Movement Science*, 5, 249-262, 1986.

Sun, X., Plocher, T. and Qu, W., An Empirical Study on the Smallest Comfortable Button/Icon Size on Touch Screen. In A. Nuray(Ed), *Usability and Internationalization. HCI and Culture*, Springer, Berlin, Heidelberg, 615-621, 2007.

Wickens, C. D., Engineering Psychology and human performance, Columbus, OH, 1984.

Author listings

Ji Hyoun Lim: limjh@hongik.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial and Operations Engineering, University of Michigan
Position title: Full-time lecturer, Department of Industrial Engineering, Hongik University
Areas of interest: Computational Cognitive Modeling, User-Driven NPD

Junyoung Choi: liana83@snu.ac.kr

Highest degree: M.S.E., Industrial Engineering, SNU
Position title: Researcher Engineer, BPM/Mobile Development Team, HandySoft Korea Inc.
Areas of interest: User Interface, Usability Engineering

Youngsu Kim: davidkim83@handysoft.co.kr

Highest degree: M.S.E., Industrial Engineering, SNU
Position title: Research Engineer, BPM/Mobile Development Team, HandySoft Korea Inc.
Areas of interest: Usability Engineering, Statistical Data Analysis

Date Received : 2011-07-18

Date Revised : 2011-07-26

Date Accepted : 2011-07-26