Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 4 pp.9-16, November 2007

웨어러블 컴퓨터 환경에서 포인팅 인터페이스의 동적 이득 방법의 효율성 평가*

홍지영[1] · 채행석[1] · 한광희[2]

[1]연세대학교 인지과학연구소 / [2]연세대학교 심리학과

Evaluating Performance of Pointing Interface of Dynamic Gain Control in Wearable Computing Environment

Ji-Young Hong[1], Haeng-Suk Chae[1], Kwang-Hee Han[2]

[1]Center for Cognitive Science, Yonsei University, Seoul, 120-743
[2]Department of Psychology, Yonsei University, Seoul, 120-743

ABSTRACT

Input devices of wearable computer are difficult to use, so a lot of alternative pointing devices have been considered in recent years. In order to resolve this problem, this paper proposed a dynamic gain control method which is able to improve the performance of wearable pointing device and showed an experimental result comparing this method with conventional method. Also the effects of methods were compared in terms of device (wearable and desktop). The result of calculating throughputs(index of performance) by Fitts' law showed that the pointing performance in dynamic gain condition was improved 1.4 times more than normal gain.

Keyword: Wearable Computing, Pointing Interface, Sticky Icon, Dynamic gain control, Fitts' law

1. 서 론

Steve Mann(1998)이 Wearable Computer의 개념을 처음 제안한 이래 많은 형태의 Wearable Computer가 제안되어 왔다. 웨어러블 컴퓨터는 기존의 컴퓨팅 기기를 쓰고, 입는 개념에서 출발하여 최근에는 의류 신소재와 소형 기기를 결합하여 보다 입기에 자연스럽고 편안한 형태가 많이 제안되고 있다. 웨어러블 컴퓨터는 현대인이 이동 중 혹은 여러 작업 장소와 맥락에서 시간과 장소에 제한없이 컴퓨팅 능력을 사용할 수 있다는 점에서 환영받고 있으나 한편으로는 인터페이스나 성능 측면에서 모두 기존의 데스크탑 컴퓨터에 비해 매우 낮은 사용성을 감내할 수 밖에 없다. 부족한 메모리나 저장 용량의 문제는 차치하고라도 작고 보기 불편한 출력 화면, 기존의 QWERTY 자판이나 적절한 소형 기기를 위한 작은 텍스트 엔트리 디바이스, 공간 좌표 입력을 위한 마우스 장치 대신 핸드헬드 포인팅 디바이스 등을 이용해야 하는 불편이 있다. 이러한 기존 입출력 기기의 대안으로 동작 인식(Gesture Recognition), 음성 인식(Voice Recognition) 등이 속속 개발되고 있으나 아직 일반인이 사용할 수 있을 만큼의 정확도와 안정성을 보이는 기기는 거의 없다. 현재 상황에서 흔히 웨어러블 컴퓨터에 채택되고 있는 입출력 장치는 HMD, 소형 키보드, 마우스가 아닌 핸드헬드 2차원 포인팅 디바이스 등이 일반적이다. 이러한 상

*본 연구는 2005년도 산업자원부 중기거점과제의 지원으로 수행되었음(2005-8-1177).
교신저자: 한광희
주 소: 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134, 전화: 02-2123-4723, E-mail: khan@yonsei.ac.kr

황에서 웨어러블 컴퓨터에서 또 하나 주목되고 있는 이슈 중 하나는 웨어러블 컴퓨터의 GUI는 어떠한 형태로 제작되어야 하는가 이다. 기존 연구에 의하면 웨어러블 컴퓨터 연구에서 GUI나 OS의 문제는 거의 무시되거나 기존 Desktop OS, 혹은 Palm Top 컴퓨터의 OS나 GUI를 채택하는 것으로 한정되어 왔다(Keyes, 2000; Bristow, Baber & Woolley, 2002; Lyons & Starner, 2001).

Keyes(2000)나 Schimidt 등(2000)은 기기의 특성에 맞춘 GUI를 제안하고 있기도 하다(Keyes, 2000; Gellersen & Thate, 2000).

HMD의 측면에서는 최근 Xybernaut 사에서 채택된 MicroOptical, 디오컴 비에터 등의 비교적 고해상도를 제공하는 기기가 개발되었고 텍스트 엔트리 디바이스에서는 Twiddler, Half keyboard, 포인팅 디바이스로는 돌핀 마우스 자이로를 이용한 공간 입력 장치(Gyromouse, Smart Pen) 등이 개발되어 연구에 이용되고 있다.

그러나 이러한 입력 장치들은 기존의 OS에서 그대로 이용하기에는 매우 어려운 실정이다. 특히 포인팅 장치의 경우 장치 자체의 특성상 떨림을 보이는 경우도 있고 장치가 비교적 정교하다 해도 손을 공중에 정지시킨 채로 작업하기 때문에 손떨림이나 몸의 흔들림 등의 요인으로 인해 정확한 포인팅이 어려운 경우가 많다. 이러한 문제점을 소프트웨어 수준에서 개선하기 위해 Brewster(2002)는 Non-Speech Sound와 간단한 수준의 Gesture Recognition을 통해 공간 좌표 입력 특성을 개선하고자 했고 Lehikoinen & Roykkee(2003)는 1차원 포인팅을 통해 2차원의 복잡성을 감소시키고 정확성과 포인팅 속도를 높이고자 하였다. 그러나 이러한 방법들은 많은 메뉴나 아이콘을 배치하기에는 어려운 점이 많다. Brewster(2002)의 연구는 많아야 4~5개 이상의 메뉴를 배치할 수 없고 Lehikoinen(2003)은 2차원 공간상에 분포된 아이콘이 중심점으로부터 같은 거리에 위치할 경우 가상적 거리를 이용하여 중복을 해결하였는데 이때 2차원적으로 먼 거리에 위치하는 아이콘이 1차원적으로는 상당히 가까운 거리에 배치되어 있을 때 매우 세밀한 포인팅이 필요하므로 또한 만족스럽지 못하다고 볼 수 있다.

위의 연구들처럼 현재 상황에서 데스크탑 GUI를 기본 모델로 하여 입출력 장치의 특성에 맞도록 개선해주는 연구가 가장 현실적이라고 볼 수 있으나 아직 만족스런 포인팅 인터페이스의 대안이 나오고 있지 못한 실정이다.

이러한 관심에 대한 한 가지 가능성 있는 대안으로 과거 데스크탑 컴퓨터에서 노인의 부정확한 포인팅을 개선해 주기 위해 Worden 등(1997)이 연구한 Sticky Icon과 Area Cursor는 노인들에게 있어서 상당한 정확성의 개선을 보여주었다. Area cursor는 작은 화면에 큰 커서를 적용하기에 무리가 있으나 Sticky Icon은 여타의 제한점을 갖고 있지 않아 웨어러블 컴퓨터의 포인팅 입력 장치에 적용하기에도 적합하다고 본다.

따라서 본 연구에서는 Worden 등(1997)이 개발한 Sticky Icon이 웨어러블 컴퓨터의 포인팅 장치에 대한 GUI의 일부로서 사용될 때 과거 데스크탑에서의 연구와 같이 정확성의 개선을 보여주는지 알아보고자 하였다.

1.1 Fitt's Law를 이용한 포인팅 장치 성능 평가 모형

포인팅 장치의 수행을 비교하기 위해서는 속도와 정확성을 측정하는 것이 일반적이다. 그러나 이 수치들은 과제의 난이도에 따라 영향을 받으므로 서로 다른 과제를 사용한 연구들간의 수행을 비교할 수 없다. 서로 다른 과제간의 비교를 위해서는 표준화된 과제를 사용하여 일치시키거나 표준화된 측정 방법을 사용해야만 한다.

Fitts(1954)가 제시한 모형에 의하면 목표 운동(aimed movement)에서 운동 과제의 난이도(index of difficulty, ID)는 목표물까지의 거리 A(Amplitude)를 목표물 자체의 크기 W(Width)로 나눈 값의 로그함수에 비례한다고 보았다. Fitts의 모형은 Shanon의 정보이론에서 정보처리의 Bandwidth가 신호를 소음으로 나눈 값의 로그에 비례한다는 주장에 근거하여 목표물까지의 거리를 소음으로, 목표물 자체의 크기를 신호로 유추하여 세운 공식이다. 따라서 이러한 맥락에서 과제의 난이도는 정보량 "bit" 단위로 계산된다.

여기서 식 1은 일반적인 Fitts' law에서 정의된 $ID=\log_2(2A/W)$(Fitts, 1954)와 달리 정의되었는데, 그것은 Zhai(2004)에 따르면, 만일 목표물까지의 거리 A가 0인 경우 ID는 음의 무한대가 되므로 이론적으로 적합하지 않기 때문에 Mackenzie(1989)가 주장한 바와 같이 식 1로 쓰는 것이 합리적이라고 보았기 때문이다.

한편 운동시간은 식 2와 같이 과제난이도에 따른 간단한 선형모형으로 예측될 수 있다. 식 2와 같은 선형모형에 의해 각 과제에 따른 사용자 수행의 평균값을 이용하여 식 3과 같이 장치의 성능(throughput, TP)을 계산할 수 있다. 일반적으로 간단히 장치의 성능을 계산하는 경우 식 3과 같이 사용되기도 했으나 이같이 계산하는 경우 ID에 따라서 TP가 선형적으로 달라지는 결과가 나타나게 되므로 과제난이도에 따라 변화하지 않는 일관된 성능 지표로 사용하기 어렵다. 따라서 TP는 회귀식의 기울기의 역수로 정의하는 것이 타당하다(이 논의에 대한 상세 내용은 Zhai(2004)를 참고하시오).

$$ID = \log_2(A/W + 1) \quad (1)$$

$$MT = a + b\ ID \quad (2)$$

$$TP = ID_{average} / MT_{average} \quad (3)$$

$$TP = 1/b \quad \cdots\cdots (4)$$

1.2 Dynamic Gain Control & Sticky Icon

Sticky Icons은 Gain control을 통하여 사용자의 커서가 아이콘을 쉽게 포인팅 할 수 있도록 도와주는 방법이다(Worden, 1997). Fitts' Law(1954)에 따르면 포인팅 장치를 이용하여 아이콘을 선택할 때 이동시간(Movement time)은 목표 아이콘까지의 거리 A에 비례하고 크기 W에 반비례한다.

그러나 Dynamic Gain control을 사용하면 이동시간을 감소할 수 있다는 연구들이 있다(Keyson, 1997). Dynamic Gain Control은 시간에 따라 마우스의 C/D 비(Control/Display 비)를 실시간으로 변화시킴으로서 사용성의 향상을 꾀하는 방법이다. Worden 등(1997)의 연구의 경우 목표 아이콘 안에 커서가 들어올 때 Gain ratio를 3:1로 감소시킴으로서 이동시간의 감소가 일어났다고 보고하였다.

본 연구에서는 국내 웨어러블 컴퓨터 연구에서 사용되었던(육형민 등, 2003) 포인팅 장치인 핸드헬드 트랙볼과 HMD를 이용할 때 Sticky 아이콘이 과거 연구에서처럼 이동시간을 감소시켜 줄 수 있는지 알아보았다. 본 연구의 가설을 정리하자면, 기존의 데스크탑 컴퓨터의 모니터와 마우스 상황에서는 사용자들이 마우스라는 입력 장치에 매우 익숙하고 빠른 반응을 보이기 때문에 Sticky Icon 인터페이스는 큰 효과를 보이지 못할 것이지만 HMD와 트랙볼처럼 익숙지 못하고 불편한 상황에서는 사용성의 개선이 일어날 것이라고 보았다.

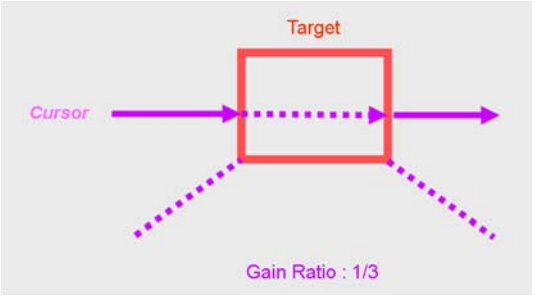

그림 1. Sticky Icon의 원리

본 연구의 가설은 다음과 같다.

H1: 데스크탑 컴퓨터의 모니터와 마우스 상황에서 Sticky Icon interface는 Normal 인터페이스와 포인터 이동시간의 차이가 없다.

H2: 웨어러블 컴퓨터의 HMD와 핸드헬드 트랙볼 상황에서 Sticky Icon interface는 Normal 인터페이스보다 이동시간이 적을 것이다.

H3: Sticky Icon interface는 큰 아이콘을 선택할 때에 비해 작은 아이콘을 선택할 때 Normal 인터페이스에 비해 이동시간의 감소폭이 클 것이다.

2. 연구방법

2.1 실험참가자

연세대학교 재학중인 학부생과 대학원생 참가자 16명을 대상으로(20~27세) 실시하였다. 이들은 연세대학교 심리학 교양 수업에서 과목 이수를 위한 과제로서 실험에 참여하였다.

2.2 장비

IBM 호환 Pentium-III 컴퓨터, 데스크탑 조건에서는 17인치 완전평면 모니터와 일반적인 마우스를 사용하였고, 웨어러블 컴퓨팅 조건에서는 MicroOptical™ Head-Mounted Display(그림 2)와 Dolphin Mouse™(그림 3)를 사용하였다. 포인터의 이동을 측정하기 위한 소프트웨어를 Visual Basic 6.0으로 자체 제작하였다. 이 소프트웨어는 mouse move event를 포착하여 마우스 포인터의 위치에 따라 mouse speed를 조절해주고 mouse click event가 일어난 시간을 천분의 일초 단위로 측정하였다.

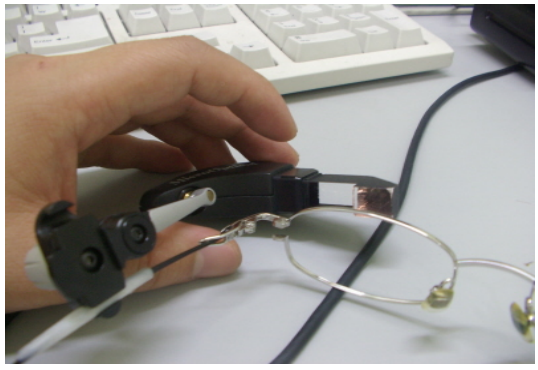

그림 2. MicroOptical™ Head-Mounted Display

실험에 사용된 HMD의 전체 화면의 시각도(Visual angle)는 안경에 부착하여 착용한 상태에서 측정한 결과 가로 13.9°, 세로 9.8°였고 데스크탑 조건에서의 모니터의 시각도는 가로 23.2°, 세로 17.3°였다.

그림 3. Dolphin Mouse™

그림 5. 웨어러블 컴퓨팅 조건의 실험 장면

2.3 실험 설계

실험은 4요인의 혼합 요인설계(mixed factorial design)으로 참가자 간(between-participant) 조건으로 입출력 기기의 2수준(데스크탑, 웨어러블)와 참가자 내(within-participant) 조건으로 인터페이스 형태 2수준(normal 인터페이스, sticky icon 인터페이스), 이동 거리 3수준(distance =200, 300, 400 pixels), 아이콘의 크기(size=8, 16, 24 pixels)로 설계되었다.

2.4 실험 절차

실험참가자는 무선적으로 각 조건에 배치되었다. 8명의 참가자는 데스크탑 조건에 배치되었고(그림 4) 나머지 8명의 참가자는 웨어러블 컴퓨터 조건(그림 5)에 배치되었다. 두 조건 모두 30분간의 실험을 실시하였으나 웨어러블 컴퓨터 조건의 참가자들은 실험을 시작하기에 앞서 약 5분간 실험자의 지시에 따라 장비에 친숙해질 수 있도록 하는 시간을 가졌다.

그림 4. 데스크탑 컴퓨팅 조건의 실험 장면

모든 참가자들은 2회의 실험 세션(session)에 참가하였는데 각 세션은 연습시행, 본시행과 비구조적 인터뷰로 이루어져 있었다. 두 세션 중 한 세션은 정상(normal) 인터페이스를 사용하였고 나머지 한 세션에서는 sticky icon 인터페이스를 사용하였다. 인터페이스의 사용 순서는 역조건화(counter-balancing)하여 연습효과에 의한 편향(bias)을 최소화 시키고자 하였다.

세션이 시작되면 지시문이 나오고 실험참가자들은 화면 좌측에 위치한 H(16 pixel 크기의 포인터의 시작점) 정사각형 아이콘을 클릭한 뒤 가능한 한 빠른 시간 내에 목표 아이콘(빨간 외곽선의 정사각형)을 클릭하도록 지시받았다(클릭에 성공하기까지 해당 시행은 종료되지 않는다). 클릭에 성공하면 '다음' 이라고 표시된 아이콘이 나타나고 이것을 클릭하면 목표 아이콘이 화면상에 표시되며 참가자는 다시 H 아이콘으로 포인터를 가져가도록 하였다(그림 6).

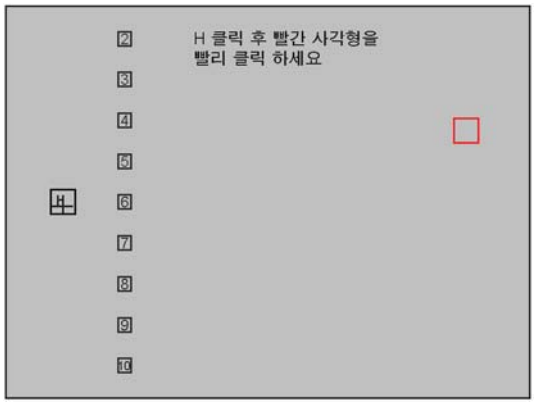

그림 6. 실험화면

한 세션은 4블록으로 구성되었고 첫 번째 블록은 연습시행 블록으로, 2,3,4 블록을 본시행으로 설정하였다. 연습시

행 블록은 본시행 블록과 모든 자극과 방법이 동일하였으나 분석에는 본시행인 2,3,4 블록만을 분석하였다. 하나의 블록 내에서는 이동 거리(3) × 아이콘 크기(3) × 출발점과 아이콘의 각도(−10, 10 deg.)에 따라 18회의 시행이 실시되었다. 출발점과 아이콘의 각도를 수평으로 하지 않은 것은 실험에 사용된 트랙볼이 수평으로 고정되려는 특성이 있어 이로 인한 오염을 최소화 시키기 위함이었다.

실험 전 참가자들에게 인터페이스의 특성에 대해 알려주지 않은 채 실험에 임하였다. 실험이 끝난 뒤 normal 인터페이스와 sticky icon 인터페이스를 여유로운 상태에서 다시 시도해 보게 한 뒤 포인터의 느낌에 대한 인터뷰를 실시하였다.

3. 연구결과

3.1 평균 탐색시간 분석

본 첫 번째 블록은 연습시행으로, 연습효과에 의한 극단치를 최소화하고자 본시행(2,3,4) 블록의 결과만 분석에 이용하였다.

본시행(2,3,4) 블록의 연습효과가 나타났는지 알아보기 위해 블록간 반복측정에 의한 변량분석결과 Desktop 상황과 Wearable 상황 모두 블록간 평균 이동시간의 차이는 유의하게 나타나지 않았다($F(2,14)=0.042$ *n.s.*; $F(2,14)=1.523$ *n.s.* 동순).

각 조건별 이동시간 평균과 표준편차는 표 1에 제시되어 있다. Desktop 조건에서 normal 인터페이스와 sticky 인터페이스의 이동시간의 평균차는 $F(1,7)=5.865$, $p=.046$, $\eta 2=.457$으로 유의하였고 Wearable Computer 조건에서는 $F(1,7)=4.528$, $p=.071$, $\eta 2=.402$로 5% 임계치 내에서 유의미하지는 않았지만 임계치에 근접한 결과를 보였다.

표 1. 각 조건별 이동시간 평균과 표준편차

(단위: msec)

Device	Interface	Mean	Std. Dev.
Desktop	Normal	895.8	47.3
	Sticky	825.1	79.0
Wearable Computer	Normal	2182.5	242.5
	Sticky	2033.3	413.7

Size에 따른 이동시간의 추세분석결과 Desktop 조건과 Wearable 조건에서 모두 선형적(linear) 및 곡선적(quadratic) 추세변화가 유의미하였다(Desktop−linear: $F(1,7)=96.018$, $p<.001$, $\eta 2=.932$; Desktop−quadratic: $F(1,7)=16.591$, $p=.005$, $\eta 2=.703$; Wearable−linear: $F(1,7)=143.477$, $p<.001$, $\eta 2=.953$; Wearable−quadratic: $F(1,7)=46.063$, $p<.001$, $\eta 2=.868$).

Wearable 조건에서 Sticky 인터페이스는 normal 인터페이스에 비해 평균적으로 149.2msec 적은 이동시간이 소요되었으나 특히 목표 아이콘의 크기가 작은 경우(size=8 pixel) Sticky와 normal 각각 2465.9msec 2871.4msec로 이동시간의 차이가 405.5msec으로 관찰되었다($F(1,7)=6.679$, $p=.036$, $\eta 2=.488$). 즉 목표 아이콘의 크기가 작을 경우 Sticky 인터페이스의 효과는 다른 경우에 비해 커진다고 볼 수 있다.

3.2 인터뷰 결과

실험이 끝난 후 실시한 인터뷰(unstructured interview) 결과 실험참가자들은 Stikcy Icon 인터페이스에 대해 "느린 것 같다", "뻑뻑하다", "끊기는 느낌이다", "감도가 높다.", "조금만 움직여도 많이 가는 느낌이다.", "아이콘으로 커서가 쏠린다.", "집중된다", "붙는다." 등의 단어로 느낌을 표현하였다.

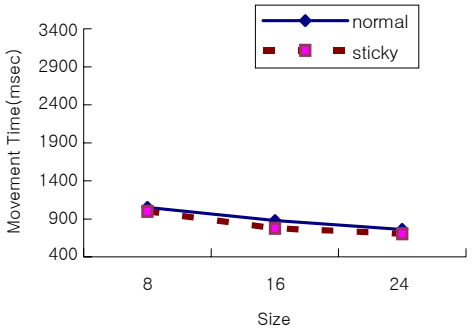

그림 7. 데스크탑 컴퓨팅 조건의 크기별 이동시간

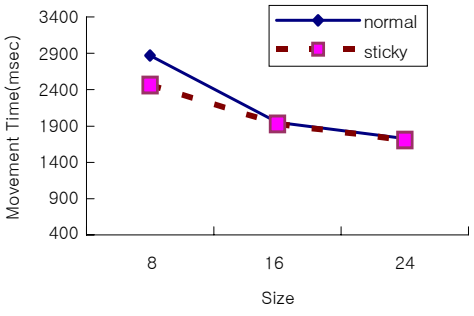

그림 8. 웨어러블 컴퓨팅 조건의 크기별 이동시간

어떤 인터페이스에서 수행이 좋았다고 느끼는가에 대한

질문에는 "잘 모르겠다" 거나 "연습이 되어서 나중에 한 것이 더 잘한 것 같다"는 등 대부분 모호한 대답을 하였다. 또한 대부분의 참가자들이 실험 중에는 Sticky Icon 인터페이스의 독특한 특성에 대해서 느끼지 못했다고 보고하였다.

3.3 Fitt's law에 의한 수행 성능 분석

난이도 지표(index of difficulty, ID)는 목표 자극의 크기와 거리에 따라 계산된다. 난이도 지표의 범위는 3.222bit (D=200, W=24)로부터 5.672bit(D=400, W=8)였다. 성능 지표를 구하기 위해 각 난이도 지표에 따른 수행 시간을 SPSS 12.0을 이용하여 선형 회귀 분석(linear regression)을 실시하였다. 서론에서 논의한 바와 같이 회귀 분석의 B값(기울기)의 역수는 성능 지표로 사용된다.

웨어러블 컴퓨팅 조건(HMD와 hand-held trackball)에서는 정상 이득 조정(normal gain control, 조작을 가하지 않은 경우)을 사용하였을 때 B값은 0.63으로 역수를 취하면 1.59bps가 된다. 한편 동적 이득 조정(dynamic gain control)을 적용하였을 때 B값은 0.45로 성능 지표는 2.22 bps였다. 즉 동적 이득 조정 방법은 정상 이득 조정 방법에 비해 1.4배의 수행 효율성을 갖는다. 한편 데스크탑 컴퓨팅 조건(모니터와 마우스)에서는 정상 이득 조정의 경우 B=0.68로 성능 지표는 6.25bps, 동적 이득 조건의 경우 B=0.17로 성능 지표는 5.88bps가 된다. 즉 오히려 동적 이득 방법은 성능을 0.98배 정도 저하시킨다.

이러한 결과는 동적 이득 방법이 데스크탑 컴퓨팅 조건에서는 아무런 이득이 없거나 오히려 수행을 저하하는 결과를 가져오나 웨어러블 컴퓨팅 조건에서 동적 이득 방법(dynamic gain control)을 사용하였을 때 약 1.4배의 수행 효율성을 갖는다고 것을 의미한다. 즉, 웨어러블 컴퓨팅 장비와 같이 익숙하지 않은 포인팅 인터페이스와 화면을 사용해야 할 경우 동적 이득 조정 방법에 의해 수행 성능을 향상시킬 수 있었다는 것을 의미한다.

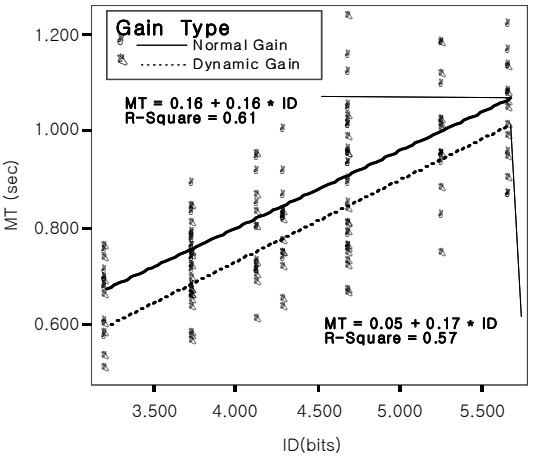

그림 9. 데스크탑 조건에서 난이도 지표에 따른 선형 회귀 분석 결과

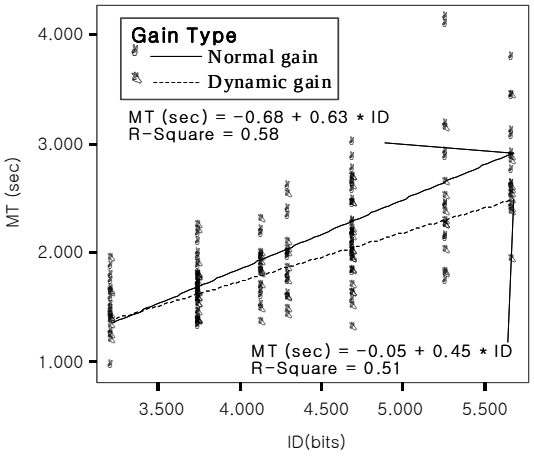

그림 10. 웨어러블 컴퓨팅 조건에서 난이도 지표에 따른 선형 회귀 분석 결과

4. 결론 및 논의

평균 반응시간에 대한 결과를 볼 때 Sticky Icon 인터페이스는 Desktop 상황과 Wearable Computer 상황 양쪽에서 대체로 수행 효율의 증가를 보인다(H2를 지지, H1을 기각). 비록 Wearable Computer 상황에서의 수행 효율 증가는 5% 임계치 수준에서 유의미한 결과를 보이지는 못했으나 비교적 근접하였고, 특히 아이콘의 크기가 8 pixel로 매우 작을 때 normal 인터페이스에 비하여 유의미한 수행의 증가를 보였다(H3을 지지). 또한 이러한 수행의 증가를 의식적으로 느끼지는 못한 것으로 보인다. 평균 반응시간 분석으로 내릴 수 있는 결론은 아이콘의 크기가 충분히 작을 때 동적 이득 조정의 효과가 나타난다는 점이다. 그러나 이러한 결론으로는 다양한 소프트웨어 화면 상황에서 수행을 예측하는 데 도움이 되기 어렵고, 또한 포인팅 장치간의 수행 차이를 정량적으로 비교하는데도 무리가 있다.

즉, 과제의 난이도에 따라 유의미한 차이가 나타나는지의 여부가 다르며, 인터뷰 결과에 따르면 참가자 본인들이 조정 방법의 차이를 심리적으로 지각하지도 못했기 때문에 이득 조정에 의한 효과를 탐지해내기에는 평균 반응시간의 분석만으로는 부족하다.

그러나 Fitt's law에 따라 과제난이도를 고려한 장치의 성능 지표로 환산하게 되면 웨어러블 컴퓨팅 장치에서 동적

이득 조정의 효과는 약 1.4배 정도의 이득을 보이게 된다. 한편 이러한 성능 지표는 다양한 종류의 목표 자극의 크기와 거리가 존재하는 다른 실험에서도 근거로써 사용될 수 있는 표준화된 지표이다.

본 연구의 의의는, 첫째, 웨어러블 컴퓨터 상황에서 GUI의 화면을 담당하는 출력 장치의 화면 해상도나 시야각은 일반적으로 Desktop 출력 장치에 비해 작은 편이다. 그러나 내비게이션이나 복잡한 도면 등 작은 화면에 많은 대상물을 표현해야 하고 사용자가 선택해야 하는 상황에서 동적 이득 조정 방법은 공간 입력의 효율성을 증진시켜 주기 위한 하나의 대안으로서 가능성이 있다고 볼 수 있다.

둘째, 이득 조정 방법에 의한 측정을 Fitt의 모형에 따라 표준적인 수치로 분석함으로써 장치 및 방법(algorithm)간 성능 비교가 효과적으로 수행될 수 있으며, 이 사실은 앞으로 개발될 많은 웨어러블 컴퓨터의 포인팅 입력 장치들에 대한 평가 연구에 근거 자료로 사용될 수 있다.

한편 본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, Wearable Computer의 공간 입력 기기로서 트랙볼만을 적용했다는 점은 다양한 웨어러블 장치를 적용해보지 못했다는 한계를 지닌다. 둘째, 응용프로그램(application)이 아닌 실험 상황에서 실험이 이루어졌기 때문에 주변에 방해가 되는 아이콘이 많은 경우를 고려하지 못했다는 점이다. 본 방법의 특성상 방해 아이콘이 많아지면 포인팅 장치의 이동 경로에서 목표가 아닌데도 속도가 줄어드는 현상이 발생하게 된다. 다만 지도 어플리케이션에서 매우 작은 크기의 특정 몇몇 지점의 선택과 같이 대체로 아이콘의 크기가 작고, 밀도가 높게 배치되어 있는 경우 방해 아이콘의 효과는 작을 것이다. 셋째, Sticky Icon의 효과가 전반적으로 매우 작아서 사용자들이 마우스처럼 편안하게 사용하기에는 아직 어렵다는 점이다. 근본적으로 트랙볼의 경우 현재 가장 어려웠던 조건에서 마우스보다 거의 3배의 이동시간이 걸리는데 Sticky Icon은 약 0.6초 정도밖에는 감소시켜 주지 못했다. 또한 변량분석결과에서 8 pixel의 크기에서만 유의미한 결과가 나타났다는 점 또한 효율성 증대의 측면에서 미미하다는 점을 시사하는 결과이다. 그러나 포인팅 작업은 매우 반복적으로 적용되기 때문에 미미한 효율성 증가라도 전반적인 작업 수행에 큰 영향을 줄 수 있다. 또한 익숙하지 못한 포인팅 입력 장비를 사용해야만 하는 사용자는 보통 큰 좌절감을 경험하기 때문에 이에 대한 개선 노력은 매우 중요하다.

웨어러블 컴퓨팅에서의 포인팅 입력 수행을 개선하기 위하여 앞으로 연구되어야 할 측면이 많다. 첫째, 트랙볼이 아닌 자이로형 공간 입력 장치, 조이스틱, 포인팅 스틱, 터치패드 등의 대안과 그 효율성에 대하여 고려해 보아야 할 것이고, 둘째, 복잡한 실제 응용프로그램(application) 상에서 동작하며 실험실 밖의 실외 환경에서 걷거나 말하는 등 자연스런 일상적 맥락에서 실험이 이루어져야 할 것이다. 셋째, 효율성을 더 개선할 수 있는 다른 형태의 인터페이스도 고려해 보아야 할 것이다.

감사의 글

이 논문의 출판 비용은 연세대학교 BK21 사업단(2단계)의 지원을 받았음.

참고 문헌

육형민, 전명훈, 이희승, 성지하, 황신웅, 노윤진, 손영우. 지능형 자켓 디자인을 위한 사용성 요인 추출, *한국 감성과학회지*, 6(3), 89-99, 2003.

Brewster, S., Overcoming the lack of screen space on mobile computers, *Personal and Ubiquitous Computing*, 6, 188-205, 2002.

Bristow, H. W., Baber, J. C. & Woolley, S., Evaluating contextual information for wearable computing, *Sixth International Symposium on Wearable Computers,* 2002.

Fitts, P. M., The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391, 1954.

Keyes, E., *The Enchantment Window Manager: A Wearable Computing User Interface*, http://www.media.mit.edu/wearables/mithril/enchantment.html, 2000.

Keyson, D. V., Dynamic cursor gain and tactual feedback in the capture of cursor movements. *Ergonomics*, 40(12), 1287-1298, 1997.

Lehikoinen, J. & Roykkee. M., 1D selection of 2D objects in head-worn displays. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7, 44-52, 2003.

Lyons, K. & Starner T., Mobile Capture for Wearable Computer Usability Testing, *Fifth International Symposium on Wearable Computers*, 2001.

Mackenzie, I. S., A note on the information-theoretic basis for Fitts' law. *Journal of Motor Behavior*, 21, 323-330, 1989.

Mann, S., "WEARABLE COMPUTER as means for PERSONAL EMPOWERMENT", keynote address for ICWC-98, 1998.

Schmidt, A., Gellersen, H. & Thate, O., Developing User Interfaces for Wearable Computers - Don't Stop to Point and Click, *Intelligent Interactive Assistance & Mobile Multimedia Computing*, 2000.

Thomas, B., Grimmer, K., Zucco, J. & Milanese, S., Where does the mouse go? An investigation into the placement of a body-attached touchPad mouse for wearable computers. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6, 97-112, 2002.

Worden, A., Walker, N., Bharat, K. & Hudson, S., Making Computers Easier for Older Adults to Use: Area Cursors and Sticky Icons, *Proceedings of CHI 97 Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM Press, 266-271, 1997.

Zhai, S., Characterizing computer input with Fitts' law parameters -- the information and non-information aspects of pointing. *International*

journal of Human-Computer Studies, 61, 791-809, 2004.
<참고 Web Site>
• www.shinasystem.com/home/ing_product _5.asp
• www.microopticalcorp.com/DOCS/SV-3-6.pdf
• www.deocom.com/product_01.htm
• www.halfkeyboard.com
• www.handykey.com/site/twiddler2.html
• www.sico.co.kr
• www.m-inf.com

◐ 저자 소개 ◑

❖ 홍 지 영 ❖ hongcom73@gmail.com
연세대학교 인지과학 협동과정 인지공학전공 박사
현 재: 연세대학교 인지과학연구소 전문연구원
관심분야: 인지공학, HCI, Wearable Computing

❖ 채 행 석 ❖ acechae19@yonsei.ac.kr
연세대학교 인지과학협동과정 인지공학전공 박사 수료
현 재: 연세대학교 인지과학연구소 연구원
관심분야: 인지공학, HCI, Wearable Computing

❖ 한 광 희 ❖ khan@yonsei.ac.kr
연세대학교 심리학 박사
현 재: 연세대학교 심리학과 교수
관심분야: 인지공학, HCI

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 09월 21일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 10월 03일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 10월 04일