

주시선을 이용한 입력기기의 수행도 모델링 Performance Modelling in an Eye-gaze Controlled Input Device

박경수* 반영환* 이경태**

Index of performance is derived from consideration of movement times in routine selection tasks. The discrete movement task employed in this study consisted of moving a cursor from the home position to targets located 6.8, 15.9, 25.0, and 34.0 cm. The target widths were 2.3, 4.5, and 6.8 cm. Eight subjects with no movement disabilities took part in the experiment. Fitts' law is found to be applicable in this experiment.

1. 서론

인간과 컴퓨터의 능력에 비해 좁은 대역의 인터페이스로 서로 정보를 교환하기 때문에 인간과 컴퓨터 상호작용에서 많은 문제가 발생한다(E. R. Tufte 1989). 인간은 감각기관의 본래적인 특성 때문에 제한을 받고, 컴퓨터는 개발할 수 있는 입출력 기술의 한계 때문에 제한을 받는다. 최근에는 컴퓨터에서 인간으로 정보를 제공하는 방법이 많이 개선되었다. 화면의 출력 방식이 문자방식에서 그래픽 방식으로 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 방식으로 변했고, 멀티미디어의 급격한 발전으로 동영상, 음성 등 정보의 전달 대역(bandwidth)이 넓어지고 있다. 하지만 컴퓨터로 정보를 제공하는 방법은 키보드, 마우스가 개발된 이후 큰 진전이 없었다. 최근에는 터치 스크린, 트랙볼 등이 사용되고, 음성을 이용한 입력방법도 상용화되고 있지만 정보의 전달대역은 제한되어 있다. 그러므로 주시 움직임(gaze movements)을 정보의 입력방법으로 사용하는 것은 정보의 전달대역을 넓히는데 도움을 준다. 주시 움직임이 시각 정보를 얻기 위한 방법이 아니라 정보를 주는 출력기관으로 사용되는 것은 새로운 것이 아니다. 고대의 상인들은 물건을 팔 때 고객들의 눈을 살피고서 흥정을 했다. 또한 사람들 사이에서 눈짓으로 방향을 가리키는 일은 아주 흔한 일이다. 이런 주시(注視) 움직임을 컴퓨터와의 인터페이스로 사용할 수 있는 것은 눈의 움직임을 측정할 수 있는 기술의 발전에 기인한다. 주시 움직임을 컴퓨터의 입력방법으로 사용하기 위해서는 주시 입력기기를 사용할 때의 수행도 평가가 필요하다

본 연구의 목적은 주시 입력 기기(eye-gaze controlled input device)에서 難度(index of difficulty)와 이동시간(MT; movement time)과의 관계를 알기 위해서이다. 난도는 타겟의 너비(W; width)와 타겟까지의 거리(D; distance)의 함수로 다음과 같이 표현된다.

$$ID = \log_2(2D/W)$$

Fitts가 이동시간이 난도에 비례한다는 것을 알아낸 이후(Fitts, 1954) 신체의 여러 움직임에 대해 Fitts의 법칙이 잘 적용된다는 것이 연구되었다. 또한 이 움직임의 특성은 입력기기의 평가에도 응용이 되는데, 수행지수(index of performance)를 다음과 같이 정의한다.

* 한국과학기술원 산업공학과

** 대불대학교 기계산업시스템공학부

$$MT = a + b \cdot ID$$

$$IP = 1/b(\text{bits/s}) \quad IP : \text{수행지수}$$

일반적으로 수행지수가 높은 것이 성능이 더 뛰어난 입력기기임을 보여주는 하나의 지표가 된다. 하지만 수행지수의 값을 비교해서 입력기기를 평가하는 것은 주의가 필요하다. 이 지수는 이동시간의 관점에서만 파악한 하나의 지표이고, 같은 입력기기라도 실험조건에 크게 영향을 받는 값이기 때문이다. 마우스의 수행지수를 측정한 것이 표 1-1 에서 나타나 있는데(MacKenzie, 1992), 수행지수가 2.3~12.0 bits/s로 변화량이 크다.

표 1-1 마우스를 이용한 Fitts' Law 연구에서의 예측식과 수행지수

Study	Prediction equation(ms)	IP(bits/s)
Boritz et al., 1991	$MT = 1320 + 430 ID$	2.3
Epps, 1986	$MT = 108 + 392 ID$	2.6
MacKenzie et al., 1991	$MT = -107 + 223 ID$	4.5
Han et al., 1990	$MT = 389 + 175 ID$	5.7
Card et al., 1978	$MT = 1030 + 96 ID$	10.4
Gillan et al., 1990	$MT = 795 + 83 ID$	12.0

2. 실험

본 연구에서는 주시입력기기의 수행지수를 비교하기 위해 같은 실험조건에서 마우스를 실험하였다.

2.1 실험장치

마우스는 렉마우스를 사용하였고, 주시입력기기는 눈의 움직임은 화상처리기법을, 머리의 움직임은 자기장을 기반으로 하는 위치 추적 장치(Polhemus 3SPACE)을 이용하여 구성하였다(Park, K. S., Lee, K. T., 1996). 실험에 사용된 모니터는 20인치 VGA 모니터이다.

2.2 피실험자

남자 8명(22~30살)으로 모두 오른손잡인데, 과거에 손이나 눈에 장애가 있었던 적은 없었다. 피실험자는 참가비용을 받았다.

2.3 실험계획

종속변수 : 이동시간, 확인시간

- ◆ 이동시간 : 타겟이 나타났을 때부터 확인을 하기 위해(마우스는 클릭, 주시 입력기기는 의도적 눈감박임) 타겟에서 멈추었을 때까지의 시간
- ◆ 선택시간 : 이동시간 이후 컴퓨터가 인식을 할 때까지의 시간

독립변수

- ◆ 입력기기 2종류(P) : 주시입력기기, 마우스
- ◆ 타겟의 너비 3가지(W) : 2.267(2.165°), 4.534(4.330°), 6.801(6.495°) cm(deg.)

◆ 타겟까지의 거리 4가지(D) :

6.801(6.495°), 15.869(15.155°), 24.937(23.815°), 34.005(32.475°) cm(deg.)

12개의 난도가 표 1-2 에 나타나 있다. 주시 인터페이스는 시각으로 표시하였는데 모니터 앞 60cm 전방에서 실험을 하였다..

표 1-2 실험에 사용한 難度

번호	타겟까지의 거리(D) cm (deg)	타겟의 너비(W) cm (deg)	난도(bits)
1	6.801 (6.495°)	2.267 (2.165°)	2.58
2	6.801 (6.495°)	4.534 (4.330°)	1.58
3	6.801 (6.495°)	6.801 (6.495°)	1.00
4	15.869 (15.155°)	2.267 (2.165°)	3.81
5	15.869 (15.155°)	4.534 (4.330°)	2.81
6	15.869 (15.155°)	6.801 (6.495°)	2.22
7	24.937 (23.815°)	2.267 (2.165°)	4.46
8	24.937 (23.815°)	4.534 (4.330°)	3.46
9	24.937 (23.815°)	6.801 (6.495°)	2.87
10	34.005 (32.475°)	2.267 (2.165°)	4.91
11	34.005 (32.475°)	4.534 (4.330°)	3.91
12	34.005 (32.475°)	6.801 (6.495°)	3.32

P x W x D (2 x 3 x 4) 24가지 각 실험조건에 대해 10번씩 실험을 했는데, 무작위 순서로 이루어졌다. 실험을 하기 전에 피실험자가 입력기기에 대해 익숙할 수 있도록 충분히 연습을 시켰다.

2.4 실험절차

피실험자는 가능한 한 오류를 적게 범하면서 빠르게 커서를 움직이도록 지시를 받았다. 실험절차는 다음과 같다.

- (1) 피실험자는 준비가 되면 커서를 HP(Home Position)으로 움직인다. 커서가 HP안에 있지 않으면 타겟이 나타나지 않는다.
- (2) 커서가 HP 안으로 오면 0.5~2초 후에 타겟이 나타난다. 랜덤한 시간간격후에 타겟이 나타나게 한 이유는 피실험자가 타겟이 나타나는 것을 예측할 수 없도록 하기 위해서이다. 타겟이 나타날 때 신호음이 들린다.
- (3) 신호음과 함께 타겟이 나타나면 피실험자는 가능한 한 빨리 커서를 타겟으로 움직인다.
- (4) 커서가 타겟안으로 들어가면 마우스를 사용하는 경우에는 클릭을, 주시 입력 기기를 사용하는 경우에는 눈감박임을 한다.
- (5) 클릭한 것이나 눈감박임 한 것을 컴퓨터가 인식을 하면 신호음이 울린다. 타겟을 제대로 선택했으면 타겟이 파란색으로 반전되고 잘못 선택했으면 빨강색으로 반전된다.
- (6) 다음 실험조건을 위해 다시 커서를 HP로 움직인다.

3. 결과 및 분석

3.1 이동시간

주시입력기기의 평균 이동시간 690 ms (SD = 229.4 ms)는 마우스의 평균 이동시간 615 ms (SD = 124.4 ms)보다 크다 ($F(1, 7) = 16.78, p < 0.0046$). 타겟의 너비가 가장 작을 때에는 평균 이동시간이 739 ms (SD = 203.7 ms), 중간인 때에는 624 ms (SD = 167.2 ms), 가장 클 때는 596 ms (SD = 160.7 ms)로 타겟이 너비가 커질수록 이동시간이 짧아진다 ($F(2, 14) = 103.95, p < 0.001$). 타겟까지의 거리가 증가함에 따라 475 ms (SD = 85.5 ms), 601 ms (SD = 140.3 ms), 705 ms (SD = 69.0 ms), 830 ms (SD = 121.5 ms)로 이동시간이 점차 증가한다 ($F(3, 21) = 46.78, p < 0.0001$).

교호작용을 보면 $P \times W$ 는 유의하지 않고 ($\alpha = 0.1$), $P \times D$ ($F(3,21) = 7.26, p < 0.0016$), $W \times D$ ($F(6,42) = 38.21, p < 0.0001$) 는 교호작용이 있다.

ID 와 이동시간을 회귀분석 하면
마우스는

$$MT = 331 + 93 ID (r^2 = 0.92) \text{ ms이고,}$$

주시입력기기는

$$MT = 196 + 160 (r^2 = 0.84) \text{ ms이다}$$

3.2 선택시간

주시입력기기의 평균 선택시간 525 ms (SD = 91.3 ms)는 마우스의 평균 선택시간 182 ms (SD = 48.0 ms)보다 크다 ($F(1, 7) = 338.52, p < 0.0001$). 타겟의 너비가 가장 작을 때에는 평균 선택시간이 367 ms (SD = 179.5 ms), 중간인 때에는 367 ms (SD = 184.4 ms), 가장 클 때는 328 ms (SD = 195.9 ms)로 타겟이 너비가 선택시간에 영향을 준다 ($F(2, 14) = 15.75, p < 0.003$). 타겟까지의 거리가 증가함에 따라 352 ms (SD = 189.3 ms), 350 ms (SD = 198.5 ms), 344 ms (SD = 195.3 ms), 369 ms (SD = 190.1 ms)로 선택시간에 영향을 준다고 할 수 없다 ($\alpha = 0.1$).

$P \times W$ 와 $P \times D$ 는 교호작용이 있다고 할 수 없고 ($\alpha = 0.1$), $W \times D$ ($F(6,42) = 5.59, p < 0.0002$) 는 교호작용이 있다.

4. 결론 및 토의

평균 이동시간은 마우스가 주시입력기기보다 빠르다. 이것은 손의 움직임이 눈의 움직임보다 빠르다는 것을 의미하지는 않는다. 주시입력기기는 마우스에 비해 정확도가 떨어지고, C/D(control/display)의 비율이 1:1 이다. 이 실험에서 사용한 마우스는 위치제어만 되고 C/D 비율은 1:7 이었다. 마우스의 상하 움직임과 좌우 움직임이 같은 비율로 움직일 수 있도록 제어하였다.

마우스의 이동시간은 기존의 연구에서와 같이 Fitts 법칙이 잘 적용이 되었는데 ($r^2 = 0.92$), 주시입력기기도 $r^2 = 0.84$ 로 이동시간을 잘 예측할 수 있다. 각 입력기기의 수행지수를 구하면 마우스는 10.8 bits/s 이고 주시입력기기는 6.3 bits/s 이다. 마우스의 대역이 주시입력기기보다 크다는 것을 알 수 있다.

타겟까지의 거리는 선택시간에 영향을 주지 않고, 타겟의 너비는 선택시간에 영향을 주는데 이것은 Walker 등이 마우스를 가지고 실험을 했던 경우와 일치한다 (Walker et al., 1993).

참고문헌

- [1] Boritz, J., Booth, K. S., & Cowan, W. B. (1991). Fitts's law studies of directional mouse movement. *Proceedings of Graphics Interface '91* (pp. 216-223). Toronto:CIPS.
- [2] Card, S. K., English, W. K., & Burr, B. J. (1978). Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, 21, 601-613.
- [3] Epps, B. W. (1986). Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Human Factors Society*(pp. 327-331). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- [4] Fitts, P. M. (1954). The informatin capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- [5] Gillan, D. J., Holden, K., Adams, S., Rudisill, M., & Magee, L. (1992). How should Fitts' law be applied to human-computer interaction? *Interaction with Computers*, 4(3), 291-313
- [6] Han, S. H., Jorna, G. C., Miller, R. H., & Tan, K. C. (1990). A comparison of four input devices for the Macintosh interface. *Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Human Factors Society*(pp 267-271). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- [7] Mackenzie, I. S. (1992). Movement time prediction in humna-computer interfaces. *Proceedings of Graphics Interface '92* (pp. 140-150). Toronto: Canadian Information Processing Society.
- [8] Park, K. S., & Lee, K. T. (1996). Eye-controlled human/computer interface using the line-of-sight and the intentional blink, *Computers Industrial Engineering*, 30(3), 463-473
- [9] Tufte, E. R. (1989) *Visual Design of the User Interface*, IBM Corporation, Armonk,N.Y.
- [10] Walker, N., Meyer, D. E., Smelcer, J. E. (1993). Spatial and Temporal Characteristics of Rapid Cursor-Positioning Movements with Electromechanical Mice in Human-Computer Interaction. *Human Factors*, 35(3), 431-458.