

궤도상을 이동하는 커서 이동시간의 예측 모델

홍승권^{1*} · 김성일²

¹충주대학교 산업경영공학과 / ²연세대학교 산업시스템공학과

A Time Prediction Model of Cursor Movement with Path Constraints

Seung-Kweon Hong¹ · Sung-Il Kim²

¹Department of Industrial & Management Engineering, Chungju University, Chungju, 380-702

²School of Computer & Industrial Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749

A mouse is an important input device that is used in most of all computer works. A mouse control time prediction model was proposed in this study. Especially, the model described the time of mouse control that made a cursor to move within path constraints. The model was developed by a laboratory experiment. Cursor movement times were measured in 36 task conditions; 3 levels of path length, 3 levels of path width and 4 levels of target's width. 12 subjects participated in all conditions. The time of cursor movement with path constraints could be better explained by the combination of Fitts' law with steering law ($r^2=0.947$) than by the other models; Fitts' law ($r^2=0.740$), Steering law ($r^2=0.633$) and Crossman's model ($r^2=0.897$). The proposed model is expected to be used in menu design or computer game design.

Keywords: Fitts' law, steering law, mouse control, path constraints, time prediction model.

1. 서론

마우스는 일상적인 컴퓨터 작업의 30%~80%를 담당하는 중요한 입력 장치이다(Johnson *et al.* 1993). 따라서 마우스를 대상으로 한 Human-Computer Interface 연구는 여러 측면에서 진행되어 왔다. 이러한 연구의 한 연구주제로서 “커서를 움직이는 마우스의 조작시간(커서의 이동시간)이 Fitts' law에 의해 예측될 수 있는지?”에 대한 의문이 제기되어 왔다. 아이콘을 클릭하기 위해 커서를 이동시키는 작업이나 마우스를 이용하여 아이콘을 이동시키는 작업 등과 같은 전형적인 마우스 조작에서 Fitts' law는 인간의 작업시간 예측에 유용하게 사용될 수 있음을 보여 왔다(Gillan *et al.* 1990, MacKenzie and Buxton 1992, MacKenzie 1992).

그러나 다양한 형태의 모든 마우스 조작상황 하에서 Fitts' law가 항상 유용한 모델로 활용될 수 있는지는 의문의 여지가

있다(Friedlander *et al.* 1998). 본 연구는 커서의 궤도가 제한된 경우에 마우스 조작이 Fitts' law에 의해 설명될 수 있는지 알아보고, Fitts' law가 이러한 상황을 충분히 묘사할 수 없다면 보다 설명력이 있는 수리모델을 제시하고자 한다. 커서가 움직이는 궤도가 제한되는 상황은 계층화된 메뉴에서 상위 메뉴로부터 하위메뉴상의 어떤 목표물을 찾는 과정에서 나타날 수 있고, 게임이나 가상공간에서도 빈번히 나타날 수 있는 상황이다. <Figure 1>은 계층화된 메뉴에서 커서 움직임의 일례를 나타낸다.

Fitts' law는 정보이론을 인간의 Perceptual-Motor 시스템에 적용한 것으로, 주어진 목표물에 손이 접근하는 데 소요되는 시간과 접근의 정확성과의 상호절충(trade-off) 관계를 나타내는 이론이다(Fitts 1954).

$$MT = a + b(ID) \quad (1)$$

본 연구는 충주대학교 학술연구과제지원비에 의하여 수행되었음

* 연락저자 : 홍승권 교수, 380-702 충북 충주시 이류면 검단리 123 충주대학교 산업경영공학과, Fax : 043-841-5301,

E-mail : skhong@chungju.ac.kr

2004년 8월 접수; 2005년 8월 수정본 접수; 2005년 10월 게재 확정.

여기서, 난이도 지수 (ID) = $\log_2 \frac{2A}{W}$,

A: 이동거리, W: 목표물의 너비, a, b: 상수

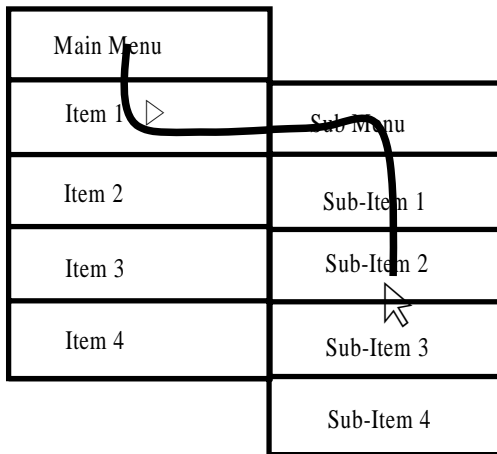


Figure 1. A moving cursor in a hierarchical menu.

1954년에 Fitts' law가 제안된 이후로 다양한 영역에서 이 법칙의 유용성을 증명하려는 연구들이 진행되었고, 많은 연구자들에 의해 변형된 모델도 제시되어 왔다. 대표적인 변형 모델로는 식 (2)의 Welford(1968) 모델과 식 (3)의 MackKenzie (1992) 모델이 있다.

$$MT = a + b \log_2 (A/W + 0.5) \quad (2)$$

$$MT = a + b \log_2 (A/W + 1) \quad (3)$$

여러 가지 변형 모델들이 제시되었지만 이러한 모델들의 공통점은 손의 이동시간은 목표물까지의 거리에 대수비례 (Logarithmical Proportion)하고 목표물의 너비와도 대수비례한다는 것이다.

Fitts' law movement를 세분화한다면, Ballistic movement와 Visually-controlled movement의 두 단계로 나눌 수 있다(Gan and Hoffman, 1988). Ballistic movement는 움직임을 시작하는 초기단계로, 어떤 시각적 피드백 정보에 의존하지 않고, 단순히 근력에 의존한 움직임이다. 즉 탄환처럼 초기 힘에 의해 움직임이 결정된다. 그러나 목표물에 가까워지면서, 인간은 손속도를 조절하게 된다. 이때 눈은 시각정보를 계속적으로 뇌에 제공하게 되고 이 정보에 의해서 계속적으로 손의 움직임은 수정되면서 목표물에 접근한다. 이러한 단계의 움직임을 Visually-controlled movement라 한다. 일반적으로 Fitts' law가 적용되는 움직임은 마지막 단계에서만 시각적 피드백 정보가 필요하고 이 단계가 손 전체의 이동시간에 지대한 영향을 미친다.

한편, Fitts' law는 출발점에서 목표지점까지 움직이는 궤도에 대한 제한을 두지 않았다. 단지 Fitts' law가 숙련자를 전체로 하기 때문에 손 움직임의 궤도는 피실험자 스스로 결정할 최적의 궤도를 가정하고 있다. 그러나 본 연구의 실험조건인 제한된 궤도상을 움직이는 커서는 Fitts' law의 기본가정인 피

실험자 스스로 선택한 최적의 궤도라는 전제를 무시하게 된다. 또한 설정된 궤도상에서 커서를 움직이기 위해서 피실험자는 궤도에 대한 시각적 피드백을 추가적으로 요구하게 된다. 손의 이동시간이나 속도에 궤도의 폭은 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 커서가 움직이는 궤도가 한정될 때에도 여전히 일반적인 Fitts' law가 사용될 수 있을지 또는 어떤 변형된 모델로 그 시간을 예측할 수 있을지에 대한 연구가 요구되고 있다.

궤도의 폭이 제한되는 경우에 이동시간과 궤도 폭의 관계에 대한 연구는 Drury (1971)에 의해 연구되었다. 그는 궤도의 폭과 궤도상을 움직이는 속도와의 사이에 비례관계가 있음을 보였다. 이 법칙은 Steering law로 불린다.

$$MT = a + b \frac{A}{W} \quad (4)$$

여기서, A: 이동거리, W: 궤도의 폭, a, b: 상수

Steering law는 궤도상을 움직이는 물체의 속도가 궤도의 폭에 반비례 한다는 일반적인 원리에서 유추된 법칙이다. 따라서 도로상에 움직이는 자동차 속도와 도로 폭의 관계에 관한 연구가 이 법칙을 근간으로 이루어져 왔다(van Winsum and Godthelp, 1996). 최근에는 이 법칙을 컴퓨터 커서의 움직임에 대한 연구에 응용하였다(Accot and Zhai, 1997). 그러나 이러한 연구들은 일정한 속도로 궤도를 통과하는 시간과 궤도 폭의 관계에 대한 연구들이다. 즉 궤도상을 움직이는 물체(커서 또는 차)의 속도가 일정한 속도를 유지될 때에만, 유의한 결론을 내릴 수 있었다. 즉, 원형의 궤도를 돌 때나 일정한 속도를 유지하는 선형의 움직임에서 이 법칙은 성립했다(Montazer and Drury, 1989). 그러나 본 연구에서는 Fitts' law 작업과 같이 초기에 양의 가속도를 갖고 후반부에 음의 가속도를 갖는 경우의 이동시간에 관심이 있다.

본 연구의 대상이 되는 커서의 이동작업은 제한된 궤도상을 커서가 움직이는 작업이지만, Steering law과 같이 일정한 속도를 유지하면서 이동하는 작업은 아니다. 또한 Fitts' movement와 같이 일정한 너비를 갖는 표적에 접근하여 클릭하는 작업이지만, 커서를 이동시키는 동안 궤도에 의해 제약을 받는 작업이다. 이러한 작업에 적절한 이동시간 예측 모델을 찾기 위하여 먼저 이동시간들을 측정하고, 이 데이터를 활용하여 기존의 Fitts' law, Crossman's 모델, Steering law 그리고 연구자가 제안하는 Steering law + Fitts' law 모델의 설명력을 조사하고자 한다.

2. 실험방법 및 절차

22~26세(여자 2명, 남자 10명)의 건강한 오른손잡이 대학생들이 본 실험에 참여하였다. 피실험자들은 인간공학 강의를 수강한 학생들로 Fitts' law와 Steering Law를 이해하고 있었으며, 실험의 실습과정에서 두 가지 법칙에 관한 실험경험이 있

었다. 그리고 본 실험을 실시하기 전에 20분 동안의 training session을 실시함으로써 학습효과를 제거하려고 했다. 사용된 실험장치는 Visual Basic으로 작성되었다. <Figure 2>는 모니터 상에 나타난 실험장치이다.

피실험자들은 오른쪽 표적에 커서를 옮겨놓고, 작업을 시작하기 위해서 마우스를 클릭하였다. 그리고 왼쪽 목표물까지 커서를 가능한 한 빠르게 움직였다. 이때, 주어진 궤도 밖으로 커서가 나가지 않도록 주의를 하였다. 왼쪽 목표물에 커서가 도착하였을 때, 피실험자는 마우스를 또한 클릭하였다. 왼쪽 목표물을 클릭한 후에는 곧바로 오른쪽 목표물을 클릭하기 위하여 커서를 이동시켰다. 이렇게 교대로 반복작업(reciprocal tapping task)을 주어진 실험조건들 하에서 20회씩 반복하였다. 커서 이동시간은 마우스 클릭 사이의 시간으로 측정되었다.

<Table 1>은 실험조건들이다. 독립변수는 목표물의 너비, 경로의 폭, 경로의 길이로 결정하였다. 각 변수의 수준은 난이도 지수(ID: difficulty of index of Fitts' law)가 약 2에서 7까지 나타날 수 있도록 설정하였다. 일반적으로 난이도 지수가 2.5 이상에서 Fitts' law가 Visually controlled movement를 반영하므로, 이에 준하여 설정하였다(Gan and Hoffman, 1988). 각 피실험자는 모든 실험조건(4 × 3 × 3 = 36)에서 20회씩 반복작업을 수행함으로써 각 피실험자로부터 수집된 데이터는 720개였다. 또한 학습효과를 배제하기 위하여 36가지의 실험조건은 랜덤한 순서로 진행되었다.



Figure 2. An experimental apparatus for the cursor movement time measure.

Table 1. Experimental conditions

Variables	Levels
Width of the target (Wt)	2mm, 4mm, 6mm, 10mm
Width of path(Wp)	4mm, 6mm, 10mm
Length of path (A)	29mm, 58mm, 116mm

3. 실험결과

3.1 각 실험조건에서의 평균이동시간

먼저 각 피실험자가 각 실험조건에서 20회 반복하여 실시한 커서 이동시간의 평균치를 구하였다. <Table 2>는 이 데이터를

각 실험조건에 따라 평균치와 표준편차를 구한 값이다. 그리고 Fitts' law와 Steering law에 관련된 수식 항들의 값을 표시하였다.

실험과정에서 피실험자들이 범할 수 있는 예러는 3가지로 구분될 수 있다. 하나는 표적물을 클릭하지 못하고 다른 공간을 클릭하는 경우이다. 본 실험에서 이러한 예러는 관측되지 않았다. 다음으로 표적물을 지나친 후 다시 표적물로 돌아와서 클릭하는 경우이다. 이 경우는 Fitts' movement의 Homing과 정으로 3차원 공간에서도 일어나는 것이기 때문에 예러로 분류하지 않았다. 다른 한 가지 예러는 커서를 이동하는 과정에서 경로를 이탈하는 것이다. 경로이탈의 경우는 두 명의 피실험자에게서 각각 1번씩 발견되었으나 이탈의 폭이 크지 않아서 이동시간에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다. 따라서 실험데이터에 포함시켰다. 본 연구에서 사용된 프로그램은 이러한 예러를 측정하기 위하여 이동구간을 등 간격으로 5개 구분선을 설정하고 각 구분선을 커서가 통과할 때 커서의 위치가 자동으로 측정되도록 하였다. 구분선은 피실험자의 눈에 보이지 않도록 설정된 선이었다.

세 가지 독립변수가 커서 이동시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. <Table 3>은 분산분석의 결과이다. 분산분석에 사용된 데이터는 <Table 2>의 데이터를 사용하지 않고, 각 실험조건에서 각 피실험자가 20회 반복 실험한 데이터의 평균치를 사용하였다. 목표물의 너비(Wt), 경로의 폭(Wp), 경로의 길이(A)에 따라 커서 이동시간은 유의하게 다르게 나타났다. 그리고 경로의 폭과 경로길이 사이의 교호작용이 있는 것으로 나타났다. 그러나 다른 변수들 간의 교호작용은 유의하게 나타나지 않았다.

3.2 경로의 폭이 고정되었을 경우

본 실험에서 커서 이동이 일반적인 Fitts' law 운동과 다른 점은 커서가 움직이는 경로가 제한되어 있다는 것이다. 따라서 먼저 동일한 경로 폭에 따라 이동시간의 변화를 분석하기 위하여 이동시간과 ID(Fitts' law의 난이도 지수)와의 관계를 <Figure 3>과 같이 분석하였다. <Figure 3>은 <Table 2>의 데이터를 활용하여 표시하였다.

분석결과는 경로의 폭이 클 때, ID에 대한 이동시간의 선행식은 이동거리(A)와는 상관없이 유사한 선행식을 보였다. 즉 경로의 폭이 크면, 피실험자가 경로에 거의 영향을 받지 않고 커서를 이동시킬 수 있다는 것을 의미한다. 한편, 경로의 폭이 작을 때(Wp=4mm)는 경로의 길이(A)에 따라 다른 선행식들이 나타났다.

3.3 경로의 길이가 고정되었을 경우

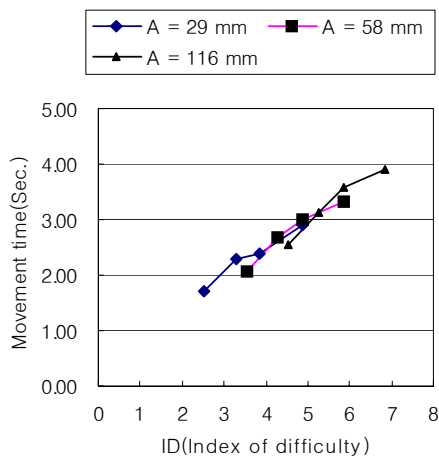
일반적으로 경로길이(이동거리)의 영향은 Fitts' law에 반영되어 있지만, 이 실험에서 경로 길이는 Fitts' law에 반영되어 있

Table 2. Cursor movement times under each condition

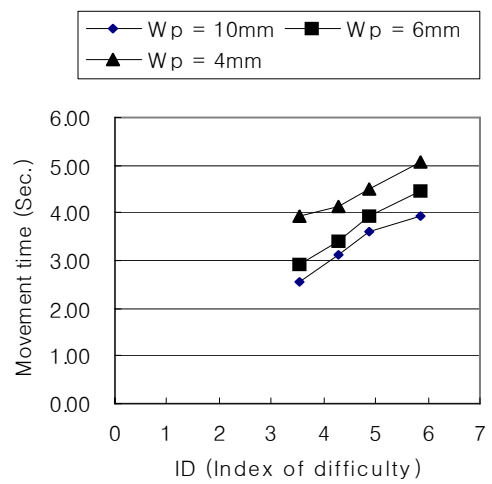
Wt	Wp	A	Mean time	Standard deviation	A/Wp	log(A/Wp)	log2(A/Wt)	log2(2A/W)
10	10	29	1.70	0.23	2.90	1.54	1.54	2.54
10	10	58	2.07	0.18	5.80	2.54	2.54	3.54
10	10	116	2.54	0.47	11.60	3.54	3.54	4.54
6	10	29	2.28	0.46	2.90	1.54	2.27	3.27
6	10	58	2.68	0.35	5.80	2.54	3.27	4.27
6	10	116	3.13	0.54	11.60	3.54	4.27	5.27
4	10	29	2.39	0.33	2.90	1.54	2.86	3.86
4	10	58	2.99	0.61	5.80	2.54	3.86	4.86
4	10	116	3.60	0.66	11.60	3.54	4.86	5.86
2	10	29	2.91	0.67	2.90	1.54	3.86	4.86
2	10	58	3.34	0.67	5.80	2.54	4.86	5.86
2	10	116	3.91	0.67	11.60	3.54	5.86	6.86
10	6	29	1.95	0.53	4.83	2.27	1.54	2.54
10	6	58	2.03	0.26	9.67	3.27	2.54	3.54
10	6	116	2.91	0.66	19.33	4.27	3.54	4.54
6	6	29	2.25	0.46	4.83	2.27	2.27	3.27
6	6	58	2.78	0.80	9.67	3.27	3.27	4.27
6	6	116	3.40	0.83	19.33	4.27	4.27	5.27
4	6	29	2.57	0.36	4.83	2.27	2.86	3.86
4	6	58	2.92	0.37	9.67	3.27	3.86	4.86
4	6	116	3.92	0.62	19.33	4.27	4.86	5.86
2	6	29	2.95	0.60	4.83	2.27	3.86	4.86
2	6	58	3.35	0.57	9.67	3.27	4.86	5.86
2	6	116	4.46	1.20	19.33	4.27	5.86	6.86
10	4	29	1.89	0.20	7.25	2.86	1.54	2.54
10	4	58	2.66	0.80	14.50	3.86	2.54	3.54
10	4	116	3.93	1.33	29.00	4.86	3.54	4.54
6	4	29	2.24	0.38	7.25	2.86	2.27	3.27
6	4	58	3.17	1.23	14.50	3.86	3.27	4.27
6	4	116	4.13	1.62	29.00	4.86	4.27	5.27
4	4	29	2.74	0.59	7.25	2.86	2.86	3.86
4	4	58	3.36	0.72	14.50	3.86	3.86	4.86
4	4	116	4.48	1.23	29.00	4.86	4.86	5.86
2	4	29	2.98	0.82	7.25	2.86	3.86	4.86
2	4	58	3.70	1.10	14.50	3.86	4.86	5.86
2	4	116	5.07	1.32	29.00	4.86	5.86	6.86

Table 3. 3-Way ANOVA

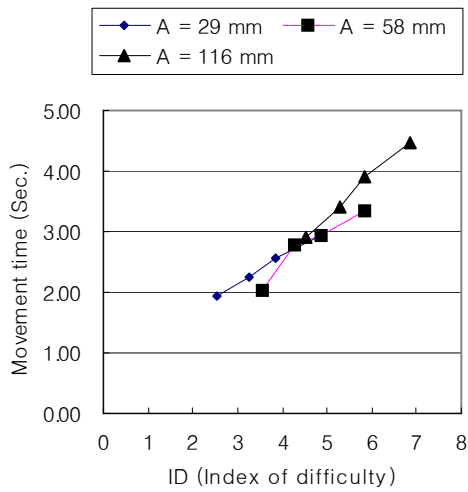
Source	DF	SS	MS	F Value	P Value
Wt	3	86.62798	28.876	77.65	0.000000*
Wp	2	25.01281	12.5064	33.63	0.000000*
Wt*Wp	6	0.7081636	0.1180273	0.32	0.927857
A	2	141.1168	70.55838	189.73	0.000000*
Wt*A	6	1.541443	0.2569071	0.69	0.657192
Wp*A	4	12.91025	3.227562	8.68	0.000001*
Wt*Wp*A	12	1.529934	0.1274945	0.34	0.980693
Error	396	147.2714	0.3718975		
Adjusted Total	431	416.7188			



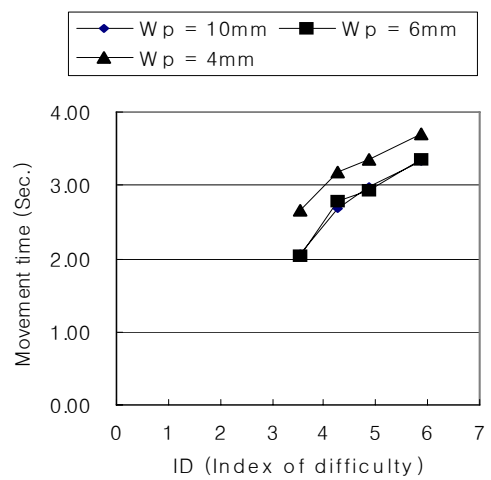
(a) In case of $W_p = 10\text{mm}$



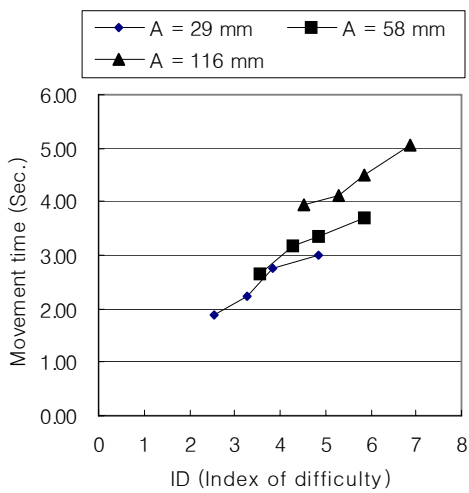
(a) In case of $A = 116\text{mm}$



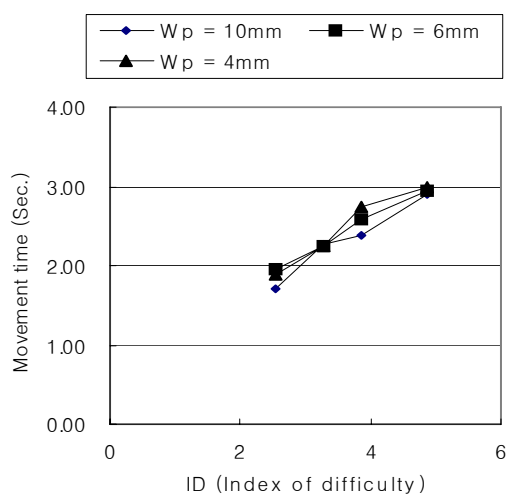
(b) In case of $W_p = 6\text{mm}$



(b) In case of $A = 58\text{mm}$



(c) In case of $W_p = 4\text{mm}$



(c) In case of $A = 29\text{mm}$

Figure 3. Relationship between movement time and index of difficulty in case of the same width of path.

Figure 4. Relationship between movement time and index of difficulty in case of the same length of path.

지 않은 요소를 포함하고 있다. 경로를 통과하는 커서이동에서 경로가 길어지면 길어질수록 경로를 벗어나지 않도록 커서를 이동시키는 visually controlled movement 구간이 길어진다. 따라서 경로길이는 Fitts' law에 반영되지 않는 추가적인 영향요소가 될 수 있다. 이러한 점을 고려하여 경로길이가 동일한 상황에서의 ID와 이동시간의 관계를 분석하였다. <Figure 4>와 같이 경로길이(A)가 짧을 경우, 이동시간의 선형식은 경로폭(Wp)과 상관없이 거의 동일한 선형식을 나타내고 있다. 그러나 경로길이(A)가 긴 경우, 경로폭(Wp)에 따라 다른 선형식을 보이고 있으며, 경로폭의 증가로 이동시간이 감소하는 현상을 보인다.

3.4 제한된 경로를 이동하는 커서 이동시간의 예측 모델

제한된 경로를 이동하는 커서의 이동시간을 잘 설명할 수 있는 모델을 선정하기 위하여 4가지 대안 모델에 대한 회귀 분석을 실시하였다. 첫 번째는 기존의 Fitts' law가 이러한 상황에서도 충분한 설명력을 지녔는지를 보기 위해 수집된 데이터(<Table 2>)를 활용하여 Fitts' law를 도출하였다. 도출된 선형식은 $MT = -0.263 + 0.979 \log_2(2A/Wt)$ ($r^2=0.740$)이었다. 두 번째로 동일한 데이터를 활용하여 Steering law를 도출하였다. 도출된 선형식은 $MT = 2.100 + 0.080 (A/Wp)$ ($r^2=0.633$)이었다.

세 번째 대안모델은 Crossman's model이었다. Crossman (1956)은 경로의 폭(Wp)과 목표물의 너비(Wt)는 같은 효과를 낸다고 제안하였다. 이러한 제안에 입각하여 제한된 궤도상을 움직이는 커서의 이동시간을 나타내는 수리모형을 구상하면, <식 5>와 같이 표시될 수 있다.

$$MT = a + b \log_2\left(\frac{A}{Wt}\right) + c \log_2\left(\frac{A}{Wp}\right) \quad (5)$$

실험 데이터로부터 도출된 모델은 $MT = 0.421 + 0.468 \log_2(A/Wt) + 0.285 \log_2(A/Wp)$ ($r^2=0.897$)이었다.

마지막으로 본 연구에서 제안하는 모델은 Steering law과 Fitts' law를 조합한 형태로서 <식 6>과 같이 표현될 수 있다.

$$MT = a + b \log_2\left(\frac{A}{Wt}\right) + c\left(\frac{A}{Wp}\right) \quad (6)$$

이로부터 도출된 모델은 $MT = 0.905 + 0.447 \log_2(A/Wt) + 0.044 A/Wp$ ($r^2=0.947$)이었다.

네 가지 대안모델을 평가한 결과는 제한된 경로를 움직이는 커서의 이동시간을 단순히 Fitts' law에 의해 표현하거나 Steering law에 의해 표현하기 보다는 경로길이와 경로폭을 고려한 수리모델에 의해 표현하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다. 또한 커서 이동시간이 Crossman이 제시한 $\log_2(A/Wp)$ 와 비례하는 정도보다는 Steering law의 A/Wp와 비례하는 정도가 더 높음을 알 수 있었다.

4. 토의 및 결론

마우스를 조작하여 궤도를 따라 커서를 움직이는 상황은 빈번히 발생하는 Human-computer interaction이다. 그러나 지금까지 제한된 경로를 커서가 이동하는 경우에 커서의 이동시간에 대한 연구는 활발하지 못했다. 본 연구에서는 이러한 커서의 이동시간이 Fitts' law와 Steering law의 복합된 모델로 예측될 수 있다는 결과를 도출하였다. 도출된 모델은 경로의 폭이 좁으면 좁을수록, 경로의 길이가 길면 길수록 이동시간은 증가한다는 것을 묘사하고 있다.

한편 도출된 모델에 의하면, A/Wp에 수반되는 상수가 $\log_2(A/Wt)$ 에 수반되는 상수에 비해 작은 수임을 알 수 있다 이는 제한된 경로를 따라 움직이는 커서의 이동이 Steering law 보다는 Fitts' law에 의해 더 많은 영향을 받는다는 것을 의미한다. 즉, 제한된 경로를 따라 움직이는 커서의 이동에 있어서도 여전히 Fitts' law는 가장 중요한 이동시간 결정요인이 된다. 그러나 보다 정밀한 예측을 위해서는 추가적으로 Steering law를 고려해야 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 커서가 이동하는 과정에서 경로를 이탈하거나 목표물을 클릭하지 못하는 예러가 많이 나타나지 않았다. 따라서 예러에 대한 분석을 실시하지 않았다. 그러나 효과적인 표적너비(effective target width) 개념을 고려한다면, 거의 나타나지 않은 예러가 바람직하지는 않을 것이다 (MacKenzie, 1992). 적은 예러 수의 의미는 본 실험에 참여한 피실험자들이 더 빠른 속도로 이동할 수 있는 여지가 있음에도 불구하고 충분히 빠르게 커서를 이동시키지 않았다는 것으로 해석될 수 있기 때문이다. 그러나 본 연구는 기존의 다수 논문들에서처럼 효과적인 표적너비의 개념은 고려하지 않았다.

또한 본 연구가 갖는 미흡한 점 중 하나는 커서가 이동하는 경로를 직선에 국한하여 실험을 실시하였다는 것이다. 원형, 사각형 또는 다양한 모형의 경로에서 커서가 이동하는 속도(또는 이동시간)는 직선의 경로와는 다르게 나타날 수 있기 때문에 본 연구에서 제시한 모델이 다소 변형될 수도 있을 것이다. 이러한 연구들은 후속 연구로 진행되어야 할 것이다. 그러나 이 논문의 연구결과는 경로를 통해서 커서를 이동시켜야 하는 작업의 시간을 미리 예측하는 기본 모델을 제공하고 있다. 이러한 모델이 보다 일반화된다면, 소프트웨어의 개발과정에서 유용한 툴로써 사용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 컴퓨터 게임 개발과정에서 게임의 난이도 조절수단으로서 커서가 이동하는 경로폭을 조절하는 경우가 있다. 이 때 일단 경로폭이 선정되면 사용자들이 수행하게 되는 게임 수행시간을 사전에 예측할 수 있을 것이다.

참고문헌

Accot, J., and Zhai, S. (1997), Beyond Fitts' law: Models for

- trajectory-based HCI tasks. *Proceedings of the CHI '97 Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York: ACM, 295-302.
- Crossman, E. R. F. W. (1956), *The measurement of perceptual load in manual operations*, Unpublished Ph.D. Thesis, Birmingham University.
- Drury, C. G. (1971), Movements with lateral constraints. *Ergonomics*, **14**(2), 293-305.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, **47**, 381-391.
- Friedlander, N., Schlueter, K and Mantei, M (1998), Bullseye! When Fitts' law doesn't fit, *Proceedings of the CHI '98 Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York: ACM, 18-23.
- Gan, K.-C., and Hoffmann, E. R. (1988), Geometrical conditions for ballistic and visually controlled movements. *Ergonomics*, **31**, 829-839.
- Gillan, D. J., Holden, K., Adam, S., Rudisill, M and Magee, L (1990), How does Fitts' law pointing and dragging?. *Proceedings of the CHI '90 Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York: ACM, 227-234.
- Johnson P. W., Dropkin J., Hewes J., and Repel D, (1993), Office ergonomics: Motion analysis of computer mouse usage. *In Proceedings of the American Industrial Hygiene Conference and Exposition*, Fairfax, VA: AIHA 12-13.
- MacKenzie, I. S. (1992), Fitts' Law as a research and design Tool in human-computer interaction, *Human-Computer Interaction*, **7**(1) 91-139
- MacKenzie, I. S and Buxton, W. (1992), Extending Fitts' law to two-dimensional tasks, *Proceedings of the CHI '92 Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York: ACM, 219-226.
- Montazer, M. A., and Drury, C. G. (1989), A test of Beggs' model for self-paced movements. *Ergonomics*, **32**, 497-511.
- van Winsum W, and Godthelp H (1996), Speed choice and steering behavior in curve driving, *Human factors*, **38** 434-445
- Welford, A. T. (1968), *Fundamental of skill*. London: Methuen