

# 文献紹介

Grossman, T., Kong, N. and Balakrishnan, R.: Modeling pointing at targets of arbitrary shapes, *Proc. ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2007)*, pp. 463-472 (2007)

## 1. マウス操作に要する時間

私達は毎日、膨大な回数のマウスクリックをしている。いや、正確に言うとは、ただクリックしているのではなく、画面内のボタンやメニューを目指してマウスカーソルを動かす、クリックしている。これをポインティングという。40 年前にエンゲルバートがマウスを発明して以来、今この瞬間も世界中で膨大な回数のポインティングが行われている。だからポインティングが、ほんの少しでも楽にできれば影響は大きい。

例えば、Web ページを考えてみよう。似たようなボタンが二つ並んでいて、片方がほんのちょっとだけポインティングが楽だったとする。すると、そのために売上げに大きな差が生まれるかもしれない。または、似たような機能のミュージックプレイヤーが二つあったとしよう。片方のプレイヤーは、ボタンの形状や配置のせいで、一つ一つのポインティングが、ほんの少しずつ、もう一方よりも余計に手間がかかるとしよう。ユーザは、そのプレイヤーを二度とダウンロードしてくれないかもしれない。

本稿で紹介する Grossman らの論文は、このポインティングを探求している。彼らが属するトロント大学の Balakrishnan 研は、ここ数年ユーザインタフェースの研究分野で多数の優れた成果を発表している注目の研究室である。採択率の厳しい CHI2007 で、何と 10 本ものペーパーをアクセプトさせていることから、彼らの勢いがわかる。

## 2. フィッツの法則とその末裔

さてポインティングに必要な時間 ( $MT$ ) に関しては、古く 1954 年に Fitts が提案したフィッツの法則 (Fitts' law) がいまだに有効である。

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) \quad (1)$$

ここで、 $A$  はマウスカーソルの現在地点からボタンなどターゲットまでの距離、 $W$  はターゲットの幅である。図示すると図 1 のようになる。なお、 $a$  と  $b$  は実験的に決定する定数である。

つまり、遠くの小さなターゲットをポインティングす

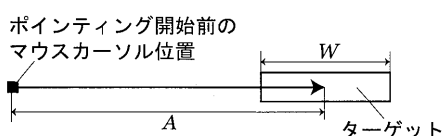


図 1 ターゲットまでの距離とターゲットの幅

るには時間がかかり、近くの大きなターゲットは迅速にポインティングできるということだ。距離と幅の比の対数で時間が決まってくる。

このフィッツの法則は、シンプルではあるが、実はかなり精度の良い予測式であるため、Fitts が提案して以来、長い間そのまま通用していた。ところが 1992 年、MacKenzie らが「フィッツの法則の二次元への拡張」という論文を発表してから話が動き出す [MacKenzie 92]。

上式を見ればわかるように、 $A$  も  $W$  もスカラである。つまりこれは厳密には一次元の話であり、私達が日常使っているディスプレイ、つまり二次元にそのまま適用するには問題があると言い出したのだ。

問題は二点ある。一つは、幅 ( $W$ ) だけではターゲットの性質を規定できず、単純な長方形のボタンの場合でも、幅 ( $W$ ) と高さ ( $H$ ) を考慮しなければならない。さらに、ターゲットに対して、斜めから迫ることができるため距離 ( $A$ ) だけでなく、接近角度 ( $\theta$ ) も影響を及ぼしてくる。MacKenzie らは、これらを考慮して以下の式 (2) など複数の予測式を提案している。

$$ID_w = \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) \quad (2)$$

ここで  $ID$  とは、フィッツの法則での定数 ( $a$  と  $b$ ) を除いた部分を意味し、ポインティングの難しさを表す指標 (Index of Difficulty ; 難度) である。よって、フィッツの法則との違いは  $W$  が  $W'$  になった点だけだ。 $W'$  とは、ターゲットに斜めに接近する場合を考慮した幅を意味する。つまり、長方形のボタンに斜めから接近する場合は、その長辺ではなく、斜めの切断線の長さ  $W'$  が、ポインティングに効いてくるという意味だ。

また、以下の式 (3) では幅と高さの短いほうを取ることで難度を定義している。

$$ID_{\min} = \log_2 \left( \frac{A}{\min(W, H)} + 1 \right) \quad (3)$$

やたら細長いボタンがあったとしても、結局は、短いほうに支配されるという考え方だ。ちなみに MacKenzie らは、式 (3) が最も良くポインティング難度を表していると結論づけている。

この論文をきっかけに、その後、多数のバリエーションが登場する。中でも Accot らは、カーソル移動を水平に限定してではあるが、以下の式 (4) に示す「重み付きユークリッドモデル」を提案し、式 (3) よりもさらに精度の良い予測を達成した [Accot 03]。

$$ID_{WtEuc} = \log_2 \left( \sqrt{\left(\frac{A}{W}\right)^2 + \eta \left(\frac{A}{H}\right)^2} + 1 \right) \quad (4)$$

### 3. ポインティングはダーツである

Grossman らは前の論文 [Grossman 05] で、この問題に別の方向、ポインティングをダーツのようなものとして捉える方向からアプローチする。ダーツでは、丸いターゲットに向かってダーツを投擲(とうてき)する。しかし思ったように目指した場所に当たるとは限らず、大体はその上下左右に散らばってしまう。ポインティングも、ユーザがターゲットを目指してマウスカーソルを投擲しているようなものではないか、という類推が働く。

つまり、ポインティングの難度を、ターゲットに向かってマウスカーソルを投擲したと考えた場合の難度と考え、当たりにくい状況になればなるほど時間がかかるとする。これを式で表すと以下のようになる。

$$ID_{Pr} = F(P_{R,S}(hit)) \quad (5)$$

$P_{R,S}(hit)$  は、ターゲットの領域  $R$  に対して、投擲のばらつきが  $S$  であった場合の、当たる ( $hit$ ) 確率を意味する。そして何らかの関数  $F$  が、確率と難度を結びつける。

ここで投擲のばらつきを正規分布で近似できると考えれば、一次元の難度は、以下のようになる。

$$ID_{Pr} = F\left(P\left(-\frac{W}{2} \leq X_{N(0,\sigma)} \leq \frac{W}{2}\right)\right) \quad (6)$$

ここで  $X_{N(0,\sigma)}$  は、平均 0、標準偏差  $\sigma$  の正規分布に従う乱数である。つまり正規分布の山がターゲットを中心に広がっていて、その範囲にポインティングが入る確率となる。関数  $F$  は、一次元に関してフィッツの法則が成り立っているとして導出する。ここで  $\sigma$  をどう捉えるかが問題になるが、距離に比例するとして、 $\sigma = cA$  と表す。 $c$  は実験的に求める定数である。

文献 [Grossman 05] では、この予測式を実験的に評価し、任意の角度のポインティングに対して正確な予測が可能であることを報告している ( $R$  二乗値が 0.952)。

### 4. 自由形状ターゲットへの拡張

さて、これまでの議論ではターゲットはいずれも長方形に限定されていた。しかし、Grossman らのモデルで考えれば、当たる確率さえ計算できれば難度を計算できる。ということから、本稿で紹介する表題論文では、自由形状のターゲットに取り組んでいる。自由形状に拡張する場合の課題は、ターゲットの中心をどこにするかである。複雑な形の場合、果たして人間はどこを目指してポインティングを開始しているのだろうか。

これに対し彼らは三つの中心推定方法を提案している。一つは、ターゲットの形状を多角形とみなして、その頂点の重心を使う最も単純な方法である(方法 A)。次が、被験者に実際に多数クリックさせたデータから分布を推定し、中心を求める方法である(方法 B)。三つ目は、「人間は、バラツキを含めて最もヒット率が高く

なる点を目指してポインティングする」という仮説に基づいて、計算により求める方法である(方法 C)。例えば、広い部分と狭い部分の組合せでターゲットができていたような場合は、広い部分に狙いを定めたほうがヒット率は高くなる。だから中心は広い部分に偏った位置になる。また、距離が遠いとバラツキは広がるため、ポインティング開始点から見て、手前よりも奥に余地が残るように狙ったほうが当たりやすいため、中心は多少手前になる。具体的には分布を仮定して最適化計算を行う。

方法 A は簡単だが、実体に合わない可能性がある。当然ながら、方法 B が実体に一番合っているが、ターゲットごとに被験者実験が必要になる。これに対し、方法 C は多少計算コストが必要であるが、Maple など計算ソフトウェアを用いて、実験なしに求めることができる。

結論として、方法 C は方法 B を十分正確に推定できることが実験からわかった。また方法 A でもポインティング難度の予測にはあまり影響はないことが、次節で述べる実験でわかっている。

### 5. 実験の方法と結果

紹介論文は紙数を割いて、提案手法の有効性を検証する実験について述べている。

10 種類のターゲット(三角形、ドーナツを 1/3 に切った形、スイス国旗のような十字、鍵穴など)を用意し、ターゲットの大きさを 3 種類、ターゲットまでの距離を 3 種類の、計 90 パターン (= 10 × 3 × 3) で評価をしている。10 人の被験者それぞれに、ランダムな順序で 90 パターンを 20 組、つまり 1800 回ポインティングさせて結果を集計した。

実験には、WACOM のタブレットと絶対座標モードのマウス(マウスのタブレット上の位置が画面のカーソル位置に直接対応する)を使っている。私達が普段使っている普通のマウス(相対座標モード)だと、小さな修正動作が入ってしまい実験結果のノイズになるためだ、と論文では説明している。

実験結果では、ポインティングに実際に要する時間と、彼らの手法による予測値との回帰分析において、 $R$  二乗値が 0.94 を超える精度を達成している。

ただし、10 個のターゲットのうち、スイス国旗のような十字形状だけが予測よりも実際の難度が高く、ポインティングに余計な時間がかかっている(0.1 ~ 0.2 秒遅い)。ちなみに、このターゲットを外した 9 個に限定すると、 $R$  二乗値は 0.959 に達する。

そこで、この十字形状ターゲットのポインティング履歴を調べてみると、マウスカーソルの移動方向と直交する方向の領域(横移動であれば上下に出ている部分)は、10%しか使われていないことがわかった。つまり、ユーザは十字の領域の全体ではなく、移動方向に平行な長方形をターゲットとみなしている。実際、上下のどっばりを取り外した単なる長方形として計算してみると、予測

の  $R$  二乗値は 0.961 に達した。

## 6. 論文の意義

紹介論文が述べている、自由形状ターゲットへの拡張は、上述したように前著の論文 [Grossman 05] からの自然な発展であり、基本アイデアは前著ではほぼ出尽くしている。よって、この論文で著者らのポインティングへの探求が一段落した、という位置づけだろう。丁寧な検討により、ユーザの振舞いに関する基本的な理解が深まったのは意義深い。

提案されている式を使えば、我々が使うさまざまなユーザインタフェースの使い勝手を評価できる。最近では複雑な形状のユーザインタフェースも珍しくなくなってきたが、いたずらに使い勝手の悪いユーザインタフェースを、被験者実験をせずに排除できる可能性もあり、プロトタイピングを効率化できるだろう。著者らには、ぜひツール化もしくはライブラリ化して広く提供してもらいたい。

ところで自由形状のボタンやメニューは、著者らが述べているように最近増えてきているし、今後もツールキットの高機能化や、商品の差別化要求のため、増えていくだろうが、果たして本当に必要なのだろうか。

この論文が発表された CHI2007 では、Blevis が Sustainable Interaction Design (SID) を提案し、Best Paper Award の一つに選ばれている [Blevis 07]。これは環境負荷低減など社会的な要請に、インタラクションデ

ザインも応えるべし、という考えである。SID の観点からは、例えば長く使い続けられ、使い回しを喚起するインタラクションデザインが重要になり、目新しさで人を惹き付け、買替えを助長するようなものは、避けるべきとなる。現代の大量消費社会を考えると、まだ絵に描いた餅ではあるが、今後重要な視点になるだろう。

ユーザインタフェースには今や、美しいデザインと、ポインティングの容易さなど高いユーザビリティ、さらには SID の観点からも良質であることが求められている。

## ◇ 参考文献 ◇

- [Accot 03] Accot, J. and Zhai, S.: Refining Fitts' law models for bivariate pointing, *Proc. ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2003)*, pp. 193-200 (2003)
- [Blevis 07] Blevis, E.: Sustainable interaction design: Invention & disposal, renewal & reuse, *Proc. ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2007)*, pp. 503-512 (2007)
- [Grossman 05] Grossman, T. and Balakrishnan, R.: A probabilistic approach to modeling 2D pointing, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol. 12, No. 3, pp. 435-459 (2005)
- [MacKenzie 92] MacKenzie, S. and Buxton, W.: Extending Fitts' law to two-dimensional tasks, *Proc. ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI92)*, pp. 219-226 (1992)

[堤 富士雄 (電力中央研究所)]