

遠隔ポインティング操作における入力デバイスの操作特性 —ターゲット追跡におけるジャイロマウスと通常のマウスとの比較— Characteristics of Input Devices for Remote Pointing Manipulation -Comparison of target chasing movement by gyro mouse and ordinary mouse-

加藤 麻樹 Macky KATO, 下平 佳江 Yoshie SHIMODAIRA
前田亜紀子 Akiko MAEDA

Abstract: Pointing task is one of the most frequent one in VDT job. Many computers have not only mouse device, but also touch pad, trackball, infrared rays, and gyro sensors. It is not easy for the users to manipulate usual mouse from remote position without any tables or desks to fix the device. Thus they use remote controller which has some sensors from distant place. In this study, we investigated the difference of performance among usual mouse, touch pad, and gyro sensor device. As the result, it was cleared that Fitt's Law can be applied to the remote pointing task. Especially, influence of the size of target for the remote control is larger than the usual mouse. The ratio of distance and size of target should be approximately 8.6 to enclose the gyro device performance to the usual mouse.

Key words: Mouse, Gyro, Pointing Task, Fitt's Law, GUI

1. はじめに

現在流通するコンピュータのほとんどは、ポインティングデバイスを用いることで機能を選択するGUI(Graphical User Interface)を用いている。特にマウスによる操作が一般的であり、その他には、トラックボールやタッチパッドなどの固定されたデバイスによる操作をあげることができる。通常のコンピュータ操作は机上にディスプレイ、キーボード、マウス等のデバイスを置き、眼前で作業をするため、オフィスワークの代表的な作業となっている。従って操作器であるポインティングデバイスと表示器であるディスプレイとの間の距離は、机上の限られた範囲に収まるため、比較的近い。これに対してテレビをモニターとするゲームやオーディオなどの操作では、テレビから離れてコントローラ等を操作することが多く、ディスプレイと操作器との間に、ある程度の距離をおくことが多い。これと同様に、プロジェクタや液晶大画面等を用いた場合は、画面の側方や室内の遠方などの離れた場所からの操作が必要となる。

ゲームやプレゼンテーションにおける遠隔操作においてポインティング操作をするとき、デバイスを机上に設置することができないため、デバイスは空

中で操作しなければならないことがある。例えば任天堂WiiやSONYプレイステーション3などの無線コントローラや、プレゼンテーションにおけるレーザーポインタやマウスエミュレーションなどがこれにあたる。

机上での操作と空中での操作の違いは、デバイスの静止状態において顕著に現れる。例えば画面上のマウスカーソル(以下カーソル)を静止させるには、マウスの場合は手を離せばよい。しかし同様に空中でデバイスを静止させることは、上肢の動きを静止させることであり、極めて困難な動作である。特に上記のようなプロジェクタや液晶大画面の表示に対する操作は、C/D比が小さくなるため、画面上でカーソルを目標とする位置に移動させ、固定することはなお困難である。そこで、従来のマウスによるポインティング操作と比較して、遠隔によるポインティング操作をしている際のデバイスの挙動特性が定量的に示されることが望まれる。すなわち、この挙動特性を、デバイスそのもの又は画面上のインターフェイスの改善を図るための指標とすることが、遠隔からのポインティング操作の円滑化につながると思われる。

ポインティング操作におけるターゲットの大きさと距離との関連性については、リーチ動作における

一般的な法則として、式1に示した Fitts の法則が適用されることが多い。

$$ID = a \log_2 \frac{bD}{S} \quad (D: \text{距離}, S: \text{大きさ}) \cdots \text{式1}$$

Fitts の法則はターゲットに対するリーチ動作に要する動作時間が、距離の長さに対して比例関係にあるとともに、ターゲットの大きさに対しては反比例の関係にあることを示している。すなわちターゲットが大きくなると動作時間は短くなり、小さくなると動作時間は長くなる傾向にあるとされる。これをポインティングデバイスの操作におきかえると、カーソルの移動をリーチ動作の手の移動としてとらえることができる。このときの移動距離は直線距離で示されるが、リーチ動作は必ずしも直線的に発生するものではなく、この点はマウスカーソル操作においても同じである。このことを踏まえ、Fitts の法則の適合性について過去いくつかの研究が行われており、機器の条件ごとにモデル式に対する検討がなされ、適合度の高いモデルが提案されている^{1,2)}。また操作性向上を目的とした研究として、ソフトウェアによる画面上のカーソルの吸引や、画面表示の変更などを行うことで、ユーザの操作性を評価する研究が行われてきた^{3,4)}。困難といわれる高齢者の操作については、困難を感じる要因として画面設計と前腕の動作の関連性についてとりあげ、若年者と比較した実験などがある⁵⁾。しかし、その対象の多くはカーソルの X,Y 軸上での挙動に着目している。

マウスの挙動における回転要素を対象とした研究としては、三次元空間でカーソル制御を行うために、球体の筐体を用いて回転を抽出する機能をもったデバイスの開発が行われており、三次元操作での有効性が示されている^{6,7)}。また二次元座標上でのマウス操作時のヨー角の変化を測定し、マウスの移動における回転角度について分析が行われている。その結果、左右へのマウスの移動の際、必ず回転運動が発生していることがわかった^{8,9)}。特に熟練した作業者は回転角度が一定であるのに対して、高齢者等の十分な習熟が出来ていない作業者の場合は、不規

則性が顕著であった。

一般的なリーチ動作とは異なり、操作対象であるマウス自体は机上に接触していることから水平移動ではあるが、始点から終点までの間の移動がマウスの直線移動のみで構成されているとはいえない。実際にはマウスには回転運動が加わっており、マウスカーソルの挙動に対して影響を与えている。この回転は作業者が意識的に行っているわけではなく、マウスカーソルを移動させる際に自然に発生しており、個人差が大きい。この点を踏まえ、本研究ではこのマウスの回転に着目し、操作において自然に発生する回転運動をデバイスの操作に反映させる方法について検討する。

2. 目的

以上の点を踏まえ、本研究では、使用機会が増えている遠隔操作におけるポインティングデバイスの一つとして、比較的評価が高いとされているジャイロを備えた、空間上でのカーソル操作ができるデバイスを作成し、その操作特性を計測する。空中でのカーソルの制御が困難であることから、回転によって特定の箇所にカーソルを移動させる課題をとりあげ、マウスとタッチパッドとを比較対象として、ジャイロを内蔵した空中デバイスの操作特性を定量的に評価し、非接触の遠隔デバイスを開発するための指針を構築することを目的とする。

3. 方法

本研究では遠隔操作を行うポインティングデバイスとして、ジャイロを内部に備えた空中での操作を可能とするデバイス（以下ジャイロマウス）を用いる。また、通常のマウスとタッチパッドを用いて同じ実験を行い、動作特性を明らかにするための比較対象とする。ジャイロマウスの内部にはジャイロセンサー A3U9S(NEC-TOKIN)を備え、Z 軸方向と X 軸方向の回転角度を検出する。画面上のカーソルは、図1に示すように Z 軸を中心とする回転を横座標方向の移動に対応させ、X 軸を中心とする回転を縦座標方向への移動に対応させる。

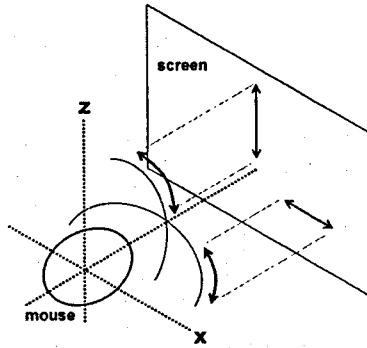


図1 空中マウスの回転とカーソルの挙動
Fig.1 Rotation of Gyro Mouse and
Movement of Pointing Cursor

図2に、実験に用いる画面を示す。被験者には、この画面上にランダムに表示されるターゲットに対してカーソルを移動させる課題を課す。このとき過去の知見にならない、画面のサイズと視距離との比率は1:3とする。スクリーン上に実際に投影されたウィンドウの大きさは1m四方の正方形であり、被験者はスクリーンから3m離れた位置から操作を行う。ターゲットの大きさは、5ptから55ptまで5ptずつ10段階に変化することとし、1つのサイズにつき20試行の課題を行う。なお、ポインティングにかかる挙動のみを抽出するため、ターゲットに対するクリック動作はしない。カーソルがターゲットと重なったところで、次の表示を行い、カーソルを再度合わせるように指示する。試行ごとに、ターゲット表示時点のカーソルの位置から、ターゲットまでの直線距離と、カーソルがターゲットに到達するまでに要した時間を計測する。プログラムの作成には

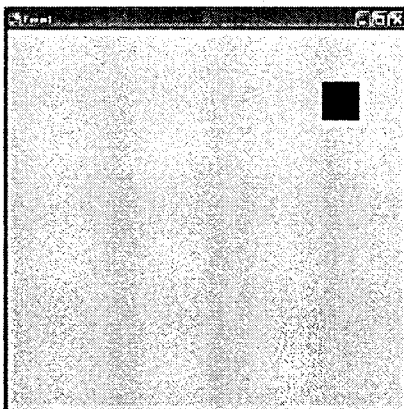


図2 刺激提示画面
Fig.2 Experiment Window

Microsoft Visual Studio .net 2005を用いる。

被験者は矯正視力を含む正常視力をもった大学生6名(平均年齢20歳)で、いずれも2年程度のコンピュータ使用歴をもつ。試行前にジャイロマウスを用いた練習を行い、習熟させた上で課題を与える。

ターゲット間の移動に要した時間と、ターゲットの大きさ、距離についてそれぞれ変化の影響について検討する。またGUIに関する過去の知見¹⁰⁾においても困難度指標として用いられているFittsの法則に基づく関係式と、計測結果を比較し、その整合性について検討する。

4. 結果

図3にターゲットの大きさと追跡時間の平均値との間の関係を示す。いずれのデバイスを用いてもターゲットの大きさが大きくなるに従って、追跡に必要な時間は短くなる傾向を示した。このときの短縮傾向は、大きさが小さいときは急激であるが、大きくなると緩やかになる。またデバイス別では、通常のマウスを使ったときの追跡時間が最も短く、タッチパッドとジャイロマウスは近い値を示した。特にターゲットサイズが大きいときには差がほとんどなく、移動についてあまり困難が生じていないことが分かった。しかし、小さいときはジャイロマウスよりもタッチパッドのほうが時間が短かったため、精密な操作においてジャイロマウスの操作性はあまり高くないことがわかった。

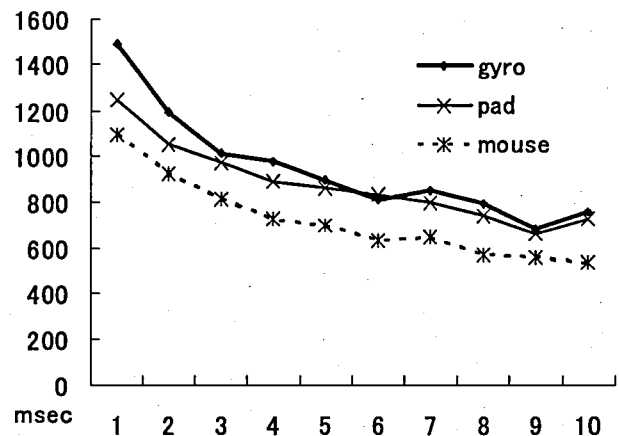


図3 ターゲットサイズと追跡時間との関連性
Fig.3 Relationship between
The target size and Response Time

図4にターゲットの条件と追跡時間との関連性を示す。縦軸は追跡時間を示し、横軸はターゲットの大きさと距離との関係を示す Fitts の法則により得られた困難度尺度を示す。

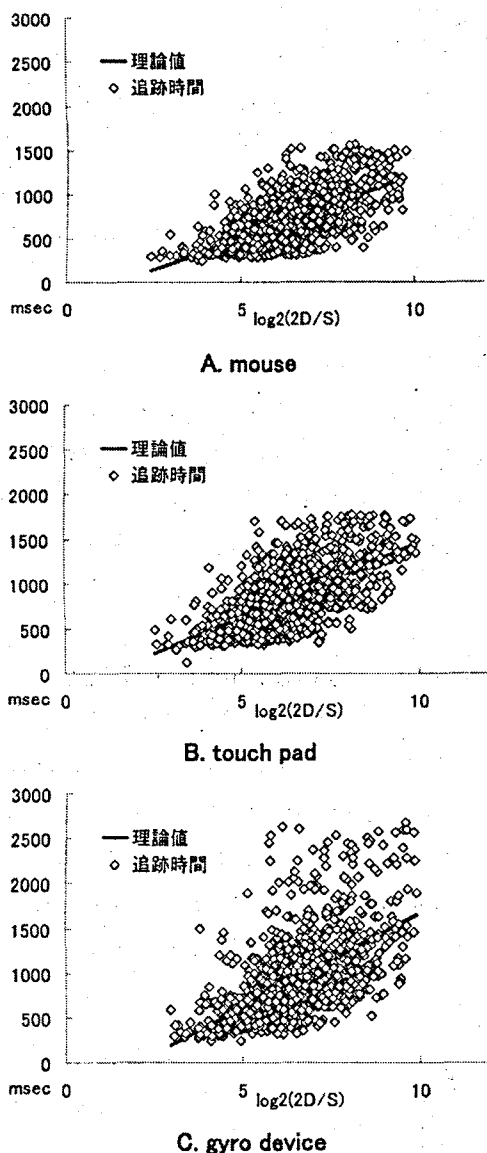


図4 ターゲット条件と追跡時間との関連性
Fig.4 Relationship between the target condition and Response Time

いずれもやや高い相関を示しながら困難度尺度が高くなるに従い、追跡に要する時間も長くなることわかった。ただ通常のマウスとタッチパッドについては測定した値の分布は近似しているように見えるが、ジャイロマウスの場合は追跡に要する時間に分散傾向が示されたことがわかる。特に困難度が高くなるに従い、測定値に幅が生じる傾向を示してい

ることがわかる。

また、困難度が高くなったときの追跡に要する時間の上昇傾向について、困難度と追跡時間との間で回帰分析を行った。表1に回帰分析により得られたデバイスごとの相関係数と直線の傾きを示す。

表1 デバイスごとの回帰係数

Tbl.1 Regression coefficient of difficulty and pointing time for each device

device	Correlation coefficient	Regression coefficient	p
Mouse	0.62	144.1	<0.01
Pad	0.61	165.8	<0.01
Gyro	0.58	211.1	<0.01

3つのデバイスのいずれも高い相関を示しており、Fitts の法則の適合性が高いことがわかる。ただ相関係数には大きな差がないことから、分散している測定値は、追跡に要する時間の遅延ではなく、エラーとして遅延した結果現れたものであることが示された。また回帰式の傾きについては、マウスとタッチパッドの間では近い値が示されたが、ジャイロマウスの傾きは、他の2つのデバイスと比較して大きい値を示した。

5. 考察

図3に示したターゲットの大きさと追跡時間との関係において、通常のマウスを用いた際の値が低くなっているのは、被験者の普段の使用による習熟が最も大きな要因であると考えられる。すなわち、実験前にジャイロマウスの操作について、操作方法を習熟する程度には事前練習をしているが、他のデバイスに対する習熟度に達するほどの習熟には至っていないといえることができる。特にターゲットの大きさが最も小さいときの追跡時間の差は、日常的な使用頻度の高さがそのまま値として現れたと思われる。しかし、ターゲットの大きさが大きくなるとタッチパッドとジャイロマウスとの間ではほとんど差異がなくなるため、作業についてある程度の簡易さがあれば、ジャイロマウスの操作が有効であると考えられる。

図4では、ターゲットの大きさと距離との比率を用いた困難度指標と追跡時間の関係から、図3で示した結果が回帰式の傾きの差が大きいものになった理由の一つとなっていると考えられる。すなわち、ターゲットが小さくなることで困難度が高くなると、その影響はジャイロマウスの場合、より顕著に現れるということができる。これは、ジャイロマウスに生じる回転角度が、手首及び上腕の稼動範囲に対して小さいために、C/D比を小さくしていると考えられる¹¹⁾。通常のマウスデバイスに対する回転動作は日常的に観察されるが、初心者への操作における不自然な手首の回転では、前腕の挙動と手首の挙動とのバランスが悪いことから適度な操作量が得にくい⁹⁾。今回用いたジャイロマウスは、自然に発生する回転ではなく、任意に回転を生じさせていることから、C/D比については、マウスデバイスよりも多少大きいことが望ましいと考えられる。

ただ日常的に用いるマウスの操作感覚を遠隔からのジャイロマウス操作へと応用するに当たっては、その困難度と追跡に要する時間との関係が近似していることが望ましいと思われる。

そこで、ジャイロマウスと他の2つのデバイスとの間で、直線の交点を求めた結果、困難度を示す横軸の値は、タッチパッドの場合は約3.1、マウスの場合は約5.1となった。この両者の中点は4.1であり、このときのD/S比は8.6となる。D/S比を8.6程度にするためには、画面設計において、遠くのターゲットは大きく、近くのターゲットは小さくするという方式をとることになる¹¹⁾。しかしながらインターフェイスとしての外観としては、従来の画面設計とは全く異なったものとなるため、追跡時間を指標としたパフォーマンスを向上させることを目的とする場合に限られると考えられる。

アプリケーションの機能が拡大傾向にある昨今のソフトウェア開発においては、画面設計上の制約が増すため、提案の実現には困難を伴う。そこで、操作性の観点からも、機能を減縮させる方向性をもった開発方針をとり、必要最小限の機能に絞り込むことで、柔軟かつ操作性の高いインターフェイスを構築することができると思われる。そのためには、今後のアプリケーション開発における機能の必要性の

評価が必要である。

6. まとめ

本研究では、遠隔からの操作におけるジャイロマウスの有効性について検討した。画面設計においてある程度の大きさを有するターゲットが用意されていれば、その操作性はタッチパッドのものに至ることがわかった。従って、遠隔操作に用いられるデバイスの設計において、ターゲットの大きさと、カーソルとの距離を考慮に入れた画面設計の有効性が示された。

謝 辞

本研究は平成19年度科研費(萌芽)の助成による。また実験にあたり、長野県短期大学の東舞子氏、小川原芳奈氏、刈間美佳子氏の協力を得た。記して謝する。

参 考 文 献

- 1) 村田厚生, マウスのパフォーマンスモデルについて, 電子情報通信学会論文誌, J79-A(9), 1645-1648, 1996
- 2) 駒崎雅信, 出澤正徳, タッチモニタにおけるヒトのポインティング特性に対する加齢と性別の影響, 日本機械学会福祉工学シンポジウム2004講演集, 141-144, 2004
- 3) 松本敏幸, 山田耕一, 高齢者のためのポインティング操作支援システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 6(3), 313-320, 2004
- 4) 山西潤一, 池田俊秀, 中林智美, ポインティング時間を指標とした高齢者のマウス操作特性, 日本教育工学会第20回全国大会講演集, 507-508, 2004
- 5) J. Sandfeld, B. R. Jensen.: Effect of computer mouse gain and visual demand on mouse clicking performance and muscle activation in a young and elderly group of experienced computer users, Applied Ergonomics, 36, 547-555, 2005
- 6) 高橋友一, 葛谷幹夫, 回転操作を用いた3次元回転入力インタフェース, 情報科学リサーチジャーナル, 5, 27-32, 1998
- 7) 高橋友一, 葛谷幹夫, 関康洋, 回転操作を用いた3次元回転入力インタフェース, 情報処理学会論文誌, 40(2), 399-404, 1999
- 8) 加藤麻樹, 下平佳江, PCマウスを用いたポインティング作業時の高齢者の動作特性, 長野県短期大学紀要, 61, 99-108, 2006
- 9) M. KATO, Y. SHIMODAIRA, H. NISHIGUCHI and M. KARASHIMA, Analysis of rotation movement of elderly user's pointing operation by mouse, Proceedings of WWCS2007 Computing Systems for

Human Benefits the 8th International Conference on Work With Computing Systems, May 2007, Stockholm, 45-49, 2007

- 10) 西口宏美, 齋藤むら子, GUI画面上での脳性麻痺者のマウスポインタと移動と位置決め作業についての一考察, 人間工学, 43(3), 124-131, 2007
- 11) 加藤麻樹, 遠隔からのポインティング操作におけるデバイスの特性に関する一研究, 日本経営工学会平成20年度春季大会予稿集, 102-103, 2008