

パッシブ型力覚マウスの試作と性能評価

福中 謙一^{*1} 木村 朝子^{*2} 佐藤 宏介^{*3} 井口 征士^{*4}

A Prototype and Performance Assessment of Passive Force Feedback Mouse

Ken'ichi Fukunaka^{*1}, Asako Kimura^{*2}, Kosuke Sato^{*3} and Seiji Inokuchi^{*4}

Abstract - In this paper, we propose "Passive Force Feedback Mouse" providing the reaction force over mouse movement and mouse wheel rotation. We developed a prototype using magnetic force as the passive force. Various force feedbacks, such as STOP, TOUCH, and WEIGHT feedback to the user's hand on the mouse and STOP, NOTCH, and FRICTION feedback to the user's finger on the mouse wheel, are available by controlling drive time and magnitude of the force. We also developed prototype applications that use passive force feedbacks as desktop metaphors. For example, the STOP feedback to the mouse is presented when the mouse pointer hits a display frame. The result of evaluation using these applications shows that the force feedbacks of the Passive Force Feedback Mouse are intuitive and effective for users. We have also obtained suggestive user's observations about the relation between visual feedback and force feedback.

Keywords: Force Feedback Mouse, Passive Force, Reaction Force and Desktop Metaphor

1. はじめに

マウスは、今や人間がコンピュータを利用する上でもっとも一般的でシンプルな対話デバイスとなっている。これを、単なるポインティングデバイスとして利用するだけでなく、フィードバック機能を持つ触力覚ディスプレイ・デバイスとしても利用できれば、ユーザが仮想環境を直感的に知覚する上で大いに有用であると考えられる。

GUI(Graphical User Interface)は、フォルダ、ファイル、ゴミ箱など、オフィスの机上のメタファをビットマップ・ディスプレイ上に再現することで、直感的な操作を可能とした。しかし、例えば実世界では机の境界まで来ると手がエッジで止まるのに対して、仮想デスクトップではポインタはディスプレイの端で止まるが、マウスはそのまま動き続ける。このように、コンピュータ上で提示される視覚と力覚は一致していない。そこで、マウスをもつユーザの手に、力覚を提示することができれば、視覚と合致した形でデスクトップ・メタファを利用することができると考えられる。

触覚マウスの研究は、赤松ら [1][2] や渡辺ら [3]・坂巻 [4] らの研究、Logicool 社の製品 iFeelMouseMan などがあ

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: Graduate School of Information Science,
Nara Institute of Science and Technology

*2: 立命館大学大学院 理工学研究科

*2: Graduate School of Science and Engineering Science,
Ritsumeikan University

*3: 大阪大学大学院 基礎工学研究科

*3: Graduate School of Engineering Science,
Osaka University

*4: 広島国際大学 人間環境学部

*4: Department of Kansei Information,
Hiroshima International University

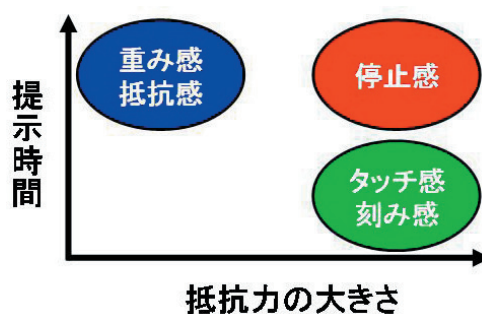


図1 抵抗力の大きさ・提示時間の関係と力

用している。一方、坂巻らの触覚マウスは、マウス上部の力覚提示部が2次元的に動くことで、傾きといった3次元的な形状情報を提示している。

本研究では、ブレーキに代表されるパッシブ型の力覚提示を行い、マウス自体の移動、およびマウスホイールの回転に対して力覚フィードバックを提示する。これにより、机の上で手が何かに「ぶつかる」「触れる」感覚や、物を持った際の「重たい」感覚の再現を試みる。本稿では「ぶつかる」「触れる」「重たい」感覚を、マウス本体では「停止感」「タッチ感」「重み感」、マウスホイールでは「停止感」「刻み感」「抵抗感」とし、これらを抵抗力の大きさと提示時間により図1のように分類する。

本稿では、試作した「パッシブ型力覚マウス」の構成と特性を説明するとともに、これをデスクトップ・メタファに適用するアプリケーションを提案する。また、被験者実験の結果をもとに「パッシブ型力覚マウス」の利点、問題点について考察する。

2. パッシブ型力覚マウス

2.1 デバイスの構成

図2に試作したパッシブ型力覚マウスの外観を示す。マウス本体の移動に対する抵抗力は、電磁石をマウスの左右に2つ装着し机に固定した磁性版のマウスパッドを



図2 パッシブ型力覚マウス

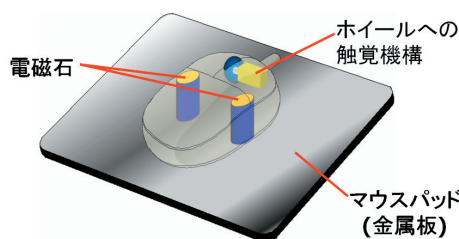


図3 パッシブ型力覚マウスの構造

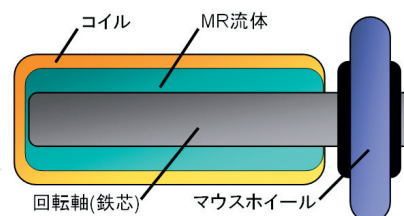


図4 マウスホイールへの力覚機構

用いることで実現している(図3)。電磁石に電圧をかけると電磁石が磁性板に吸着し、電磁石に励磁する電圧が大きいとマウスを移動するのに必要力が大きくなり(抵抗大)、逆に電圧が小さいと少ない力でマウスを移動することが可能になる(抵抗小)。

図4にマウスホイールの力覚提示機構を示す。マウスホイールの回転操作に対する抵抗は磁場の変化によって粘性の変化するMR(Magneto-Rheological)流体(シグマハイケミカル社製)を用いることで実現している。マウスホイールの回転軸として鉄芯を用いこれをMR流体の入った筒の中に入れる。この筒にコイルを巻くことでMR流体に自在に磁場をかける。以上の機構により、コイルへ励磁する電流が大きいとホイールの回転に大きな力が必要となり(抵抗大)、逆に電流が小さいと、少ない力で回転する(抵抗小)ことが可能となる。

各力覚提示機構にかかる電圧値をコンピュータ制御することにより、抵抗の大きさを段階的に変化させる。最大電圧12Vをかけたときに提示できる力覚は、マウス本体で3.9N、マウスホイールで1.1Nである。また、励磁をON/OFFすることにより、抵抗の提示時間を制御することができる。

2.2 力覚フィードバックの評価

試作した力覚マウスのマウス本体・マウスホイールそれぞれについて「最大の抵抗をかけ続ける」「最大の抵抗を瞬間的にかける」「小さな抵抗をかけ続ける」という3種類の制御を行うことで、図1に示した異なる力覚感覚を提示することができるかどうか実験を行った。被験者は、20歳代の男性10人である。その結果以下のようなコメントが得られた。

- ・「大きな抵抗をかけ続ける」場合には「動かせなくなった感じ」や「張り付いた感じ」
- ・「大きな抵抗を瞬間的にかける」場合には「そこに何かがある感じ」「何かに引っかかった感じ」「つまづいた感じ」
- ・「小さな抵抗をかけ続ける」場合には「抵抗が増した感じ」「何かに入り込んだような感じ」

これらのコメントより、3種類の力覚がそれぞれ「停止感」「タッチ感、刻み感」「重み感、抵抗感」として知覚されていることが分かる。

次に、本力覚マウスが提示可能な抵抗(マウス本体0.0～3.9N、マウスホイール0.0～1.1N)に対して、どの程度の抵抗のときに「停止感」「重み感、抵抗感」と

表1 「停止感」「タッチ感、刻み感」「重み感、抵抗感」として知覚されるための抵抗とその提示時間

(a) マウス本体の移動に対する力覚提示

	停止感	タッチ感	重み感
抵抗(N)	3.6～3.9	3.9	1.7～2.5
提示時間(sec)	0.7～	0.5～0.7	0.7～

(b) マウスホイールの回転に対する力覚提示

	停止感	刻み感	抵抗感
抵抗(N)	1.0～1.1	31.1	0.7～1.0
提示時間(sec)	0.7～	0.5～0.7	0.7～

して知覚されるのか、またどの程度の提示時間のときに「タッチ感、刻み感」として知覚されるのかを調べるために、上記の被験者に対して以下の実験を行った。実験では、まず抵抗を徐々に変化させ、「停止感」と感じる抵抗の大きさの範囲と「重み感、抵抗感」と感じる抵抗の大きさの範囲を調べた。また、抵抗を最大にした状態で、提示時間を変化させ「タッチ感、刻み感」として知覚される最大提示時間を調べた。それぞれの感覚として知覚されるための抵抗の大きさおよび力覚提示時間の長さは、表1に示す通りである。

3. アプリケーション

3.1 マウス本体への力覚

マウス本体の移動に対する力覚フィードバックを、以下に示すようなデスクトップ・メタファとして利用するアプリケーションを構築した(図5)。

- ・操作対象のウィンドウの輪郭がアプリケーションの表示部の境界に重なるとき「停止感」を提示する
- ・アイコンをポインティングしたときに「タッチ感」を提示する
- ・ウィンドウを移動・拡大縮小するときやファイルを移動するときに、ウィンドウの大きさ、ファイルの容量などに応じて「重み感」を提示する

3.2 マウスホイールへの力覚

マウスホイールの回転に対する力覚フィードバックを、文書などのファイル閲覧時のメタファとして利用するアプリケーションを構築した(図6)。文書の構造や重要箇所などの情報をマウスホイールから力覚的に得ることで文書の閲覧をより効果的に行うことが可能になると考えられる。ここでは、力覚フィードバックを以下に示すようなデスクトップ・メタファとして利用する。

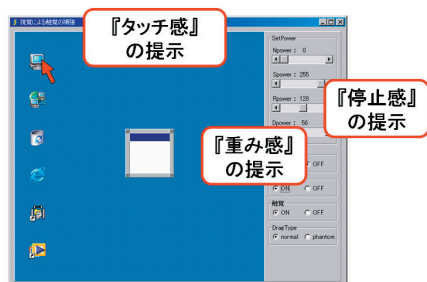


図5 GUI環境への利用

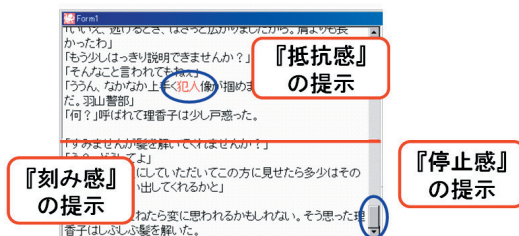


図6 テキスト閲覧への利用

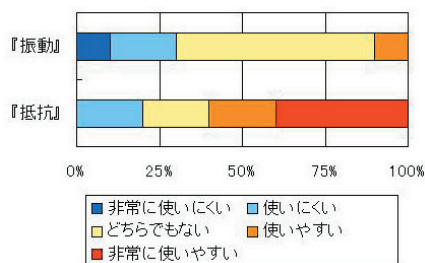


図7 振動型触覚マウスとパッシブ型力覚マウスの評価結果

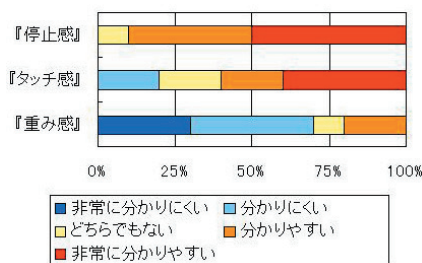


図8 マウス本体への力覚フィードバックに対するユーザ主観評価

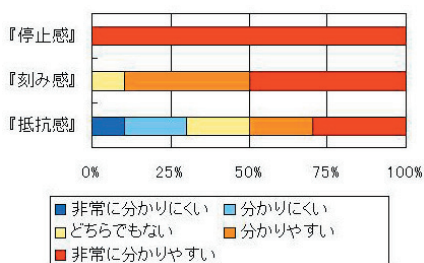


図9 マウスホイールへの力覚フィードバックに対するユーザ主観評価

- ・ウィンドウスクロールの終了時に「停止感」を提示し、視覚的にスクロールバーが止まるのと同時に、マウスホイールの回転を止めそれ以上文章が存在しないことを示す
- ・注目すべき検索語、段落の区切り、ページの切り替わりを「刻み感」を利用して提示する
- ・注目すべき段落や図といった領域を「抵抗感」を利用して提示する。また、検索語が密集して存在している場合、「刻み感」を頻繁に発生させるのではなく、検索語が密集している領域であるという情報を「抵抗感」で提示する

4. 評価実験

4.1 既存の触覚マウスとの比較

既存の触覚マウスとの比較検討を行うために、既存の振動型触覚マウスと提案するパッシブ型力覚マウスそれぞれを用いて、アイコンのポインティング操作を行ってもらった。

振動型触覚マウスとして、Logicool社のiFeelMouseManを用いた。iFeelMouseManでは、マウスポインタがアイコンと重なるとマウス本体が振動する。振動は1秒間に3～4回マウスが小さく揺れるものである。被験者には振動型・停止型の順に続けて使ってもらった。それぞれのマウスについて、ウィンドウ左側に縦一列に6個並んだアイコンを上から順にポインティングしてもらい力覚・触覚提示のない通常のマウスと比較してアイコンのポインティングが行いやすかったかどうかを5段階評価してもらった。被験者は、3.2節の実験と同一の10名で行った。

主観評価結果を図7に示す。図より、振動型触覚マウスと提案するパッシブ型力覚マウスとでは、提案マウスの方が使いやすいと回答する被験者が多かった。

実験中の被験者の様子の観察および被験者によるコメントから、振動型触覚マウスでは、ユーザが振動を認識してからマウス操作を止めるまでの間に時間差があり、マウスポインタがアイコンからずれやすいのに対して、パッシブ型力覚マウスではアイコンをポインティングした瞬間、マウスを動かしにくくなるため、アイコンを確実にポインティングすることができるという性質があることが分かった。

4.2 マウス本体への力覚

次に、デスクトップ・メタファとしての力覚フィードバックの有効性を調べるために、3章で提案したアプリケーションを用いて被験者実験を行った。3.1のアプリケーションのうち

- ウィンドウの端がディスプレイの境界領域にぶつかったときに「停止感」を提示
- アイコンのポインティング時に「タッチ感」を提示
- ウィンドウを移動・拡大縮小するとき、ウィンドウの大きさに応じて「重み感」を提示

の操作を被験者に実際に行ってもらい、それぞれの操作について、力覚提示があることで操作がやりやすくなったかを5段階評価してもらった。実験は4.1節と同じ被験者に対して行った。

主観評価結果を図8に示す。図より、「停止感」「タッチ感」に対しては、操作がやりやすかったという回答が多いのに対して、「重み感」に対しては操作がやりやすかったという意見が多いことが分かる。被験者のコメントからは、「『重み感』は操作中抵抗力が継続的に発生するため、操作に負担がかかる」「ウィンドウの大きさは視覚情報で十分分かるため、力覚を通じて知らせる必要性が低い」といった意見が得られた。このことから、重さという継続的で強い力覚フィードバックをウィンドウの移動というタスクに対しては、重さという継続的で強

い力覚フィードバックを付加する意義は小さかったと考えられる。逆に、提示が短時間で、操作時に大きな負担とならない「停止感」や「タッチ感」は、視覚的に明らかな対象に対して力覚を負荷する場合でも高い評価を得ている。特に「停止感」については、「とても自然」というコメントが多かった。

4.3 マウスホイールへの力覚

3.2 節のアプリケーションのうち

- (d) ウィンドウスクロールの終了時に「停止感」を提示
 - (e) 検索語が画面中の特定の位置を通過したときに「刻み感」を提示
 - (f) 複数の検索語が密集して存在する領域が画面の特定の位置を通過している間に「抵抗感」を提示
- の操作を被験者に実際に行ってもらい、それぞれの操作について、力覚提示があることで操作がやりやすくなったかを5段階評価してもらった。実験は4.1と同じ被験者に対して行った。

主観評価結果を図9に示す。図より、「停止感」「刻み感」の提示については、ほぼ全被験者から操作がやりやすかったという評価が得られた。特に「停止感」については、4.2の結果と同様「自然である」というコメントが多かった。「抵抗感」についても半数の被験者はやりやすいと答えたが30%の被験者がやりにくかったと回答していることが分かる。一部の被験者のコメントに、「目的の単語が密集している場合にも個々の単語に対して『刻み感』を提示したほうが良い」という意見があったことから、検索語が並んでたくさん存在することを1つの「抵抗感」で継続的に提示することにより、個々の単語の正確な位置が分かりにくかったと考えられる。また、マウス本体への「重み感」力覚提示の場合と同様、「抵抗感」は一定時間提示される力覚フィードバックであるため、視覚的に明らかな情報に対しての力覚提示はユーザの指への負担となりうる。

5. 検討

実験結果から、視覚提示との関わりで、パッシブ型力覚がどのように感じられるのかについて検討する。

提示時間が短く、操作時に大きな負担とならない力覚フィードバックについては、主観評価、コメントともに非常に高い評価が得られた。これは、視覚的に分かりやすい情報に対して、短時間の力覚を提示する場合、それぞれの認識がほぼ同時に行えることから、お互いの効果を高めあっていたと考えられる。

一方、強い力覚フィードバックを継続的に提示した場合は、主観評価、コメントともに評価が下がった。これらのことから、視覚的に明らかな情報や視覚と力覚が短時間提示されただけで十分分かる情報に対して、長時間力覚を付加するとユーザの手、指に対して負担となり、あまり好まれないと考えられる。

また、「ファイルを移動するときファイルの容量に応じて重みがあるといいと思った」と言った意見があった

ことから、「重み感」「抵抗感」のような、継続的な力覚提示は、視覚的に分かりにくい情報に対して利用すると有効ではないかと考えられる。

6. まとめ

本論文では、マウスの移動およびマウスホイールの回転に対して力覚フィードバックを提示するパッシブ型力覚マウスを提案し、そのデバイス構成を説明した。また、マウス本体の移動に対して「停止感」「タッチ感」「重み感」、マウスホイールの回転に対して「停止感」「刻み感」「抵抗感」という、それぞれ3種類の力覚を提示することが可能であることを示した。

次に、デスクトップ表示部のフレームにマウスポインタがぶつかる「停止感」を提示する、テキストビューアで検索語を発見すると「刻み感」を提示するなど、パッシブ型力覚マウスをデスクトップ・メタファとして利用するアプリケーションを試作した。このアプリケーションを用いて提案マウスを評価したところ、実世界での力覚感覚と同様ユーザがアクションを起こしたときにのみ力覚が提示されるというパッシブ型の性質が、力覚マウスにおいても有効であることが分かった。特に「停止感」については、マウス本体、マウスホイールともに「非常に自然である」という評価が多かったことから、パッシブ型力覚マウスによる力覚が自然で直感的であることが分かる。

視覚提示との関わりで、力覚がどのように感じられるかに着目し検討を行ったところ、手、指に対する長時間の力覚・触覚提示はユーザにあまり好まれず、視覚的に明らかな情報や視覚と力覚が短時間提示されただけで分かる情報に対しては、短時間の力覚提示が適しているという知見が得られた。また、一定時間力覚提示を行う「重み感」「抵抗感」については、視覚だけでは分かりにくい情報に対して利用すると有効であるという示唆が得られたので、この点について今後より深く検討したいと考えている。

7. 参考文献

- [1] M. Akamatsu, S. I. MacKenzie: Movement characteristics using a mouse with tactile and force feedback, *International Journal of Human-Computer Studies*, 45, pp483-493(1996)
- [2] 赤松幹之: ポインティング操作におけるマルチモーダルインタフェースの効果, *電子情報通信学会論文誌 D-II*, Vol.J77-D-II, No.8, pp1457-1464(1994)
- [3] 渡辺哲也: 触覚マウスを用いた図形情報の識別 — 視覚障害者に図形情報を伝えるための一方策 —, *画像ラボ*, Vol.12, No.6, pp13-17(2001)
- [4] 坂巻克己, 塚本一之, 竹内伸: 指先誘導方式による触覚マウス, *情報処理学会インタラクション 2001 予稿集*, pp - (2001)
- [5] Logitech: iFeel-Mouse, iFeel MouseMan, <http://www.logitech.com/cf/index.cfm>