

仮想空間における自然な操作方法

加藤伸子 土井美和子 岡崎彰夫

(株) 東芝 研究開発センター

仮想空間において、特別な装置を用いることなく、自然な操作を行なう方法について論じる。本方法は、仮想空間と実空間との非線形関数による位置対応、擬似音によるフィードバックからなる。この方法により、操作感向上ができることを、仮想空間におけるレバー操作を用いた評価実験により確認した。本方法により、操作時間を短縮し、エラー回数を減らすことができた。

A Basic Study of Natural Operation in Virtual Space

Nobuko KATO , Miwako DOI , and Akio OKAZAKI
Research and Development Center, Toshiba Corporation
1 Komukai Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 210 Japan

This paper proposes a new method for naturally operating objects in virtual world. The method adopts a non-linear function for hand position mapping between a real world and a virtual world. Experimental results show that the operation based on a non-linear function and a sound feedback is more rapid response than the operation with a linear function.

1 はじめに

仮想現実感 (VR) という概念が普及し、各方面に応用されるようになってきている。ここでは VR を、実空間における動作により CG で表現された仮想空間をインタラクティブに制御する方法としてとらえ、仮想空間での操作に注目する。

実世界における操作では、視覚、聴覚のみならず、皮膚感覚、深部感覚 (抵抗感覚や重量感覚) などの感覚から情報が伝えられることで、外界を認識することができる。特に、能動的な身体の動きに対して得られた感覚情報が、認識には重要であることが知られている^[1]。これまでの仮想空間の操作に関する研究の流れとしては、バプティクス・デバイスをを用いる方法^{[2][3]}と3次元位置・ジェスチャーセンサーを用いる方法^{[4][5]}がある。

バプティクス・デバイスを用いた場合には、仮想空間での物体位置と手の位置に基づき応力を計算し、応力を実空間の手に与える。これにより、皮膚感覚、深部感覚を与え、実空間の手を制御することができる。しかし、これらの装置は研究段階であり、用途、可動範囲に限られるといった問題がある。

これに対し、3次元位置・ジェスチャーセンサーを用いた場合には、実空間の手に感覚を与えて制御することができない。このため、実空間と仮想空間を線形に対応させた時には、仮想空間内で手が物体に貫通したりする不自然な視覚情報を与えることになる。仮想空間内の物体と手に対し、物理制約を導入することで正常な視覚を得ることができるが、実空間には制約がないため、仮想空間の手を固定しても実空間の手は移動してしまう。このため、実空間位置との間に不整合が生じる。つまり、単純な線形対応では、仮想空間内で実空間での操作に近い感覚を得ることが難しく、操作は困難であった。

更にどちらの場合も、厳密な物理制約を導入した場合には、計算負荷が膨大になるのも

重大な問題である。

これらの点を考慮して、我々は次のようなアプローチをとる。

- バプティクス・デバイスに依存しない。
- 計算機の負荷を減らすため、厳密な計算を行わない。

ここでは、実空間位置と仮想空間位置の対応のさせ方と、皮膚感覚・深部感覚を補う情報の与え方に着目し、触圧感、抵抗感、重量感を視覚、聴覚により再現することを試みている。

具体的には、以下の2つの方法を提案する。

- 実空間位置と仮想空間位置を非線形関数を用いて対応させる。
- 皮膚感覚・深部感覚に対応した音を提示する。

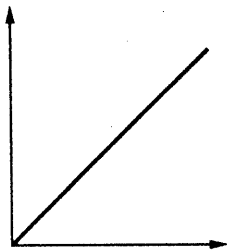
位置対応の方法と音提示の方法について、次章で述べる。次に、仮想制御盤を用いた実験と評価について報告し、最後に評価結果について述べる。

2 自然な操作感の実現方法

2.1 実空間—仮想空間位置対応付け

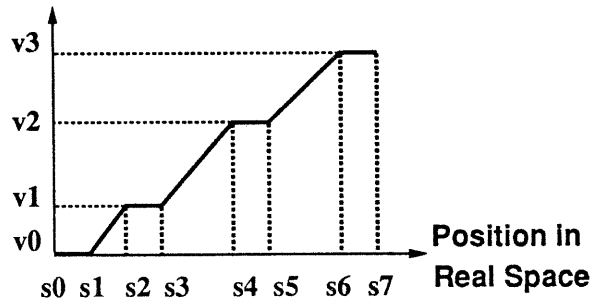
前述のように、仮想空間において手でものを掴んだ場合に、触った状態で手を止めることが困難で、仮想空間では、手がものを貫通してしまう。また、実際の操作では、重いものは動かすににくい、束縛されているものはある程度の力を入れなければ操作できない、など物の状態による操作の違いがある。この操作感の違いを表現できないために、操作時の現状を把握することが困難であり、仮想空間内では、不自然な挙動をしてしまう。

Position in
Virtual Space



a) Free Space

Position in
Virtual Space



b) Lever Operation Space

図 1 実空間と仮想空間との位置対応関数

これを解決するために、実空間と仮想空間を非線形関数を用いて対応付ける方法を提案する。この方法により、計算負荷が少なく適切な仮想空間の表示を行うことと、実空間の余分な動作を吸収し仮想空間の動作を制御することができる。

例えば、仮想空間中のレバーを操作してギアチェンジを行う場合を想定する。これまでの方法では、手の動きを制御することができないため、ギアが入った場所で手を止めることが困難であった。ここでは、自由空間では図 1-a) に示す関数を、レバーを掴んでいる場合には図 1-b) に示す関数を設定する。レバー束縛時に、階段状の関数を用いることにより、ギアが入った場所では、仮想空間での動きを即座に静止させて表現する。実空間で直線的に手を動かした場合でも、仮想空間では、各場所でギアが切り替わる様子を応答遅れなく確認することができ、必要な箇所で実空間の手を止めることができる。このように、関数を適宜選択することで、不都合が生じることがなく、あたかも実空間の動きが制御されているかのような効果を生むことができる。

2.2 音による操作感向上

音により臨場感を提示するために、操作時の音の出し方を工夫する。実空間の手と仮想空間の手を対応させて、手でものを動かした場合を例にとり、3つの音の使用法を説明する。

触圧感を代用するためには、例えば、ものを触っている間は音がする、ものを触った瞬間と触っていたものを離れた瞬間にそれぞれ音がする、といった使い方ができる。

抵抗感を代用するためには、実際の大きな抵抗覚を受ける時点で、音を提示する。例えば、ドアの開閉では、開けた瞬間や閉じた瞬間である。

更に、重量感を代用するために、ものの移動時に重量に見合った音を提示する。例えば、軽い物は軽い摩擦音を提示し、重い物は重い摩擦音を提示して、重量の違いを表現する。

3 仮想制御盤の試作

前章で述べた方法により自然な操作感が得られることを確認するために、仮想制御盤を

試作した。仮想制御盤には、3つのレバーが配置されており、各レバーは3段階にギアチェンジをすることができる。ここでは、

- レバーを目的のギア位置に容易に操作できること
- 少ないエラー回数でレバーを操作できること
- レバー操作時に操作達成感が得られること
- レバーの種類の違いによる操作感の違いが感じられること

を目的とする。実験システムの構成と、評価実験の方法について説明する。

3.1 実験システムの構成

実験装置の構成図を図2に示す。描画とデータ処理は、IRIS 4D/320 VGXが行なう。音サーバーとしては、音出力可能なWSを用い、ソケット通信により接続する。

実空間での動作を入力するには、VPL社のDataGloveTMを用いる。実空間と仮想空間の位置のスケージングは一対一として、現実の操作と同じ環境を造り出している。

3.2 パラメータの設定

この実験の場合に、選択した対応関数、音について説明する。

レバーは、各々種類が異なるために、別の関数が割り当てられている。レバー1、2は、同種類のレバーであるが、大きさが異なるため、階段状になっている対応関数の各いき値の値が異なる。レバー2（小レバー）に比べて、レバー1（大レバー）は、ギアチェンジを行うために実空間での大きな動作を必要とし、また、仮想空間での静止距離が長い。つまり、レバーの重さ、大きさの違いによる重量感、抵抗感

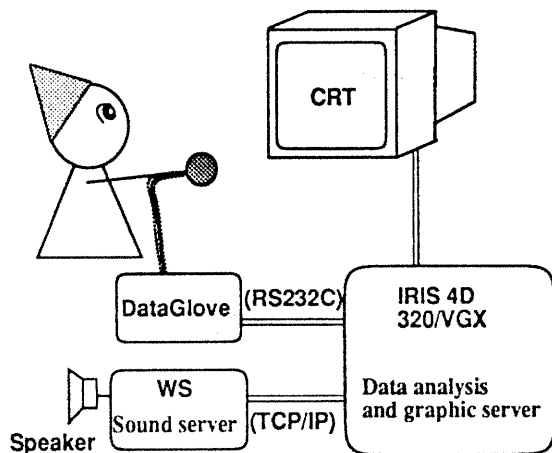


図2 仮想制御盤システム構成

の違いを実空間の距離に置き換えて表現している。また、レバー3は、回転動作を行うレバーであり、実空間の横移動を仮想空間での回転動作に対応させている。このため、実空間でのおおまかな動作で、仮想空間中での細かい動作ができる。

音データとしては、レバーを掴んだ音、離れた音、各レバーのギア固定時の音（レバー1～3）、の5種類の音を用意した。特に、各レバーの違いを明確にするために、レバー1には、

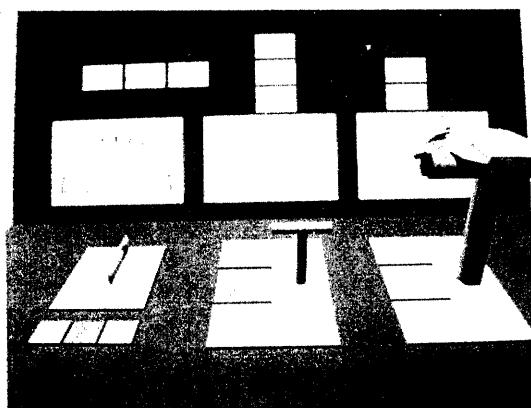


図3 仮想制御盤操作例

重い音を、レバー 2、3 には、より軽い音を割り当てた。

また、レバー横にランプを表示するようにした。ギア位置ごとに色の異なるランプにより、ギア位置を視覚的に確認できる。さらに、制御盤上部には、メーター、パネルを配置して、多くの情報を提示できるようにしてある。

通常は自由空間での関数が用いられ、手がレバーを掴むと以後、レバー束縛時の関数で仮想空間中の動きが決定される。即ち、手の位置は、選択されたレバーのトップに固定され、手とレバーが連動して作動する。手を開くと、レバーを離れたものと判断し、自由空間に戻る。

仮想制御盤の操作の様子を、図 3 に示す。

3.3 操作時間とエラー回数の測定

この仮想制御盤を用いて、評価実験を行った。評価のために、次の 4 つの状態を用いた。

- A) 線形関数、音なし
- B) 線形関数、音あり
- C) 非線形関数、音なし
- D) 非線形関数、音あり

システムは、前面のパネルに、次のギア位置を指示する。被験者は、仮想空間のレバーを掴み、指定された位置までレバーを操作し、レバーから手を離す。これを一つのタスクとする。

実験の始めの 30 分を、データグローブを用いたレバー操作に慣れるための時間とし、その後測定を行った。測定した値は、以下の 2 つである。

[操作時間] システムが次のギア位置を指示した時から、指定された位置にレバーを動かす、レバーから手を離すまでの時間を測定した

[エラー回数] 指示されたギア位置にレバーを動かすまでの、最小限のシフト以外の位置にギアシフトしたタスクをエラーとしてカウントする

各被験者は 1 つの状態ごとに 15 回のタスクを行う。4 つの状態をランダムな順番で測定し、各状態の終了後に、アンケート調査を行った。アンケートは、図 4 の質問を用いており、操作によって受けた感じで、最も近いものを選ぶものである。



図 4 質問調査表

4 結果と考察

操作時間とエラー回数の測定の平均を図 5 に、アンケート結果を図 6 に示す。操作時間は、非線形関数を用いた場合または音を用いた場合 (B、C、D) には、線形関数のみを用いた場合 (A) に比べて、短縮することができる (図 5-a)。

一方エラー回数を見ると図 5-b)、音によってはエラーを削減することはできないが、非線形関数の効果により (C、D)、エラーを削減できることがわかる。またこのことはアンケート結果 (図 6) から確認できる。

また、アンケートにより、信頼性や達成感、操作し易さは、非線形関数と音の両方を用いることで、線形関数のみの場合に比べて、向

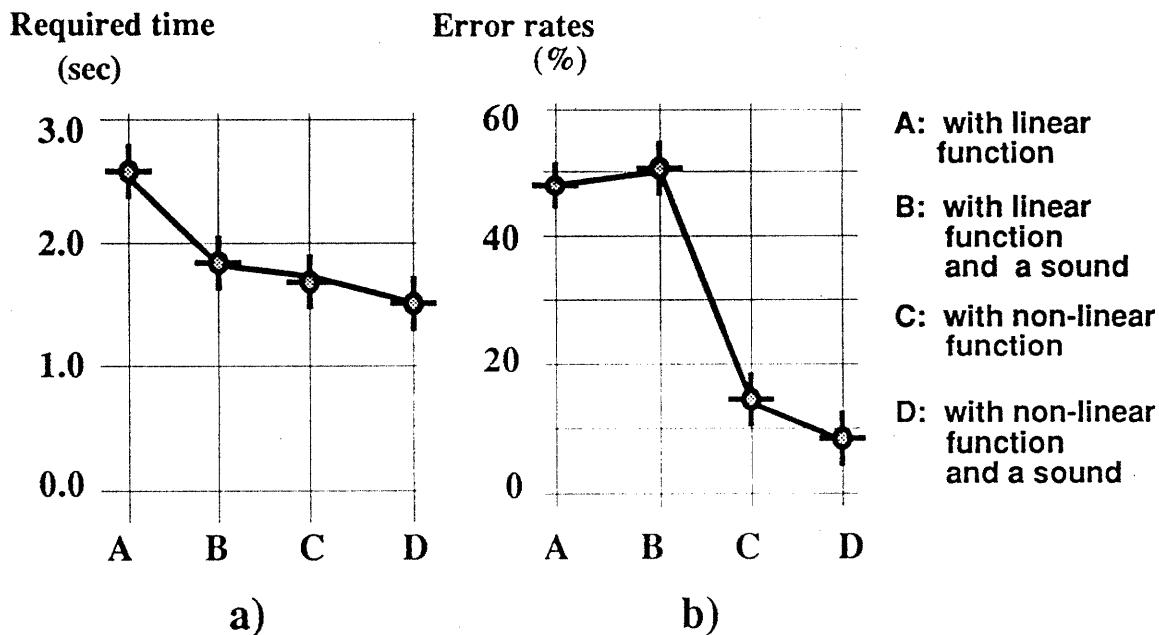


図5 操作時間とエラー回数

上することがわかるが、重量感は向上しないことがわかった。重量感が向上しない原因としては次の2つが考えられる。一つは、WSの内蔵スピーカーを用いたため、クリアな音を提示することができず、レバーの違いによる音の違いがわかりにくかったためと考えられる。もう一つは、磁場のノイズによる誤差の影響を少なくするため、細かい対応関数を取れなかったためと思われる。

5 むすび

仮想制御盤システムを用いてテストを行なった結果、非線形関数による対応、音提示の2つの方法をとることにより、厳密な計算を行なうことなく正常な視覚情報を得ることと、触覚、抵抗覚、重量覚を視覚、聴覚を用いて代用することができ、操作が容易になった。

特に、以下のことがわかった。

- 非線形関数を用いることにより、エラー回数を減らすことができた。
- 非線形関数による対応または音提示を行うことにより、操作時間を短縮することができた。
- 非線形関数による対応または音提示を行うことにより、操作達成感、信頼感が得られることがわかった。

これまで、レバー操作を題材に取り検討を行なってきたため、一次元の対応関数を用いてきたが、より汎用的に用いるためには、3次元的な関数が必要である。今後検討を重ねていきたい。

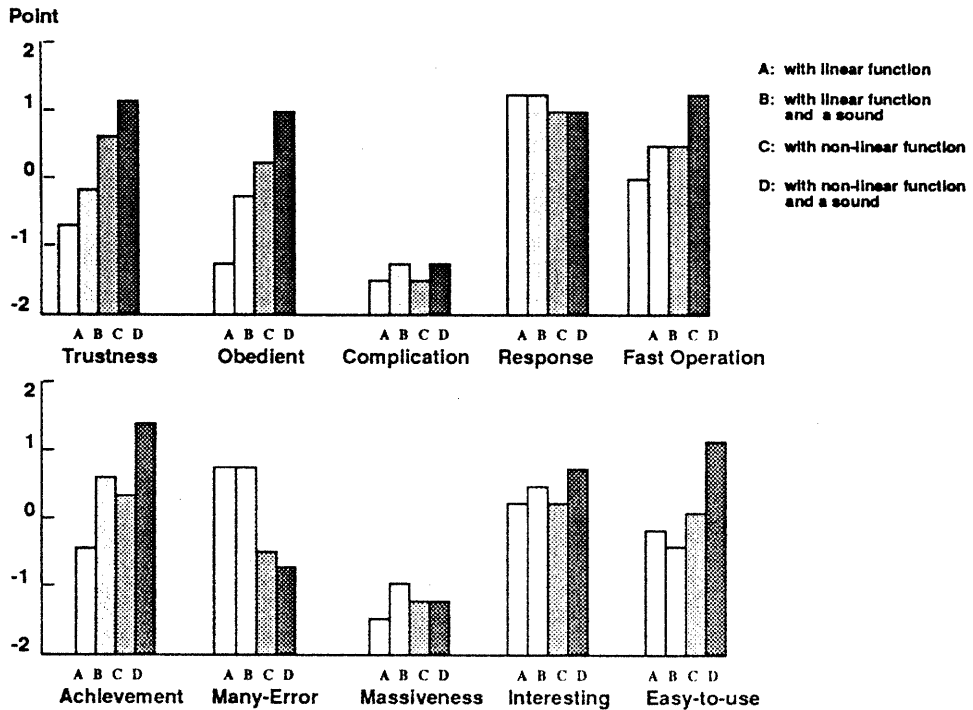


図 6 質問調査結果

参考文献

- [1] "仮想空間におけるハプティクス・フィードバックの形成", 岩田洋夫, 人工知能学会研究会資料 SIG-HICG-9102 (1991).
- [2] "Artificial Reality with Force-feedback: Development of Desktop Virtual Space with Compact Master Manipulator", Hiroo IWATA, Computer Graphics, Volume 24, Number 4, (1990).
- [3] "モータ駆動による力覚生成能力を持つ空間インタフェース装置の提案", 平田、猿渡、佐藤、信学会技報, HC92-10, pp65-71 (1992)
- [4] "Virtual Space Decision Support System and Its Application to Consumer Showrooms" Junji NOMURA, Virtual Computing, pp109-196 (1992).
- [5] "仮想空間における3次元位置計測精度実験について", 榎本範子, グラフィクスとCAD 研究報告 49-6 (1991).