

慣性力による力覚提示

66795 佐々木 正太郎

指導教員 広田 光一 准教授

Abstract: A novel haptic interface that presents force perception for handheld devices is proposed. In previous studies, haptic interface such as PHANToM has been used. These interface has been designed to present grounded force (i.e. counteracting force is supported by the ground) on desktop environment. When haptic interface is embedded in handheld devices, it must present force in non-grounded state. The force that can be presented by non-grounded state is limited to inertia force. Although there are many studies about the haptic interface that present inertia force, most of these studies were focusing on the presentation of force sensation. In contrast, our study focuses on the relationship between the input motion and output force through which user recognize haptic model. In this paper, implementation of the mechanism, design of control system, and preliminary experiments are described.

Key words: haptic interface, inertia force, handheld, shaking behavior

1.緒言

人は日常生活の中で、様々な物体との相互作用の中に生きている。例えば、何かの箱の中にお菓子が入っていると。この箱の中にお菓子が何個入っているのかということ、人は中を視覚で確認せずに手で持った感覚である程度判断することができることは、一般的にも知られている。このように、人は箱の中身の性質（固形物に限らず、液体、粉体など）やその量を、箱をふってみることで推定することができる（Fig.1）。以後、Fig.1のようなユーザと仮想モデルの相互作用を表現するインターフェースを操作-力関係の力覚デバイスと呼ぶ。

本研究では上で記述したような人の力の感覚の認識能力を利用した力覚提示インターフェースの実現手法について提案する。

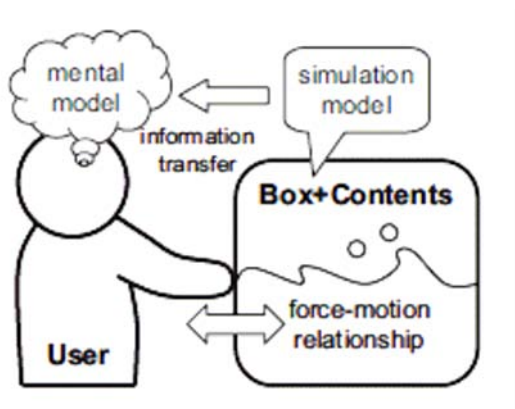


Fig.1 The concept of transfer of information through haptic sensation

2.背景と目的

2.1 力覚インターフェースによる力提示

力覚を提示するインターフェースに関する研究は近年盛んに行われている。過去の研究では、周囲の環境に固定したデバイスで人に力を提示する接地型力覚提示デバイス、人の身体に装着するかもしれない人がデバイスを持つことでデバイスが力を提示する非接地型力覚提示デバイスなどが提案されている。しかし、これらのデバイスは力覚の生成のみに焦点を当てているものがほとんどである。

2.2 操作-力関係を表現する力覚提示

近年では、緒言で述べたような人の操作とデバイスから提示される力に関係性がある力覚提示インターフェースが提案されている。箱にモノが入ったモデルを表現する研究では、金属の箱の中にソノレイドと加速度センサーを実装し、ソノレイドの位置情報からソノレイドの加速度を計算してあたかも箱の内部に鋼球が入っているかのような表現できるデバイスがある。このデバイスは、人の振り方により箱の中の物体の動きや、物体から提示される力が変化するという操作-力関係を表現できる。しかし、このデバイスでは箱の中に鋼球が入ったモデルしか表現できず、汎用的な力が提示可能なデバイスではない。指に装着して触圧覚を提示する研究では、箱の中の物体を触ったり持ったりしたときの力覚を提示することが可能である。この研究においても、人の物体へのアプロ

一ちの仕方によって提示される力覚が変化するという人とモデルとのインタラクションが表現されている。しかし、装着するという点や力の提示方法から、提示できる力が限られているという問題がある。

本研究で提案する考え方は、非接地型のインターフェースであり、ユーザの操作により提示される力が変化する操作-力関係を表現する力覚提示デバイスという点では上記の二つの研究と同じだが、汎用的でかつ複数の力覚の提示が可能という点で異なる提案ができると考えている。

3. 理論と設計と制御

3.1 力覚の提示手法と機構の設計

本研究では、力覚の提示に慣性力を利用して。まず、人がふって試みることができるよう、人が力を入力する部分にはフレームを用いることにする。慣性力を生成するためにはフレームに加速度を発生させる必要があるため、モーターのトルクを利用するフレームとモーターの機構を考える。ここで、安定で大きな力覚を提示するために以下の三つの点を工夫した。

1. フレームを天井部から吊る機構にした。
2. モーターとフレームをリンクで結合する平行リンク機構を採用した。
3. モーターを錘として代用し、力の生成のしやすさを求めた。

機構としては、ユーザからの力を入力とフレームからのユーザへの加速度の出力が一自由度のフレームにより表現される平行リンク機構を用いたため、力の提示方法やそのためのデバイス制御が比較的簡単なデバイスとなった。

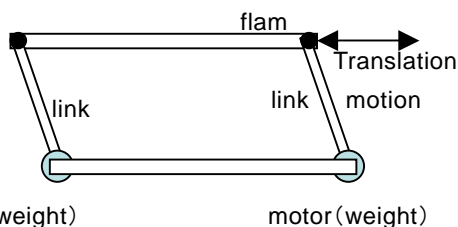


Fig.2 Parallel mechanism of link

3.2 機構の制御と運動方程式

機構の制御を行うため、まずは機構の運動方程式を解く必要がある。Fig.2 の平行リンク機

構に関する運動方程式を解く場合、機構をFig.3 のような簡単な模式図として表すことができるので、以下の(1)と(2)の運動方程式を立てることができる。

$$A\ddot{x} = F - B(\ddot{\theta}\cos\theta - \dot{\theta}^2\sin\theta), \quad (1)$$

$$C\ddot{\theta} = T - B(\ddot{x}\cos\theta + g\sin\theta), \quad (2)$$

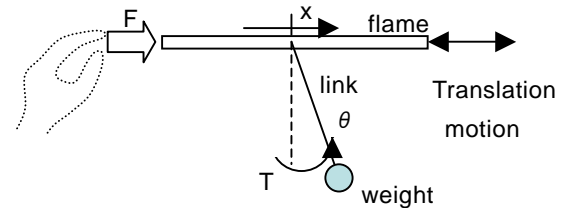


Fig.3 pattern diagrams of mechanism

(1)は機構の並進（水平）方向の運動方程式、(2)はフレームとリンクの結合部を回転中心とした回転運動の運動方程式である。F はユーザが入力する力を、x はフレームの水平方向の相対位置を、 θ はフレームの鉛直方向を基準とした錘の角度を、T はモーターが出力するトルクをそれぞれ表している。この機構の運動方程式をもとに、機構の制御を行う。

3.3 カルマンフィルターと状態の推定

緒論で述べた操作-力関係を表現するデバイスを実装するためには、ユーザが入力する力とフレームに提示される加速度の間にモデルごとの相関関係が示されなければならない。例えばモデルを剛体とするならば、ユーザが力を入力した際に瞬間的にフレームに加速度が生成されなければならない。この状態を確認するため、ユーザの力Fを推定する必要がある。また、デジタルのデータには少なからず電氣的なノイズや機構のノイズなどが乗ってしまう可能性がある。それらを除く意味でも、カルマンフィルターを用いることにした。

状態量を θ 、 $\dot{\theta}$ 、 F 、観測量を θ 、 \ddot{x} 、制御量を T 、 F' として、計算する。フィルターを用いるためには、力やトルクの分散の値を求めなければならないが、これは実装した後に仮実験を行い、計測されたデータから計算する。

3.4 カルマンフィルターを用いた

機構制御の計算サイクル

1.状態の計測

$\theta[t], \dot{\theta}[t]$ (実測値) を取得

$T[t]$ (制御値) を取得

2.力の推定

過去の状態 $\theta[t-1], \dot{\theta}[t-1], F[t-1], \dot{\theta}[t-1]$ と

制御値 $T[t]$ より

現在の推定値 $\theta[t], \dot{\theta}[t], F[t], \dot{\theta}[t]$ を求める

3.モデルの計算

$F[t]$ より目標の加速度 $\ddot{x}[t]$ を求める

4.出力トルクの計算

制御目標値 $T^*[t]$ を求めて出力

3.5 制御の流れ

力覚提示のためのデバイスの制御の流れは次のようになる。

- 1.ユーザがデバイスのフレームに力 F を入力する。
- 2.力 F を機構の運動方程式に入れ、変化した機構の角度 θ や機構の加速度 \ddot{x} を測定する。
- 3.機構の角度 θ 、角速度 $\dot{\theta}$ 、力 F を、フィルターを用いて状態推定を行う。
- 4.表現したいモデルの運動方程式にユーザの力 F を入れ、モデルを表現するためのフレームの加速度 \ddot{x} を決定する。

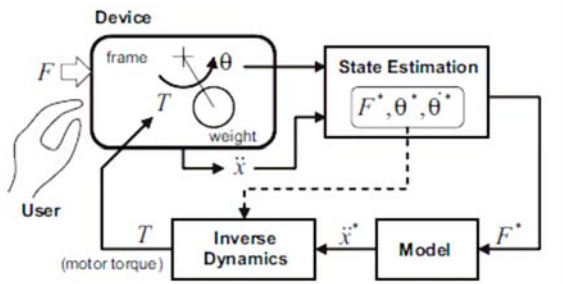


Fig.4 Framework for presenting force-motion relationship

4. 実装と実験

4.1 実装とデバイスの原型

デバイスの原型は第3章のデバイスの設計で述べたように実装する。機構のフレームの質量を軽量化し、リンクと錘の質量を増加させるために、リンクの下端部に二つのモーター (106-4203,Sanyo) を取り付けた平行リンク機構を用いた。デバイスの総質量 A は 1.41kg、リンクの長さは 225mm である。2つの加速度センサはフレームと錘に取り付けた。(錘の加速度センサは今回の実験では制御に用いていない。) リンクの角度はポテンショメータで測定した。この後述べる実験では、力センサを力の推定の検証のために用いている。この力センサは力測定のためにデバイスのフレームに取り付けているが、制御に力の測定値は用いていないため、デバイスの一部ではない。Fig.5 はデバイスの原型の写真である。

$A = M_f + M_l + M_w$ 、 M_f, M_l, M_w はそれぞれフレーム、リンク、錘の質量。

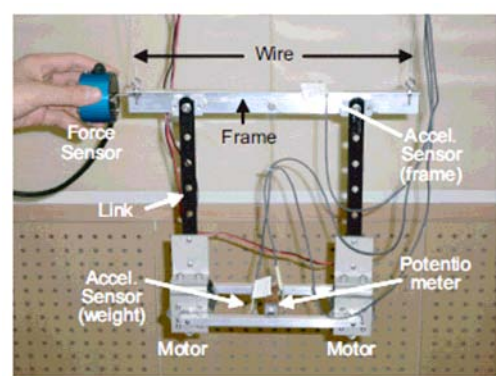


Fig.5 Prototype device

制御システムは、PC、AD/DA コンバータカード、二つのモータードライバユニットから成る。AD/DA 変換機は 4kHz の周波数により 16ビットで演算する。Fig.6 は本研究のシステムのブロックダイアグラムである。

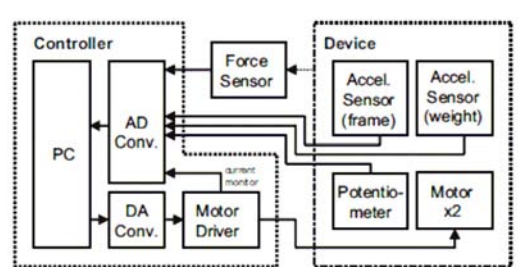


Fig.6 Blockdiagram of system components

4.2 モデルの提示

本研究では三つのモデルを表現することにした。剛体モデルと振り子モデル、箱と内容物のモデルである。

4.3 剛体モデル

Fig.7 は剛体の質量が 0.5kg のときの剛体モデルの力と加速度のデータである。グラフを比較すれば分かるように、力の推定値と測定値、加速度の計算値と測定値ともに値がほぼ一致していることが分かる。このことから、本研究で試作したデバイスが、剛体に関しては操作-力関係を表現できていることが分かる。

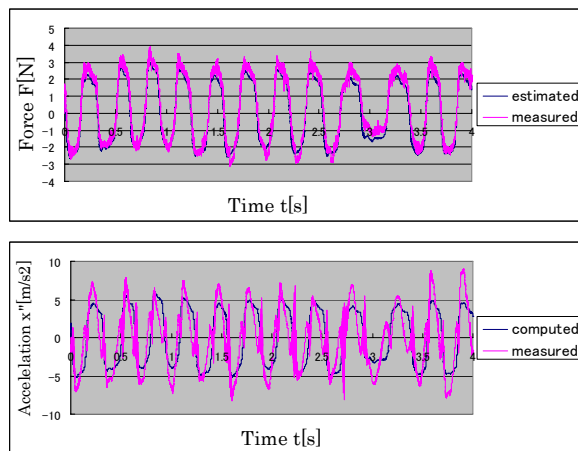


Fig.7 Presentation of a mass. $M_{b+c}=0.5\text{kg}$

4.4 振り子モデル

Fig.8 は振り子モデルでフレームの質量が 0.7kg, 錘の質量が 0.71kg, リンクの長さが 0.1m の場合の力と加速度のグラフである。この振り子モデルに関しては、重心一致計算を組み込むことを試みた。これにより、振り子の実物により近い力覚の提示が可能になると考えられる。

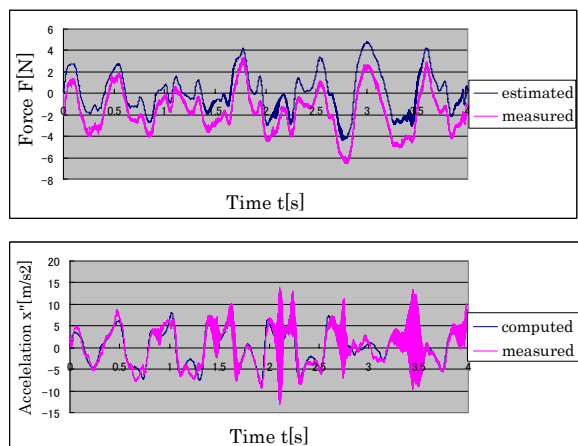


Fig.8 Presentation of a mass.
 $M_f=0.7\text{kg}, M_w=0.71\text{kg}, L_m=0.1\text{m}$

モデルの錘の質量 M_w はフレームが振れすぎないように実物より軽く設定した。 M_w が 0.7kg 以上だとグラフがほぼ一致し、機構のパラメータに近づくと操作-力関係を表現できた。

4.5 箱と内容物モデル

箱と内容物に関しては、デバイスが振動する様子が見られた。グラフの色が濃い部分は振動の部分である。

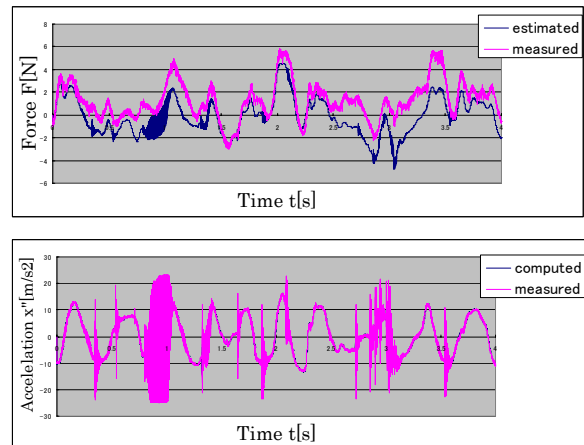


Fig.9 Presentation of a box containing a pendulum $M_f=0.2\text{kg}, M_w=0.1\text{kg}, W=0.2\text{m}$

4.6 今後の課題

デバイスに振動が生じるときや振り子が振りきれてしまうことが問題で、その際は力の提示が不足している感覚を実際にふったときに感じた。モデルと機構の運動量が保存できれば、実物に近い表現ができると考えている。

5. 結言

非接地で操作-力関係のある力覚デバイスを提案した。そのために、機構の設計と制御を行った。一つのデバイスで複数のモデルを表現できる可能性があることを、ある程度確認することができ、先行研究の問題点を改善する可能性があることを示すことができた。

参考文献

- [1] Y.Sekiguchi, K.Hirota, M.Hirose: The Design and Implementation of Ubiquitous Haptic Device; Proc. IEEE World Haptics 2005, 257-258, 2005.
- [2] <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AB%E3%83%AB%E3%83%9E%E3%83%B3%E3%83%95%E3%82%A3%E3%83%AB%E3%82%BF%E3%83%BC>

