

## 動的な仮想世界の力覚提示のためのプロセス間通信

長谷川晶一<sup>†</sup> 石井 雅博<sup>†</sup> 小池 康晴<sup>†</sup> 佐藤 誠<sup>†</sup>

Inter-process Communication for Force Display of Dynamic Virtual World

Shoichi HASEGAWA<sup>†</sup>, Masahiro ISHII<sup>†</sup>, Yasuharu KOIKE<sup>†</sup>, and Makoto SATO<sup>†</sup>

あらまし 本論文は動的な仮想世界を安定に更新するために、更新が低速な世界管理プロセスと更新が高速な力覚提示プロセスとの間の通信にユーザが仮想世界に加えた力積の情報を含めることを提案する。

力覚提示システムは、仮想世界を管理する世界管理プロセスと力覚提示を行う力覚提示プロセスに分けられる。力覚提示装置でばねダンパモデルを用いて硬い物体を表現するためには力覚提示プロセスの更新は高速 (1kHz 程度) でなければならない。一方世界管理プロセスは複雑で動的な仮想世界の管理を行うため多くの計算資源が必要となり、更新が低速になる。両者の通信方式として力覚提示プロセスがユーザの指近傍の形状特徴を世界管理プロセスから受け取り、提示する方法が提案されている。しかしこの通信方式では動的な世界の安定な更新ができなかった。本研究では動的な世界を安定に更新可能な力積を用いた通信方式を提案する。

キーワード 仮想現実感, 力覚提示, 力積, プロセス間通信

### 1. はじめに

計算機の進歩に伴って 3 次元 CAD システムなど計算機で 3 次元の仮想物体を扱うシステムが多数開発されている。3 次元仮想世界で仮想物体を容易に操作するために、直感的なインターフェイスが望まれている。

力覚提示システムは操作者に力を提示することで操作者に物体に触った感覚や物体を動かした感覚を提示するシステムである。力覚提示システムを用いると操作者は実際の物体を操作する場合と同じように仮想物体を操作することができる。また操作者が加えた力から操作の強さを計測でき、仮想物体の動作に反映させることができる。このように仮想世界を手で操作する場合、力覚提示は非常に有効であり、CAD システムをはじめ、3 次元仮想世界を操作するシステムに組み込まれることが期待される。

力覚提示装置で硬い仮想物体を表現するためには、力覚ディスプレイを 1kHz 程度の高い更新周期で制御する必要がある。Lonnie と Wayne [1] は安定な操作のためには、6.7kN/m の硬さで 100Hz、70kN/m の硬

さで 1kHz の更新が必要だと報告している。仮想物体を操作するためには、仮想物体にある程度の硬さが必要となる。そのため力覚提示システムは力覚提示装置を高速に制御しなければならず、実際のシステムに組み込まれて用いられることは少なかった。

Chang と Colgate [2] は力覚提示装置を用いて、3 つの固定物体と 4 つの移動物体からなる 2 次元の仮想世界を更新周期 1kHz で構築した。このシステムは、指の位置を計測し、仮想世界を更新し、力覚を提示するというサイクルを同じプロセスで行っていた。そのため、より多くの計算資源を必要とする複雑な仮想世界を表現すると更新周期が遅くなってしまい硬い物体が表現できなくなってしまう。

#### 1.1 力覚提示プロセスの分離

そこで、プロセスを世界管理と力覚提示の 2 つに分け、仮想世界の管理を低速で行い、力覚提示装置の制御を高速に行う方法が提案され、プロセス間の通信が提案された [3] [4] [5]。これらの研究の世界管理プロセスは、ユーザの指近傍の空間の形状特徴を中間表現 (平面や球などの簡単な基本形状) に変換し、力覚制御プロセスに送る。また力覚制御プロセスは、中間表現に基づいてユーザーの指に働く力を高速 (1kHz) に更新する。この手法により複雑な仮想世界を表現可能な力覚提示システムが構築できるようになった。

<sup>†</sup> 東京工業大学精密工学研究所, 横浜市  
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of  
Technology, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama-shi,  
226 Japan

## 1.2 サンプリング周期が粗いことによる問題

従来の分割手法は静的な仮想世界を上手く表現できるが、動的な世界が上手く表現できないという問題を持っている。

例として仮想世界に物体を置き、それを指で突付くことを考える。指で突付かれた後の物体の速度は指の位置計測のサンプリング時刻によって変化する。図 1-A と 図 1-B の違いは世界管理プロセスが指の位置を受け取るサンプリング時刻だけである。A,B どちらの場合にも指は同じように動き、ユーザには同じだけの力が提示される。しかし、A の場合には指が物体に衝突したことが世界管理プロセスに検出され物体は動くが、B の場合には検出されず物体は動かない。このように従来方式では世界管理プロセスのサンプリング時刻の影響で安定に仮想世界を更新できない。

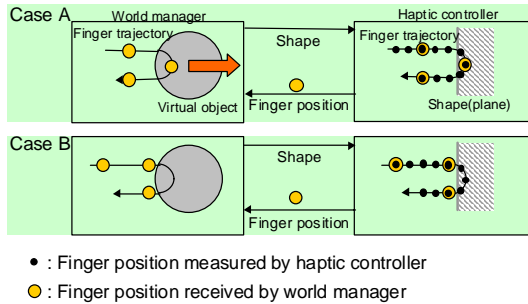


図 1 粗いサンプリング周期の影響  
Fig. 1 The influence of coarse sampling

世界管理プロセスは形状特徴という高度な情報を力覚提示プロセスに送っている。そして力覚提示プロセスは形状特徴に基づき力覚レンダリングを行ない、形状特徴をユーザに提示する力の情報に変換して力覚提示装置に送っている。しかし力覚提示プロセスは計測した位置情報に処理を加えずに、位置情報を世界管理プロセスに送り返している。力覚提示プロセスがより高度な情報を送り返せば、ユーザの意図を世界管理プロセスに正確に伝えることができると考えられる。

## 1.3 本研究の目的

本研究の目的は、多数の剛物体が運動する仮想世界を表現可能な、力覚提示システムの構築である。Nahvi ら [6] は仮想世界に構築された機構が発生する力の動力学計算を行う力覚提示プロセスを提案した。彼らの力覚提示プロセスは逆動力学を用いたもので、力覚提示デバイスが持つ自由度よりも少ない自由度を持つ簡

単な機構を表現することができる。より複雑な動力学計算はより多くの計算時間を必要とする。そのため力覚提示プロセスがこの計算を高速更新で行うことは難しい。そこで、世界管理プロセスが動力学計算を行うことを考える。Brooks ら [7] は遠隔操作システムのための力覚インタフェースがスレーブロボットに送る位置情報の更新周期は 5 から 10Hz で十分だと報告している。このことは、1kHz といった高速更新が硬い物体の表現には必要だが、人と仮想物体のインタラクションには必要ないことを示している。このことから世界管理プロセスが動力学計算を低速更新で行うことができると考えられる。

本研究は動的な仮想世界を安定に更新するために必要な情報を明らかにし、高度な情報を送り返す力覚提示プロセスを提案することで動的仮想世界を安定に更新可能な力覚提示システムを構築することを目的とする。

## 2. 力積を用いた力覚提示システム

### 2.1 問題の原因

サンプリング時刻の影響は、世界管理プロセスが受け取る位置情報のサンプリング周期が粗いために起こる。力覚提示プロセスが計測した指の軌跡をすべて世界管理プロセスへ送ることによりこれは避けられるが、2つの問題が発生する。

(1) 情報量が増加してしまう。

(2) 世界管理プロセスが軌跡の解析を行わなければならない、世界管理プロセスが消費する計算量が増加してしまう。

そこで、物体の運動の安定な更新のために必要な情報について考える。

### 2.2 物体の運動と力積

この節では、物体の運動が力積によって決定されることを示す。

ここで:

- $m$ : 物体の質量.
- $I$ : 慣性テンソル ( $3 \times 3$  テンソル).
- $v$ : 重心速度.
- $r$ : 重心位置.
- $\omega$ : 物体の角速度.
- $f$ : 物体に働く力.
- $p$ :  $f$  の作用点の位置.

とすると、剛体の運動は:

$$m \frac{dv}{dt} = f \quad (1)$$

$$\frac{dI\omega}{dt} = (p - r) \times f \quad (2)$$

と表される。

式 (1) を  $t$  から  $t + \Delta t$  まで積分すると:

$$\int_t^{t+\Delta t} m \frac{dv}{dt} dt = \int_t^{t+\Delta t} f dt \quad (3)$$

更新後の物体重心の速度は:

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \frac{1}{m} \int_t^{t+\Delta t} f dt \quad (4)$$

となる。

式 (2) を  $t$  から  $t + \Delta t$  まで積分すると:

$$\int_t^{t+\Delta t} I \frac{d\omega}{dt} dt = \int_t^{t+\Delta t} (p - r) \times f dt \quad (5)$$

となる。ここで、 $\Delta t$  が十分小さく  $p$  と  $r$  が定数だとみなせるとすると:

$$\Delta\omega = I^{-1}((p - r) \times \int_t^{t+\Delta t} f dt) \quad (6)$$

となり、更新後の物体の角速度は:

$$\omega(t + \Delta t) = \omega(t) + I^{-1}((p - r) \times \int_t^{t+\Delta t} f dt) \quad (7)$$

となる。

以上から、物体の速度が力積によって決まることがわかった。

### 2.3 通信方式の提案 [8]

前の章で述べたように、物体にかかったある時刻での力は重要ではなく、ある期間にかかった力積が物体の運動を決める。

そこで、力覚提示プロセスと世界管理プロセスの通信に力積を用いることを考える。図 2 は、従来の通信方式 [3] [4] [5] と提案する通信方式を対比している。

従来手法では、力覚提示プロセスは指の位置情報のみを世界管理プロセスに送っていた。提案手法では、力覚提示プロセスは、世界管理プロセスの 1 周期の期間、ユーザが仮想世界に加えた力を積分し力積を求める。

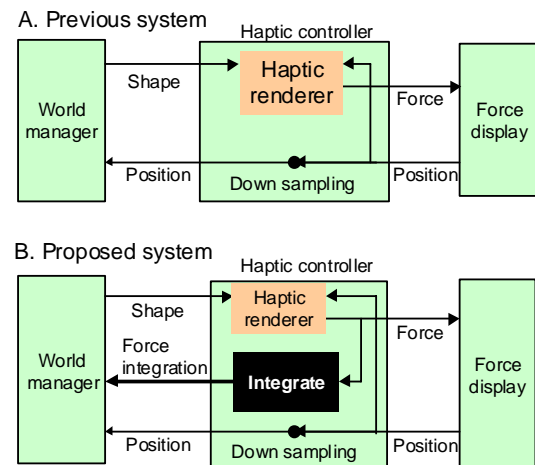


図 2 力積を用いた力覚システムと用いていないシステム  
Fig. 2 Haptic system with and without force integration

そして力積の情報を世界管理プロセスに送る。世界管理プロセスは仮想世界を力積に基づいて更新する。更新の手続きは以下の通りである。

- (1) 世界管理プロセス: 仮想世界の形状特徴を求める。
- (2) 世界管理プロセス: 形状特徴を力覚提示プロセスに送る。
- (3) 力覚提示プロセス高速更新部分:
  - (a) 指位置の計測する。
  - (b) 形状特徴を補間し、提示する形状を求める。
  - (c) 力覚レンダリングを行ない、形状を表すために提示する力を求める。
  - (d) 力を提示する。
  - (e) 提示した力の積分する。
- (4) 力覚提示プロセス: 力積、位置を世界管理プロセスに送る。
- (5) 世界管理プロセス: 力積に基づいて仮想世界を更新。

### 2.4 提案手法による押された物体の動き

図 3 は突付かれた後の物体の動きへの提案手法の効果を表している。従来方式では、世界管理プロセスが受け取った指位置に基づいて、指の仮想物体への侵入量 (= 図 3 上の長さ) に基づいて物体の速度を更新するため、サンプリング時刻によって押された後の物体の速度が異なる。提案方式では、力覚提示プロセスが力積 (= 図 3 下の面積) を計算するため、サンプリング時刻の影響がほとんどない。

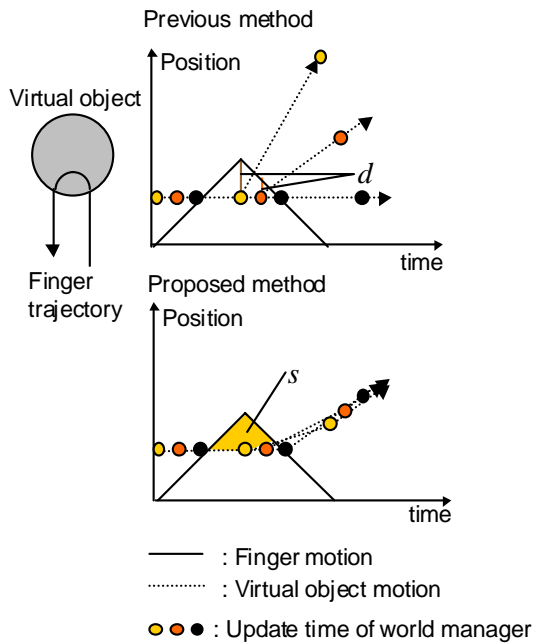


図3 提案手法と従来手法による押された物体の動き  
Fig.3 Motion of flicked object in the previous and proposed system

### 3. 力覚提示システムの構築

提案した通信方式に基づいて、力覚提示システムを構築した。構築した力覚提示システムの詳細を述べる。

#### 3.1 形状特徴の求め方

世界管理プロセスは仮想世界の形状特徴を求め、力覚提示プロセスに送る。構築したシステムでは形状特徴として複数の平面を用いた。

以下に仮想世界から形状特徴である平面を求める手順を示す。

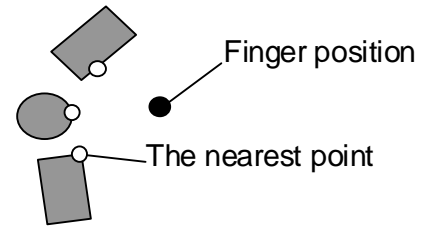
- (1) 指を中心としたある半径内の物体を列挙する。
- (2) 1で列挙した物体1つ1つについて、指から一番近い点を求める。(図4を参照)。
- (3) 1で列挙した物体1つ1つについて、2で見つかった点を通り、法線が指位置に向きの平面を作る。(図4を参照)。

ここで、平面とは2で見つけた点と3で見つけた法線ベクトルの組のことを表す。

#### 3.2 形状特徴の補間

力覚提示プロセスの更新は高速だが、形状特徴は世界管理プロセスの低速な更新にあわせて送られる。形状に変化があった場合、受け取った形状特徴をすぐに

#### 2 Find the nearest point



#### 3 Create plane

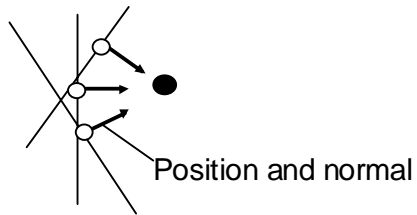


図4 平面の準備  
Fig.4 Preparation of planes

ユーザに提示すると、形状へのユーザの指の侵入量が突然変化することがあるため、突然大きな力を提示してしまい、ユーザは不自然な力覚を感じることになる。そこで力覚提示プロセスは受け取った形状特徴を時間軸上で補間し、形状特徴が連続に変化するように形状提示する。

力覚提示プロセスは最後に受け取った形状特徴 (B) とその1つ前に受け取った形状特徴 (A) を利用して補間を行なう。2つの形状特徴の間を補間する方法として、AとBの間を補間する内挿とAとBから変化率を求め、変化分をBに足す外挿が考えられる。外挿を行なうとプロセス間の通信遅れを除去できるが、形状特徴の変化を線形に予測することになるため、予測が外れた場合に誤った形状を提示することになる。そこで構築したシステムではAとBを内挿した。

構築したシステムでは形状特徴として複数の平面を用いている。ここで、

- $n$ : 世界管理プロセスが1回更新する間に力覚提示プロセスは  $n$  回更新する。
- $i$ : 世界管理プロセスの更新カウンタ。
- $j$ : 力覚提示プロセスの更新カウンタ。世界管理プロセスの更新時に0に戻る。(  $0 \leq j < n$  )。
- $P_{W_i}$ : 第  $i$  番目の世界管理プロセスの更新で世界管理プロセスが送った平面の位置。
- $N_{W_i}$ : 第  $i$  番目の世界管理プロセスの更新で世界管理プロセスが送った平面の法線ベクトル。

$P_{H_{ni+j}}$ : 第  $ni+j$  番目の力覚提示プロセスの更新で力覚提示プロセスが補間した平面の位置

$N_{H_{ni+j}}$ : 第  $ni+j$  番目の力覚提示プロセスの更新で力覚提示プロセスが補間した平面の法線ベクトル

とする.

世界管理プロセスの  $i$  回目の更新から  $i+1$  回目の更新の間に, 力覚提示プロセスは  $ni$  回目の更新から  $ni+n-1$  回目の更新を行なう. 補間した平面は以下のように表せる.

$$P_{H_{ni+j}} = \frac{j}{n} P_{W_i} + \frac{n-j}{n} P_{W_{i-1}} \quad (8)$$

$$N_{H_{ni+j}} = \frac{j}{n} N_{W_i} + \frac{n-j}{n} N_{W_{i-1}} \quad (9)$$

実際には複数の平面が送られるので, 各平面についてこの計算を行なう.

### 3.3 力覚レンダリング

力覚提示プロセスは補間した形状特徴と計測したユーザの指位置からユーザに提示する力を決定する. 構築したシステムでは, ばねダンパモデル [9] を用い, ユーザの指が平面に侵入した量とその微分に比例した力を提示している. ここで,

$\Delta t$ : 力覚提示プロセスの更新周期.

$f_j$ : ユーザに提示する力.

$k_p, k_d$ : ばね定数とダンパ定数.

$C_j$ : ユーザの指位置.

$D_j$ : すべての平面の外側の領域で, ユーザの指位置に最も近い点.

とする. 最も近い点  $D_j$  は複数の補間された平面 ( $P_{H_j}$  と  $N_{H_j}$  の複数のペア) から, Zilles と Salisbury [10] が提案した God-object アルゴリズムに基づいて計算した点である. 提示する力を  $f_j$  は,

$$f_j = k_p(D_j - C_j) + k_d \frac{((D_j - C_j) - (D_{j-1} - C_{j-1}))}{\Delta t} \quad (10)$$

と表される.

### 3.4 力の積分

世界管理プロセスの 1 周期の間, 力覚提示プロセスはユーザが仮想世界に加えた力を積分する. ユーザが加えた力と, 力覚提示装置が発生した力は, 大きさが等しく向きが反対である. ここで,

$F_i$ : 第  $i$  番目の更新時に世界管理プロセスが受け取る力積.

とすると, 力積は,

$$F_i = \sum_{j=0}^{n-1} f_{n(i-1)+j} \quad (11)$$

となる.

### 3.5 仮想世界の更新

世界管理プロセスは受け取った力積に基づいて物体の運動を更新する. 構築したシステムでは仮想物体として剛体を扱った. ここで,

$m$ : 物体の質量.

$I$ : 物体の慣性テンソル ( $3 \times 3$  テンソル).

$r_i$ : 物体の重心位置.

$v_i$ : 物体の重心速度.

$\omega_i$ : 物体の角速度.

$p_i$ :  $F_i$  の作用点の位置.

とすると, 更新後の物体の運動は,

$$v_i = v_{i-1} + \frac{1}{m} F_i \quad (12)$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + I^{-1}((p - r) \times F_i) \quad (13)$$

となる.

## 4. 評価

### 4.1 計算機シミュレーション

提案手法の効果を評価するために, 計算機シミュレーションを行った. 摩擦のある床の上に置かれた仮想物体を指で押した後の仮想物体の動きをシミュレートした. 同じ状況を 5 つのサンプリング時刻についてシミュレートし, 従来手法と提案手法を比較した.

図 5 は仮想物体の動きを比較したグラフである. 仮想物体の位置更新はサンプリング時刻に行なわれるため, 動きは階段状になる.

グラフ上の 5 本の線は, 仮想物体の動きを表す. 5 本の違いは世界管理プロセスのサンプリング時刻 (位相) だけであり, サンプリング周期は等しい. シミュレーションの結果から, 提案手法を用いた B の場合には従来手法に比べてサンプリング時刻 (位相) の影響が小さくなっていることがわかる.

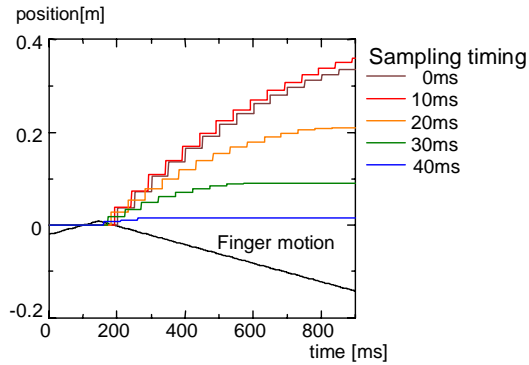
### 4.2 実験

提案手法が, 仮想環境の操作性を改善していることを確かめるために実験を行った.

#### 4.2.1 実験のためのシステム

実験のための仮想世界は 3 次元の物理シミュレータ上に構築した. 物理シミュレータは重力, 空気抵

A: Motion of tapped object (using finger position)



B: Motion of tapped object (using force integration)

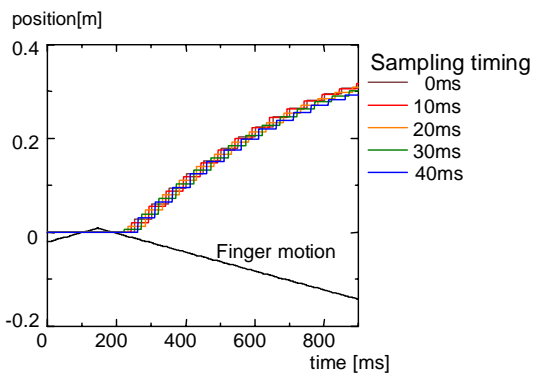


図 5 シミュレーション結果  
Fig. 5 Simulation result

抗, 物体の衝突, 物体同士の摩擦を考慮したものであった。実験のためのシステムの詳細を以下に示す。

力覚提示装置 SPIDAR [11]  
 計算機 PC Pentium-II 300MHz  
 更新周期

世界管理プロセス 20Hz  
 力覚提示プロセス 1kHz  
 ばねモデルの係数 2kN/m

#### 4.2.2 実験の作業

図 6 は実験時に被験者に提示する画面である。仮想物体は、距離目盛として横縞に模様がつけられた床の上に置かれている。実験の作業は、仮想物体を手前から奥に向かって一度だけ指で押し、目標位置である 30cm の目盛まで仮想物体を動かすことである。被験者はこの作業を従来手法と提案手法について 30 回行った。

#### 4.2.3 実験結果

立方体の停止位置を被験者 1 人分について図 7 に示した。提案手法を用いることで従来手法に比べて停止

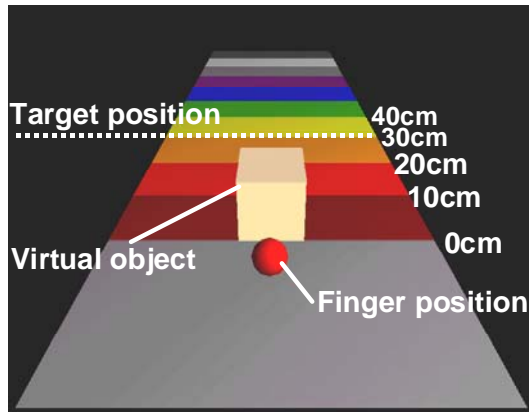
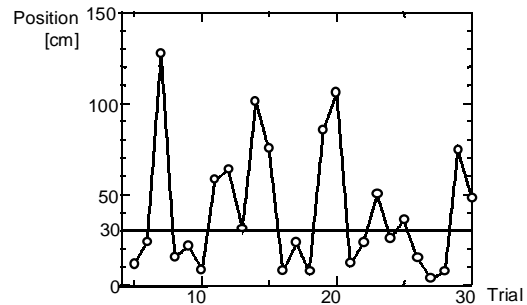


図 6 実験の作業の画像  
Fig. 6 The picture of the experimental task.

位置のばらつきが小さくなっていることが分かる。図 8 は作業に十分慣れた後の 20 試行の誤差の偏差を表す。実験結果から提案手法が操作の正確性を改善することが分かる。

#### With previous method



#### With proposed method

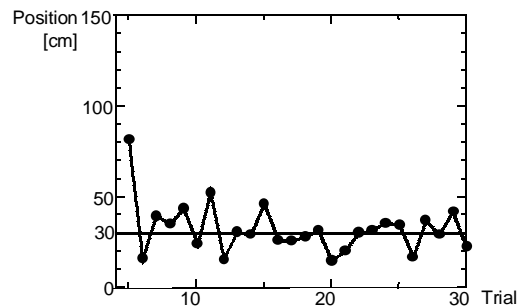


図 7 仮想物体の停止位置  
Fig. 7 The stop position of the virtual object

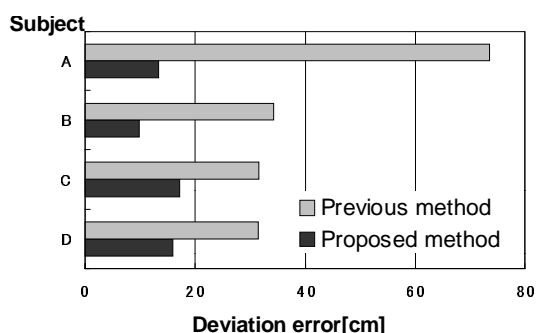


図 8 作業精度の比較

Fig. 8 Compare of the accuracy of the operation

### 4.3 実装例

実験では、1次元の運動を扱っているが仮想環境は3次元の剛体モデルを扱うことができる。実験で用いたシステム上に、床の役割をする静止した直方体と20個の運動する球体を構築した。

このときユーザは直方体と球体に、力覚提示装置を通して触れることで、直方体の形状を認識することができた。またユーザが球体を押すと、球体は床の上を剛体として自然に転がった。

球体を別の球体に押し付け球体同士を接触させつづけると、球体が反射を繰り返すためユーザは不自然な振動を感じた。

## 5. 考察

### 5.1 摩擦の表現

力覚提示装置は面の位置を補間する。このときの面の位置は、物体と指の衝突点を表すため、面の位置の速度は面が表す物体の速度とは異なる。摩擦力を計算するためには、物体と指の相対速度が必要となる。摩擦を表現するために世界管理プロセスは、面の位置とは別に物体の速度の情報を力覚提示プロセスに伝達する必要がある。この考えを実装したところ、摩擦が表現できることが確かめられた。

### 5.2 物体の変形

力覚提示装置で物体の変形を行う方法はいくつかあるが、それらは指と物体の重なりに基づいて物体を変形している [12]。提案手法を用いれば、力積に基づいて物体を変形することでより自然な変形を実現できる可能性がある。この考えを確かめるための実験を行なう予定である。

### 5.3 物体の把持

本研究では、1点による物体操作だけを扱い、2点

以上による把持などの物体操作については考慮していない。本研究のシステムをそのまま2点に拡張し把持操作を行ったところ、物体が振動してしまい把持することができなかった。

## 6. 結論

新しい力覚提示システムの枠組みを提案した。提案システムの力覚提示プロセスはユーザが加えた力を積分し、世界管理プロセスに力積を伝達する。提案手法が動的な仮想世界を安定に更新できることを示した。評価実験を行なったところ、提案手法が操作の正確性を改善することが分かった。

## 文献

- [1] Lonnie Love and Wayne Book, "Contact Stability Analysis of Virtual Walls", Proc. of Dynamic Systems and Control Division ASME 1995, pp.689-694
- [2] Beeling Chang and J. Edward Colgate, "Real-time impulse-based simulation for haptic display", Proc. of the 1997 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition
- [3] Adachi Y., Kumano T., and Ogino K., "Intermediate Representation for Stiff Virtual Objects", Proc. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium '95, pp.203-210
- [4] William R. Mark, Scott C. Randolph, Mark Finch, James M. Van Verth, and Russell M. Taylor II, "Adding Force Feedback to Graphics Systems: Issue and Solutions", SIGGRAPH 96 Conference Proc. 1996 ACM
- [5] Juli Yamashita, Cai Yi, and Yukio Fukui, "Feature-Based Haptic Rendering and Protocol", Proc. of the Virtual Reality Society of Japan Second Annual Conference, 1997, pp.195-197
- [6] Ali Nahvi, Donald D. Nelson, John M. Hollerbach, and David E. Jhonson, "Haptic Manipulation of Virtual Mechanisms from Mechanical CAD Design", Proc. of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.375-380
- [7] Thurston L. Brooks, "Telerobotic response requirements", Proc. of the 1990 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, pp.113-120
- [8] Shoich Hasegawa, Masahiro Ishii, Makoto Sato, and Yasuharu Koike, "Haptic interface protocol for complex dynamic virtual world", Proc. of International Conference on Artificial Reality and Tele-existence, 1998, pp.83-89
- [9] Hogan, N., "Stable execution of contact tasks using impedance control", Proc. of IEEE Robotics and Automation Conference, 1987, pp.1047-1054
- [10] C. B. Zilles, J. K. Salisbury, "A Constraint-based God-object Method For Haptic Display", ASME Haptic Interfaces for Virtual Environment and Tele-

operator System 1994, Dynamic Systems and Control 1994, vol. 1, pp.146-150

- [11] Masahiro Ishii and Makoto Sato, "A 3D Spatial Interface Device Using Tensed Strings", Presence Vol. 3, No. 1, Winter 1994, pp.81-86
- [12] Kenji Yamamoto, Akio Ishiguro, and Yoshiki Uchikawa, "A Development of Dynamic Deforming Algorithm for 3D Shape Modeling with Generation of Interactive Force Sensation", Proc. 1993 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, pp.505-511

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)



長谷川晶一

1997 年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業, 現在, 同大学大学院知能システム科学専攻修士課程在学中.



石井 雅博 (正員)

1990 年秋田大学電子工学科卒業, 1995 年東京工業大学大学院博士課程修了. 同年同大精密工学研究所助手, 現在にいたる. ヒューマンインタフェース, 心理物理学の研究に従事, 工学博士.



小池 康晴 (正員)

1987 年東京工業大学工学部情報工学部卒業, 1989 年同大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修了. 同年トヨタ自動車株式会社入社, 1991 年 ATR 視聴覚機構研究所出向, 1992 年 ATR 人間情報通信研究所. 1994 年トヨタ自動車株式会社に戻る. 1998 年東京工業大学精密工学研究所助教授, 現在に至る. 運動制御の神経回路網の研究に従事. 工学博士



佐藤 誠 (正員)

1973 年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業, 1978 年同大学院博士課程修了, 同年, 同大学工学部助手, 現在, 同大学精密工学研究所教授, 現在にいたる. パターン認識, 画像処理の研究に従事. 工学博士.