

# 力覚デバイスを用いたロボットアームの遠隔操縦

神原 利彦<sup>†</sup> 千野謙吾<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 八戸工業大学 電気電子工学学科

## 1 序論

近年、高齢化社会で高齢な患者が増加し、相対的に医師不足の問題が深刻化している。また、医師の多くが都市圏に住んでおり、過疎地に常駐する医師が減少する傾向にある。そのため、都市部の医師がネットワーク経由で過疎地に住む患者を、ロボットアームの遠隔操縦によって治療や手術を行うシステムを構築する研究が盛んに行われている。だが、それらの多くの研究では視覚を重視しており、力覚を無視している。そこで、本研究では力覚に注目し、操作者がアーム先端の刃物にかかる力を感じながら操作できるシステムの構築手法 [1] を提案する。このシステムの適用例として遠隔手術だけでなく、バーチャル彫刻についても検討する。

## 2 手法

### 2.1 手法概要

本手法の概要を図1に示す。アームの操縦者側と、患者およびロボットのいるロボット側の2箇所は、距離が離れているが、図のスレーブPCとマスターPCの間をインターネット経由で常時接続している。操作者が力覚デバイスのスタイラスを握りアーム先端の刃物を遠隔的に操作する。スタイラスの位置および姿勢の情報がマスターPCで読み取られ、インターネット経由でスレーブPCへと伝送される。スレーブPCはその位置・姿勢の情報を基にロボットアームの各関節を駆動する。ロボットアーム先端には力覚センサの付いた刃物が付いており、物体を切り裂く際に刃物にかかる反力が計測され、その反力情報がスレーブPC経由でマスターPCへ伝送される。マスターPCは、それらの反力情報を基に力覚デバイスで擬似的な力を発生させて操作者に呈示する。

### 2.2 システムの実装

図1に示したようなシステムの構築のため、複数のソフトウェアで、操作情報や力覚情報を共有する仕組みを導入し実装した。具体的には、(A) 力覚デバイスから操作情報を読み出しネットワーク経由でサーバPCの共有メモリに書き込むソフトウェア、(B) 操作情報を共有メモリから読み出し、その位置にアーム先端の刃物を持っていく関節角度を算出しロボットを駆動するソフトウェア、(C) 力覚センサから3軸方向の反力を計測し、共有メモリに書き込むソフトウェア、(D) 共有メモリから反力情報を読み出して、力覚デバイスを駆動して操作者に擬似的な力覚を提示させるソフトウェアの4種類を実装した。実験に使用する実機ロボット

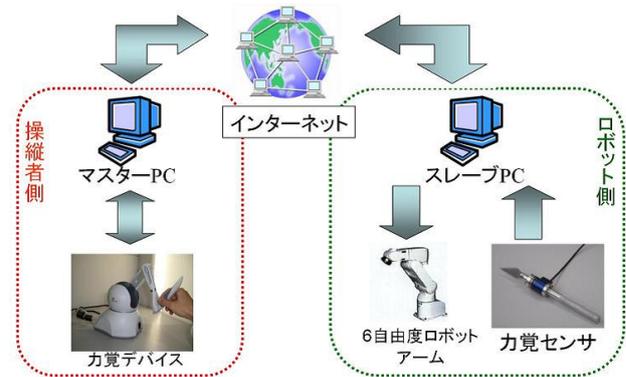


図 1: システム概要

アーム (後述) から計測し、各関節やリンク長さなどは実機と同じサイズでCGを作成した。その実験例を図2に示す。(B)のソフトウェアではCGロボットアームの関節角度を逆運動学 [2] で計算した。その実験の結果、力覚デバイスのスタイラスの先端位置と同調して、CGロボットアームを動かすことができた。この仮想システムでは実際に力は発生しないので、物体と刃物の相対的な速度や加速度、質量情報などから計算する物理シミュレータに、(C)のソフトウェアを置き換えている。図1のシステムのうち、実機ロボットアームをCGロボットアームに置き換え、力覚センサを物理シミュレータに置き換えることで、実空間だけでなく、仮想空間における遠隔作業にも本手法を適用できることがわかった。

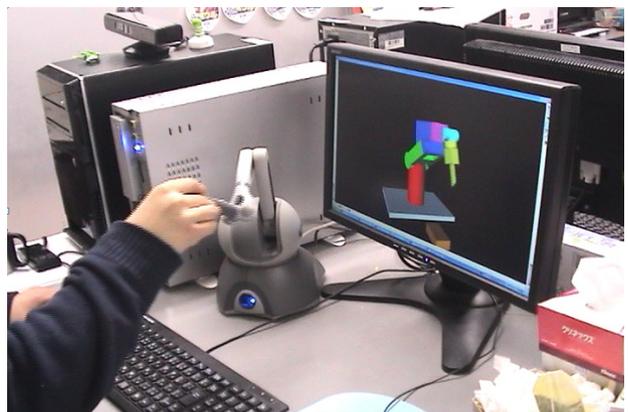


図 2: CG ロボットアームでの実装実験

Development of Remote Operation System for a Manipulator by a Haptic Device

Toshihiko KANBARA<sup>†</sup> and Kengo CHINO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Dept. of Electric and Electronic Engineering, Hachinohe Institute of Technology

031-8501, Hachinohe, Aomori, Japan

{kanbara, g152023}@hi-tech.ac.jp

### 2.3 バーチャル彫刻への応用

図2に示したシステムを応用した例としてバーチャル彫刻を提案する。これは、仮想空間においてロボットアーム先端の刃物を操作して、塑像を彫り出していくタスクである。これを仮想空間上で実装するために、まず削られる物体を  $m$  個のボクセル  $O_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$  で表現する。次に、アーム先端の刃物も  $n$  個のボクセル  $K_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$  で表現する。そして、刃物ボクセル  $K_j$  と物体ボクセル  $O_i$  の衝突を計算し、衝突した物体ボクセルを消滅させることで、刃物による切削を表現する。衝突の判断は、 $O_i$  と  $K_j$  のボクセル間距離  $L_{ij}$  がボクセルの一辺の長さ  $l$  に  $\sqrt{3}$  掛けたものより短い場合は衝突と判断する。つまり、以下の式を満たす場合は衝突が成立し、物体ボクセル  $O_i$  を消滅させる。ただし、 $(O_{ix}, O_{iy}, O_{iz})$  はボクセル  $O_i$  の中心座標を表す。

$$\sqrt{(O_{ix} - K_{jx})^2 + (O_{iy} - K_{jy})^2 + (O_{iz} - K_{jz})^2} < l\sqrt{3}$$

以降は、 $i$  と  $j$  を変動させて、総当たりで  $m \times n$  通りの繰り返し計算すべてで衝突を判断する。

## 3 実験

### 3.1 実験装置

力覚センサとしてニッタ製 TFS12-25 を、ロボットアームとして三菱電機製ムーブマスター RV-1A を使用した。マスター PC として、Aopen 製 A2661-S(Celeron2.4GHz/RAM2GB) を、スレーブ PC として、マウスコンピュータ製 PC(Core i5-3470 3.6GHz/RAM8GB) を使用した。力覚デバイスとして Sensable 製 Phantom-OMNI を使用した。情報共有のソフトウェア (A)~(D) を実装し、図1の遠隔手術システムを構築した。そして、紙などを切ってみて、刃物の切削反力を操作者が感じることができると確認した。

### 3.2 お手本のポリゴン像の生成

次に、図1のシステムから、ロボットアームを CG に置き換え、力覚センサを物理シミュレータに置き換えて、バーチャル彫刻のシステムを構築した。削られる物体を  $20 \times 30 \times 40=24000$  個 ( $m=24000$ ) のボクセルで表現した。彫刻の経験が無い初心者でも簡単に彫刻できるようにお手本となるウサギの像をポリゴンで表現し、その像全体を覆うようにボクセルを配置した。ボクセルそのものは 0.5 度の透明度で表現し、ウサギの像を透けて見えるようにした。その例を図3に示す。操作者は、このポリゴン像を誤って削らないように、ギリギリの位置まで刃物を進めることで、ボクセルの彫像を彫り進めて行く。

### 3.3 バーチャル彫刻システムの実装

CG のロボットアームと、前述の物体ボクセルを組み合わせて表示した。なおかつ、アーム先端の刃物をボクセルで表現した。刃物ボクセルの個数は  $n = 50$  とした。物体ボクセルの個数は  $m = 24000$  なので毎フレーム、 $n \times m = 120000$  通りの総当たりで衝突を判断し、衝突した場合は、物体ボクセルを消滅させた。この実験の例を図4に示す。

この実験の結果、ウサギの像を削らないよう力覚デバイスを操作し、物体に刃物の切削痕ができることを確認した。だが、切削痕ができたにも関わらず、刃物が通らない場所に小さな、除去したい塊が残る問題点がある。仮想空間には重力が存在しないので、それらの小さな塊は、大きな塊から切り離されているにも

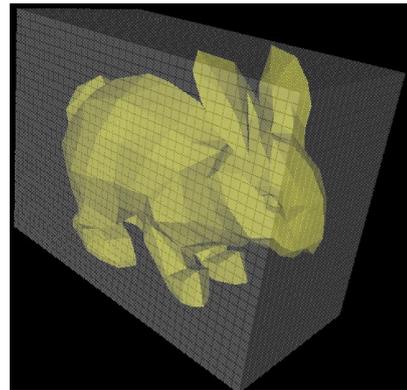


図3: 切削される物体ボクセルとお手本のウサギ像

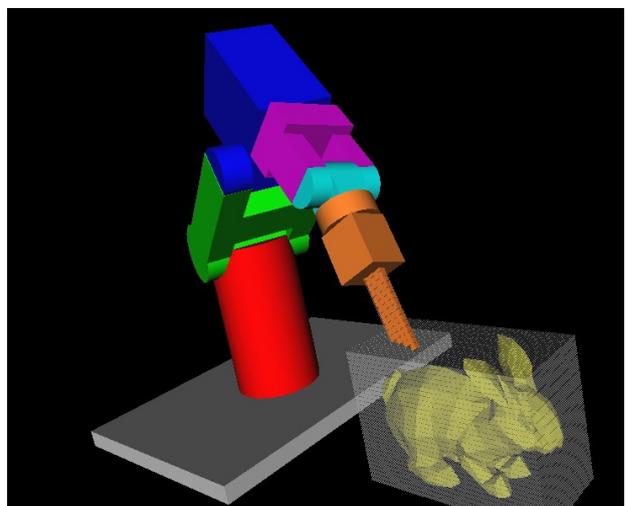


図4: バーチャル彫刻の実験

かかわらず、滑り落ちることもなく空中に浮かんでいる奇妙な現象が発生した。この問題を解決するために、2次元画像処理で行われている「ラベル付け処理」を3次元ボクセルに対しても適用すれば、切り離された小さな塊は自動的に消去するようになると考えられる。

## 4 結論

遠隔地から操作者が刃物先端にかかる反力を感じることができるシステムの構築手法を提案した。実機だけでなく CG アームを操作して、バーチャル彫刻ができることを確認した。今後は、力覚を実装し、ボクセルの3次元ラベル付けなどで、切り取られた小さな塊を自動で消滅させるような彫刻ができるかどうかを確認する。また、ボクセルのサイズをもっと小さくして高解像度化をはかることも今後の課題とする。

## 参考文献

- [1] 神原利彦、佐藤純二郎: 力覚デバイスを用いたロボットアームの遠隔操縦システムの開発、日本ロボット学会第31回学術講演会予稿集, 2013.
- [2] John J. Craig(著) 三浦宏文(訳) 下山勲(訳): ロボティクス機構・力学・制御, 91/124, 共立出版, 1991.