



力覚デバイスによる仮想彫刻訓練システムの構築

Development of virtual sculpture training system by a haptic device

神原 利彦¹⁾, 岩切 大知¹⁾

Toshihiko KANBARA, and Taichi IWAKIRI

1) 八戸工業大学 電気電子工学科 (〒 031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1, kanbara@hi-tech.ac.jp)

概要: チェーンソーアートのような彫刻で美しい作品を創り出すには、刃物をどのように操り、どうやって削り出していくかを経験を重ねて習熟する必要がある。だが、刃物自体が危険な物体であり、どんなに安全面で気をつけていても習熟の途中で疲労から負傷するおそれがある。そこで、本研究では CG ロボットアーム先端に付けた刃物を力覚デバイスで操縦し力加減などを仮想空間上で経験しながら習熟していく彫刻支援システムを提案する。

キーワード: 仮想彫刻、力覚デバイス、遠隔操縦

1. 序論

近年、チェーンソーアートのように不要な間伐材をチェーンソーで彫り出して美しい像を創り出す彫刻が流行している。その一方で、その練習時に操作を誤って指を切り飛ばしてしまったという負傷例も多数発生している。どんなに注意していても、削り出す作業が長時間にわたり疲労が蓄積すると負傷の危険性が上がるからである。そこで、本研究では仮想空間で刃物が先端に付いた CG ロボットアームを操作して、物体を削り出す作業を行い、削り方を習熟する安全な仮想彫刻訓練システムを提案する。削り出す際に、刃物を操作する 3 次元軌道だけでなく、力の加え方も訓練可能にする。筆者らは力覚に注目し、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遠隔操縦システムの構築手法 [1] を提案しているの、それを応用する。

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。

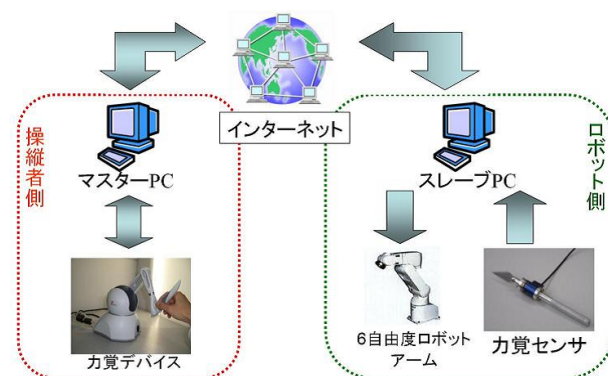


図 1: システム概要

2.2 システムの一部実装

図 1 に示したようなシステムの構築のため、操作情報や力覚情報を共有する仕組みを構築する。(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) 力覚センサからの反力情報を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感じさせるソフトウェアの 4 種類である。このうち、仮想彫刻システムを実装するために (A)(B)(D) を実装し、実機ロボットアームの代わりに CG ロボットアームを動作させた実験例を図 2 に示す。(B) 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。

2.3 仮想彫刻システムへの適用

図 1 に示したシステムの実機ロボットアームを 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ることで本研究目的である仮想彫刻システムを実装することが出

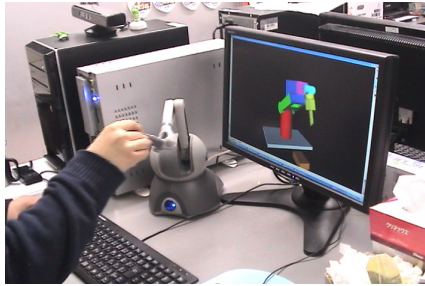


図 2: CG ロボットアームでの実装実験

来る。刃物によって物体が削り出される現象を実装する方法として、ボクセルを用いる。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 $\sqrt{3}$ か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 (Celeron 2.4GHz / RAM 2GB) 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 / RAM 8GB) 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、仮想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 仮想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

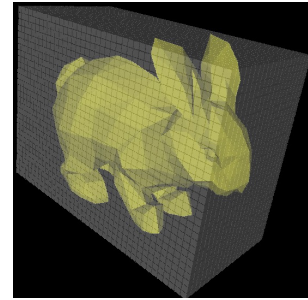


図 3: 切削される物体ボクセルとお手本のウサギ像

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。

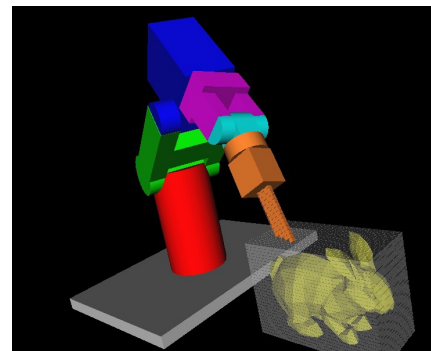


図 4: 仮想彫刻の切削実験

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、刃物が通ってない場所に小さな、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。また、物理シミュレータによる力覚計算は単純なバネモデルで単純化しているので、直感と合わない部分も多かった。

4. 結論

仮想空間でロボットアーム先端の刃物を遠隔操縦しながら、お手本を参考に力覚を感じながら彫刻する訓練システムを提案し、実装した。単純なバネモデルだが、反力を感じながら切削できるようにした。今後は、スタイラス先端の位置だけでなくスタイラスの姿勢もアーム先端に追従させ、より高精度な物理計算で直感に合う力覚を実装し、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にする。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.