

道具型デバイスを用いた木材加工システムへの 動作拘束の導入とその効果

高見 雄介

木村 朝子

柴田 史久

田村 秀行

我々は直観的に利用でき、広い空間での作業に幅広く用いることができる「道具型デバイス」の研究を行っている。これまで選択・移動操作に適した「ピンセット型デバイス」や、加工操作に適した「ナイフ、ハンマ型デバイス」を活用した事例として、木材加工システムを開発してきた。しかし、運用においてユーザの意図にあった配置や切断操作が困難であることが明らかになった。そこで本研究では、仮想物体や道具の動作拘束を導入することによって加工操作の補助を試みる。

Introduction of Constraint on Movement to Mixed Reality Handcrafting System Using ToolDevice and It's Effects

YUSUKE TAKAMKI

ASAKO KIMURA

FUMIHISA SHIBATA

HIDEYUKI TAMURA

We have proposed novel interaction devices named “ToolDevice” for various operations in special works such as mixed reality (MR) space. We have developed a handcrafting system using TweezersDevice for pick and move operation and Knife/HammerDevice for handcrafting operations. However, the results of user study showed that placement and cutting that exactly he/she wanted was still difficult. To assist those operations, we introduce constraints on movement of virtual objects and the devices to our system.

1. はじめに

仮想物体の形状モデリング操作を直観的に行えるようにするため、モデリングシステムに道具のメタファを導入する研究が行われている。Wesche らの FreeDrawer¹ ではペン型のデバイスを用いて空間中にスケッチを描くように操作することで自由な形状の線や面などの 3 次元形状を生成することができる。Schkolne らの Surface Drawing² では、3 次元形状の生成や編集に手によるジェスチャやハンドツールを用い、手の動きに応じた有機的な形状を生成することができ、生成した形状に対して消しゴムや磁石といったツールを用いて変形操作を行うことができる。

本研究では、複合現実 (Mixed Reality; MR) 空間において、実世界の道具に近い形状と操作時の触感・操作音を対話デバイスに導入する「道具型デバイス³」を活用することで、より実世界の造型作業に近い、直観的な形状モデリングシステムの実現を目指している。我々は、これまでに選択・移動操作に適した「ピンセット型デバイス³」と加工操作に適した「ナイフ、ハンマ型デバイス⁴」(図 1) を利用し、多くの人が経験したことの木材加工操作のメタファを導入した MR 型木材加工システム (図 2) を構築した。

しかし運用の結果、実世界の造型作業では、物理法則により物体の動きに様々な拘束が発生し、それを逆に利用することで容易に物体を配置することができるのに対して、このような物理法則のすべてを仮想環境で再現することは難しく、実世界で容易な配置操作が仮想世界では非常に難しいという問題が発生した。

このような仮想物体の配置問題に対する解決策として、清川ら⁵ はブロック玩具を模倣したモデラを開発しブロック面に刻まれた凹凸によりブロックの動きを



図 1 道具型デバイス
(左：ピンセット，右：ナイフ，ハンマ型デバイス)



図 2 道具型デバイスを用いた木材加工システム (イメージ図)

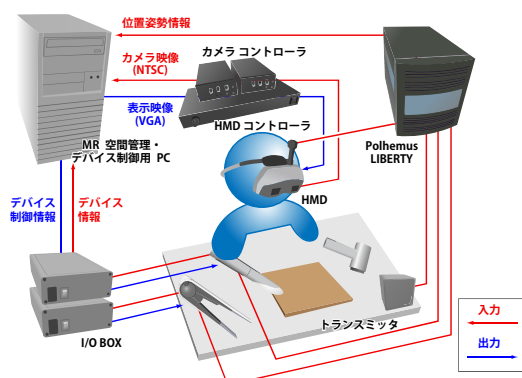


図3 システム構成

拘束することで配置操作を容易にし、北村ら⁶は物体の挙動に磁石のメタファを取り入れることで、物体の配置操作を補助している。

本研究では木材加工という特徴を生かし、現実に近い操作感を実現するための操作補助として動作拘束を導入することでこの問題解決を図る。

2. 木材加工システム

2.1 概要

本システムでは手元を見ながら操作が行えるMR空間を利用し、対象物体の存在する空間とモデリングを行う空間とを一致させている。また、直観的な操作を実現するために、多くの人が過去に経験したことがあり、作業内容が容易に想像できる実世界の木材加工操作をシステムの操作体系に取り入れ、ユーザの操作に対するメンタルモデル形成を容易にし、初心者でも扱える直観的な造型システムを目指している。同システムでは、著者らの開発したナイフ型デバイスを木材の切断に用いられるノコギリに、ハンマ型デバイスを木材同士の結合に釘とともに用いられる金槌にマッピングしている。

2.2 システム構成

【木工加工システム】

木工加工システムを実現するハードウェアの構成を図3に示す。MR空間管理・デバイス制御にはMicrosoft Windows XP OS, Intel Core i7 Ext 965 CPU, 6144 MB RAM, NVIDIA GeForce GTX 280 ビデオカードを搭載するPCを用いている。MR空間の映像提示にはCanon VH-2002 ステレオビデオシースルーHMDを用いている。また、HMDおよびデバイスの位置姿勢推定にはPolhemus LIBERTYを用いている。

【道具型デバイス】

操作で用いる対話デバイスには、ピンセット、ナイフ、ハンマ型デバイスを用いる(図1)。各デバイスは位置姿勢推定用の磁気センサのレシーバ、視・聴・

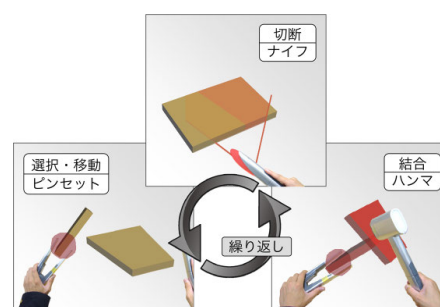


図4 木材加工ワークフロー

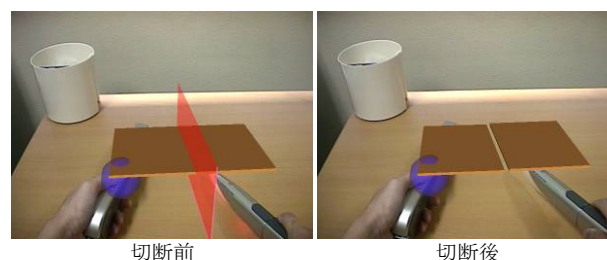


図5 ナイフ型デバイスによる切断



図6 ハンマ型デバイスによる結合

触力覚提示用のLED、スピーカ、振動モータを内蔵している。また、デバイス固有の機構として、ピンセットは挟み幅取得のためのポテンションメータや反力提示のためのソレノイドを内蔵している。ナイフ、ハンマは接触判定用の2段階タクトスイッチを内蔵する他、ハンマのみ振り下ろし検出用の加速度センサを内蔵している。

2.3 インタラクシオン

ユーザは用意された基本形状を必要に応じて選択し、各種デバイスを用いてこれを操作する(図4)。

【ピンセット型デバイスによる選択・移動】

ピンセット型デバイスで仮想物体を挟むことで、その物体の選択を行うことができる。選択時には、実際に物体を掴んだかのような反力を提示し、LEDを点灯させることで、正しく選択されたことを提示する。選択後は、物体を挟んだまま移動することで物体を3次元空間の任意の場所へ移動することができる。また、デバイスを把持する力を緩め先端を開くことで、仮想物体を任意の位置姿勢で放して配置することができる。

【ナイフ型デバイスによる切断】

ナイフ型デバイスを卓上でスライドさせることで仮

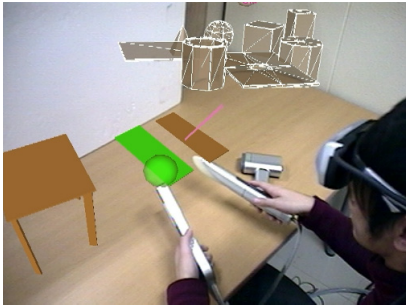


図 7 体験風景

想物体の切断を行う。まず、(1) デバイス先端部を卓上に押しつけ、(2) スライドすることで、切断平面が表示され、操作確認のため LED が点灯する。そして、(3) デバイスを卓上から離すことで、切断平面に沿って物体を切断できる。切断時には、操作応答を示す効果音を提示する (図 5)。

【ハンマ型デバイスによる結合】

ハンマ型デバイスを振り下ろすことで仮想物体同士の結合を行う。まず、(1) ピンセット型デバイスを用いて物体同士が接するように配置し、(2) それに向けハンマを振り下ろすことで結合できる。結合時には、効果音や振動により操作に対する応答を提示し、結果を示すために物体を一時的に強調表示する (図 6)。

図 7 に体験の様子を示す。

2.4 運用結果

同システムを運用したところ、体験者はすぐに操作方法を理解し、デバイスを手にすると迷うことなくそれぞれの操作を行い、デバイスを用途に応じて使い分けていた。その一方で、操作後のコメントから「並べて配置したり、直角に配置することが難しく疲れる」「直角に切断したり同じ長さに切断する操作が難しい」といった声が聞かれた。

3. 動作拘束による操作補助

実世界では操作物体とその他の物体の位置関係に応じて物体の動きに様々な拘束があり、それを利用して物体の操作を行っている。そこで上記問題を解決するため、本システムでも仮想物体や道具の動作に拘束を設けることによって操作支援を行う。

3.1 仮想物体の動作拘束

物体同士が密着するように配置する際、実世界では物体を押し付ける際に反力が働くため、それを利用して容易に作業が行える。一方で本システムのように仮想の物体を操作して同様の作業を行う場合、こういった物理法則を考慮しなければ物体同士が干渉してしまう目的を達成することは非常に困難である。このような問題に対し、物体の動きに拘束を設けることで解決

を図る手法が提案されている。

清川ら⁶は、直観的な仮想物体モデラを実現する上でブロック玩具を模倣している。ブロック玩具には上部の突起と下部の窪みによって、ブロック同士の接合する面の位置および角度が離散的に限定されるという特徴があり、仮想ブロックにこの挙動を取り入れ移動・回転の単位を離散的にすることで動作を拘束し操作性の向上を図っている。しかし、この手法は基本形状をブロックのような構成単位に保つ必要があり、本システムのように自由な形状の切断操作を含む木材加工を想定した環境には適さない。一方、北村ら⁶は物体間の状態遷移を表すメタファとして擬似的な磁石を取り入れている。物体同士を近づけた際に、あたかも面に貼られた磁石が引き寄せられるように操作物体の位置姿勢を制御して、もう一方の物体に密着するように配置する。また、密着した面の数に応じて、1 面であれば 3 自由度 (机の上の並進 2 自由度と回転 1 自由度)、2 面であれば 1 自由度 (両接触面に平行な方向の並進) というように動作の自由度を制限することで配置作業の精度と効率を向上させている。

本研究ではこの手法を造型システムに取り入れることで、道具型デバイスを用いた仮想物体の配置作業支援を試みる。

3.2 道具の動作拘束

木材加工では板面と切り口が直角になるように切断操作を行うことが多いが、あらかじめ測定してガイドとなる線を引く必要があるなど手間がかかる他、正確な精度でこれを行うのは容易ではない。この問題に対し、実世界では効率よくこれを行うために、治具と呼ばれる道具が用いられる。

治具とは工作物を固定し、切削工具を制御・案内する道具の総称であり、数多くの種類が存在する。中でもマイターボックスと呼ばれる治具は、正確な角度でノコギリを合わせて木材を切断する際に用いられる。形状は 3 面で構成される箱状の構造をしており、側面にスリットが入っている。ユーザは木材をマイターボックス内の側面に合わせて配置し、ノコギリをスリットに合わせて引くことによってノコギリの動きがスリット方向に制限され、容易に正確な切断が行える。そこで本研究でもマイターボックスを実物体の道具として導入することで、道具型デバイスを用いた仮想物体の切断操作支援を試みる。

4. 実装

まず仮想物体の運動拘束に関しては北村ら⁶の手法をもとに実装を行った。ピンセット型デバイスを用い

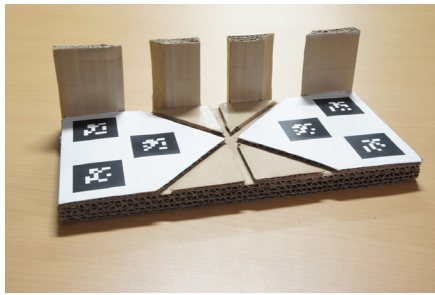


図8 試作した治具

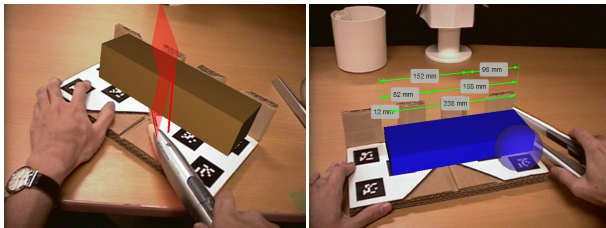


図9 治具による操作の補助

て物体を選択し、物体同士の面が接するよう近づけることで、動作拘束により物体の密着配置が実現される。

一方、道具の動作拘束を実現する治具の実装と治具を使用したインタラクシオンは以下のように実現した。

【治具の実装】

本研究では、マイターボックスを模した治具を試作した(図8)。本来のマイターボックスはコの字型の形状で、木材の大きさに応じて専用の治具を用いるが、今回は1つの治具で様々な大きさに対応することを想定し、側面的一方を取り払ったデザインとした。大きさは一般的な2×4木材用途のマイターボックスに倣い、底面300×140mm、高さ80mmとした。側面には3つのスリット(左右45度、90度)を設け、底面にもガイド用の溝を設けた。これらの幅はナイフ型デバイスがスライドできるよう、ナイフ型デバイスの厚さ26mm、刃先の厚さ6mmを考慮し、スリット幅30mm、溝幅8mmとした。

また、仮想物体を治具に配置する際、その間に不自然なズレが生じないようにするために、2.2節で既に述べた磁気式的位置姿勢センサに加え、既存のビジョンベースによる位置あわせ手法であるARToolKitPlus⁷を用いる。治具に貼り付けられたマーカをHMDのカメラで検出することによって、その間の相対的な位置姿勢を算出し、これにセンサ座標系におけるHMDの位置姿勢を掛け合わせることで、センサ座標系における治具の位置姿勢を求める。

【治具を用いたインタラクシオン】

ピンセット型デバイスで物体を挟み、物体の面が治具と接するよう近づけることで、物理拘束が発生し治

具に密着配置することが可能となる。配置後は治具自体を動かすことで、設置された物体も追従して移動する。そして、治具に配置した物体を切断する際は、治具のスリットにあわせてナイフ型デバイスをスライドさせることで直角、左右45度での切断を行うことができる。また、物体の設置後に再度ピンセット型デバイスで挟んで治具上をスライドするように動かすことで、物体の両端とスリット間の距離を表示し切断の支援を行う(図9)。

4.1 運用結果

まだ少人数ではあるが、実装した操作補助の効果を確認するために本システムを自由に操作させる運用を行った。その結果、体験者らは仮想物体同士を近づけた際の動作拘束に最初は戸惑いを見せたものの、すぐに挙動を理解した様子で、拘束の効果を利用して配置作業を行っていた。治具に関しても同様に、動作拘束の効果によって自然に物体を治具へ設置し、スリットにナイフ型デバイスを通し、溝に沿ってスライドさせることで切断を行っていた。その一方で、操作後のコメントでは「物体を移動する際に、意図しない面に拘束されてしまうことがあった」「治具の測定機能を見ながらの配置が難しい」といった声が聞かれた。

5. むすび

本稿では、道具型デバイスを利用したMR型木材加工システムについて、運用を通して提起された配置・切断操作の問題解決を図るために、仮想物体や道具の動作を拘束することによる操作の補助を試みた。今後は運用を通してデバイス、システムの評価、改良を図る予定である。

参考文献

- 1) G. Wesche *et al.*: "FreeDrawer: A free-form sketching system on the responsive workbench," Proc. VRST 2001, pp. 167 - 174, 2001.
- 2) S. Schkolne *et al.*: "Surface drawing: Creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools," Proc. CHI 2001, pp. 261 - 268, 2001.
- 3) 木村 他: "空間型作業での選択・移動操作に適した道具型デバイスの機能設計と評価", 情処論文誌, Vol. 51, No. 2, pp. 314 - 323, 2010.
- 4) 福田 他: "Top-AttachableToolDevice: 先端部が着脱可能な新しい道具型デバイス", 第71回情処全大, 2Y-2, pp. 163 - 164, 2009.
- 5) 清川 他: "両手操作を用いた仮想物体モデラ VLEGO", 信学会論文誌, Vol. J80-A, No. 9, pp. 1517 - 1526, 1997.
- 6) 北村 他: "面間の動的拘束を用いた仮想物体の操作補助法", 信学会論文誌, Vol. J79-A, No. 2, pp. 506 - 517, 1996.
- 7) D. Wagner *et al.*: "ARToolKitPlus for pose tracking on mobile devices," Proc. Computer Vision Winter Workshop, pp. 139 - 146, 2007.