

3D 空間中に配置された電子オブジェクト選択のための 空間クリッピング手法の提案と実装

大槻麻衣, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行

Realizing the Spatial Clipping Method for Selecting Digital Objects in 3D space

Mai Otsuki, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, Hideyuki Tamura

Abstract - In 3D space, a lot of objects are placed and overlapped each other. When the users work with the industrial 3D model, such as a car which has too many components or a body which has complex organs, they want to pick up a part of models which they need, not all of models, and observe position relations and connection between each object. To resolve this problem and satisfy these requirements, we proposed “Spatial clipping method.” In our method, at first, users clip roughly the part of objects in large space which they need, using 3D volumetric frame (Clipping area). Copies of objects are displayed in front of the user. Next, they delete the objects at hand which they do not need and keep only what they need, while translating, rotating, and scaling. Finally, users can watch the detail of objects, such as the positional relation of each objects or connection. This paper describes about the detail of our proposed method, and the system that can realize the method using gestural input.

Keywords: Mixed Reality, Spatial clipping, 3D interaction, and Gestural input.

1. はじめに

近年、コンピュータの処理能力の向上、電子化された作業の増大と共に、狭いモニタ画面上での平面的な作業を前提とした WIMP 型インタフェースの限界が感じられるようになり、post-WIMP 型インタフェースの研究が活発化している。作業領域を 2D 画面から立体視可能な 3D 仮想空間へと拡張するのはその一例であり、現実と仮想を融合した複合現実空間もまた有望な研究対象である。

ところが、こうした 3D 空間内で電子的に表現された仮想オブジェクト（以下、単にオブジェクトと呼ぶ）を選択・操作する優れた方法がない。2D の場合は、カーソルをマウスやジョイスティック等のポインティング・デバイスで高精度に移動・停止できるのに対して、それに匹敵する「3次元マウス」が存在しないからである。

VR 分野の研究例として、Poupyrev らの Go-Go [1] では、ユーザは実世界の手の動きによって手形状のカーソルを操作し、仮想物体の選択を行う。Bowman らのレイキャスティング法 [2] では、仮想の光線を用いてオブジェクトを指し示し、選択を行う。しかしこれらの方法は、3D 空間中に多数のオブジェクトが存在し、ユーザ視点からは重なり合っている場合には、簡単に適用できない。その解決方法として、Grossman ら [3] や Olwel ら [4] の方法のように、光線を折り曲げて再集光する等の工夫があるが、いずれの場合も、目標が操作者から離れれば離れるほど、実際の手の僅かな動作のずれが大きな位置指定誤差を生み、選択が困難になるという問題がある。

一方、Pierce らの Voodoo dolls [5] では、手元に操作

対象とするオブジェクトのコピーを表示し、それを介して所望のオブジェクトを遠隔操作できる。この手法では、ユーザから見た風景を 2 次元投影図とみなし、矩形や円形の枠を用いて既存の 2D 画面で行うのと同様の操作で複数のオブジェクトのコピーを一括して作成することができる。しかし、操作対象が 3D であれば 3D のボリュームで選択できる方が自然である。

この方法に触発され、筆者らは、所望のオブジェクトが多数のオブジェクトに囲まれて存在する場合を想定し、これを選択・操作するのに、大まかな 3D 領域を切り出して手元に引き寄せ、じっくり観察できる視野内で選り分ける方法を提案・開発する。即ち、目標物をピンポイントで狙うのではなく、まずそれを含む小空間をクリッピングし、手が届かない距離にある場合には、手が届く範囲まで移動させ、不要なオブジェクトを取り除く方法である。電子的に表現されたオブジェクトであれば、複製や拡大・縮小が容易であり、目的としないオブジェクトは簡単に除去できることを利用している。

我々が提案するこの手法を「空間クリッピング法」と呼ぶ。多数のパーツを含む自動車など工業製品の CAD モデルや複雑な形状の臓器を多数内包した人体モデルを扱う際に有効と考えられる。1 つのパーツでも、モデル全体でもなく、「複数のパーツで構成されるある一部分」のみを取り出し、パーツ同士の位置関係や繋がりを様々な位置・方向から観察したいという要求があるからである。

空間クリッピング法では、まず必要な部分を 3 次元の枠（クリッピング領域）で大まかに切り出した後、手元に不要な部分を削除し、最終的に必要な部分のみを残す方法を採用。なお、ここでの削除は手元に表示されてい

る（電子）オブジェクトのコピーからのみ削除することを指し、元のオブジェクトには影響を及ぼさない。

本稿では提案の詳細とそれを実現するシステムを構築したので報告する。

2. 空間クリッピング法

2.1 概要

図 1 に提案手法を用いた作業例を示す。ユーザは両眼立体視が可能なシステムにおいて、原寸大の自動車の CG モデルを対象に、所望のオブジェクトを含む領域を大まかに切り出す。手元ではオブジェクトのコピーを移動、回転、拡大縮小しながら不要なパーツを削除し、最終的にパーツ同士の位置関係やつながりを様々な位置・方向から観察する。本研究では、これら一連の操作をジェスチャ操作によって実現する。

2.2 大まかな切り出し

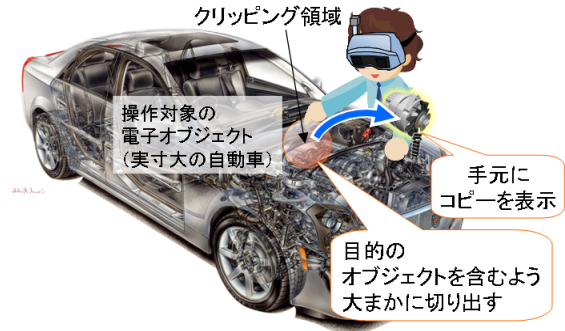
提案手法ではまず、操作対象のオブジェクトから、クリッピング領域を用いて目的の部分で大まかに切り出す。これを実現するため以下の 3 項目について検討する。

(1) **クリッピング領域の形状**：球、立方体、直方体、円筒、自由形状など様々なものが考えられる。既存の 2D の UI では範囲選択には主に矩形や円形が用いられることが多いこと、ここでは大まかに切り出せばよいことから、本研究では球・立方体をクリッピング領域とし、ユーザが用途に応じて切り替えられるようにする。

(2) **クリッピング領域のサイズ**：選択したい部分の大きさに応じて、クリッピング領域のサイズを変更する必要がある。本研究でクリッピング領域の形状として用いる球や立方体は、そのサイズを 1 入力によって一意に決定可能であるという利点がある。本研究ではこれを右手親指から人差し指までの距離に割り当てる（図 2 (a)）。

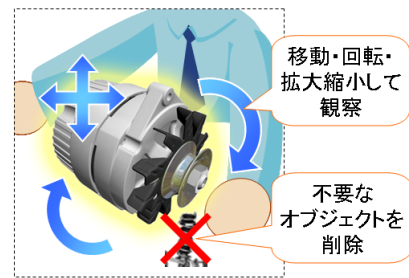
(3) **クリッピング領域の移動・確定**：クリッピング領域を目的のオブジェクト付近まで移動させる必要がある。図 1 の例では、ユーザの右手位置にクリッピング領域が作成されている。手が届かない位置を選択したい場合は、ユーザ自身が手の届く位置まで移動する、操作対象のオブジェクト全体を何らかの方法で移動させる、あるいはクリッピング領域だけを遠隔操作で移動させるなどの方法が考えられる。

ここで、手の届かない位置を選択することも想定した



(a) 大まかな切り出し

(a) Clip roughly



(b) 手元での操作

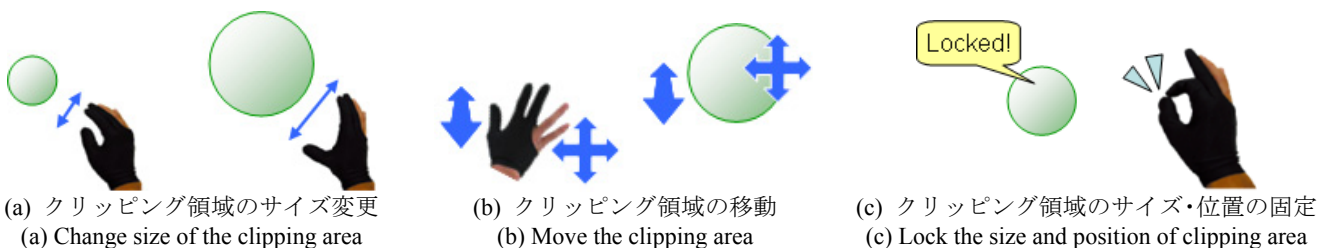
(b) Operation at hand

図 1 提案手法を用いた作業例

Fig. 1 An Example of operation using our method

クリッピング領域の移動方法について検討する。先述の通り、本研究では大まかに切り出すことを想定しているため、従来の研究とは異なり、ポインティングの精度よりも操作の容易さを重視する。今回は、実際の手の各軸の動きを n 倍し、クリッピング領域の中心位置の動きに線形マッピングする手法と、Go-Go [1] で提案されている、クリッピング領域の位置がユーザから離れるほど各軸の移動量を増加させる非線形マッピング手法の 2 種類を用い（同図 (b)）、ユーザの好みに応じて切り替えられるようにする。クリッピング領域を目的のオブジェクトを含む位置まで移動させた後は、確定操作を行うことでクリッピング領域の位置と大きさを固定する。本システムではこの操作を左手の親指と人差し指によるタップ操作で行う（同図 (c)）。

また、提案手法では、クリッピング領域よりも手前にあるオブジェクトを半透明表示することで、奥にあるオ



(a) クリッピング領域のサイズ変更
(a) Change size of the clipping area

(b) クリッピング領域の移動
(b) Move the clipping area

(c) クリッピング領域のサイズ・位置の固定
(c) Lock the size and position of clipping area

図 2 操作対象のオブジェクトに対する操作

Fig. 2 Gestures for original objects

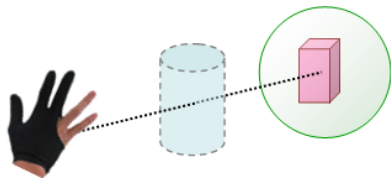


図3 クリッピング領域より
手前にあるオブジェクトの半透明表示
Fig. 3 Semi transparency effect for a object
in front of the clipping area

オブジェクトの選択を容易にする (図3)。

2.3 切り出したオブジェクトに対する操作

続いて、大まかに切り出したオブジェクトから不要なものを削除し、必要なもののみを手元に残し、目的のオブジェクトを観察する。これを実現するため、以下の3項目について検討する。

(1) 不要なオブジェクトの削除：先述の通り、本手法では、手元に表示されたコピーから不要な電子オブジェクトを削除する必要がある。これを実現する操作として、右手で「つまむ」ジェスチャを割り当てる (図4 (a))。

(2) オブジェクトの移動・回転：切り出した電子オブジェクトを観察するために、位置関係を保持した移動・回転操作が必要である。本研究では、この操作に左手の位置姿勢を用いる (同図 (b))。このとき、ユーザが任意のタイミングで移動・回転が行えるよう、動作のトリガを「左手でつまむ」ジェスチャに割り当てる。

(3) 電子オブジェクトの拡大・縮小：切り出した電子オブジェクトを詳細に観察したい場合や、小さな電子オブジェクトを削除する場合などに、拡大・縮小操作が必要となる。本研究では、左手と右手両方で「つまむ」ジェスチャを行い、左右の手の距離を広げたり狭めたりすることでこれを実現する (同図 (c))。

3. 試作

3.1 システム構成

2章で設計した手法を実現するために、両眼立体視可能なビデオスルー方式のMRシステムとして実現した (図5)。MR空間の管理・構築にはWindows XP OS, Intel Core2 Duo E4300 CPUを搭載するPCを用いた。MR空間の映像提示にはカメラ内蔵型のHMD (Head Mounted Display) であるCanon VH-2002を用いる。HMDの位置姿

勢取得および各種ジェスチャの認識にはモーションキャプチャシステム (ViconPeaks社製MXカメラシステム) を使用する。これは、カメラ8台とカメラ制御用PC、通信制御用PC各1台から構成される。利用者は、親指、人差し指、手の甲に再帰性反射マーカを貼付した手袋状デバイスを装着し、また、HMDにも再帰性反射マーカを貼付することで3次元位置姿勢を検出可能である。モーションキャプチャシステムにより得られたこれらの情報は通信制御用PCを介してMR空間管理用PCに送られる。

MR空間の生成・提示には、HMDに内蔵された左目用、右目用の各カメラからビデオキャプチャカード (ViewCast Osprey 440) を介して実風景をPCへ取り込み、HMDの位置姿勢に合わせたCGを重畳描画した後、グラフィックカード (NVIDIA Quadro FX 1700) からそれぞれHMDの左目、右目用の各ディスプレイへ出力することでユーザに提示する。

開発言語にはC++を、グラフィックスAPIにはOpenGLおよびGLUT (OpenGL Utility Toolkit) を使用している。

3.2 実行結果

図6、図7にクリッピング領域の形状として球を用いた場合の実行結果を示す。試作システムでは、バイクのCGモデルをユーザから1.5mの距離に置き、選択球を半透明の緑色で描画している。

操作対象のオブジェクトに対する操作では、選択球を手が届かない位置に移動させている場合でもその位置が明確になるよう、ユーザの右手位置から選択球の中心までを結ぶ直線を表示している (図6 (a))。また、選択球のサイズ (半径) を選択球の中心からx軸の正方向に伸びた線分で示している (同図)。オブジェクトの頂点が1点でも選択球内に含まれた場合、そのオブジェクトは「選択された」と判定し、色を赤に変化させる視覚フィードバックを提示する。また、各オブジェクトに直方体のバウンディングボックスを設定し、右手と選択球の中心を結ぶ線分がバウンディングボックスを通過している場合は、そのオブジェクトを半透明で表示する (同図 (b))。

手元のオブジェクトに対する操作では、右手の親指と人差し指を結ぶ直線と、ポリゴンとの交差判定を行い、交差している場合はそのオブジェクトの色を青に変化さ

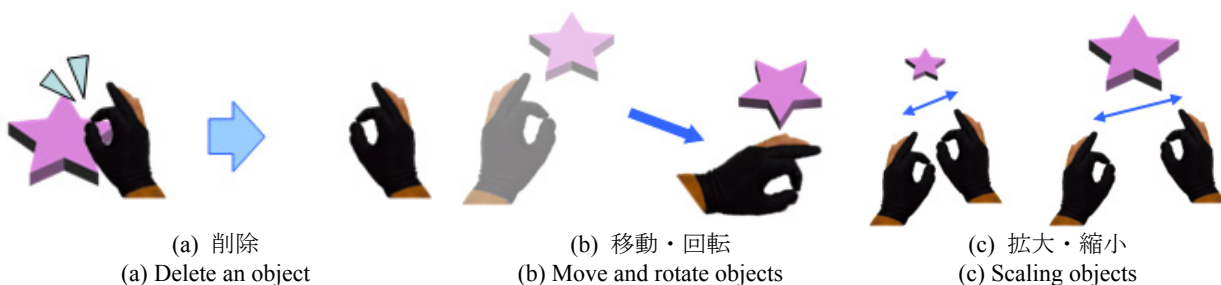


図4 手元にあるオブジェクトに対するジェスチャ操作
Fig. 4 Gestures for objects at hand

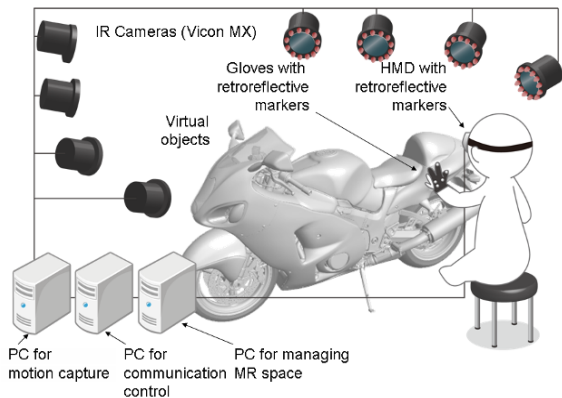


図5 システム構成

Fig. 5 System configuration

せる視覚フィードバックを提示する (図 7 (a)). その状態から親指と人差し指を閉じるとそのオブジェクトを削除する. 手元のオブジェクトの観察の様子を同図 (b) に, 拡大縮小の様子を同図 (c) に示す.

4. むすび

本研究では, 3D 空間に配置されたオブジェクトから 3 次元の「クリッピング領域」を用いて目的のオブジェクトを選択する「空間クリッピング法」を提案した. 今後は, 実際にシステムの運用を行い, 各操作に割り当てた

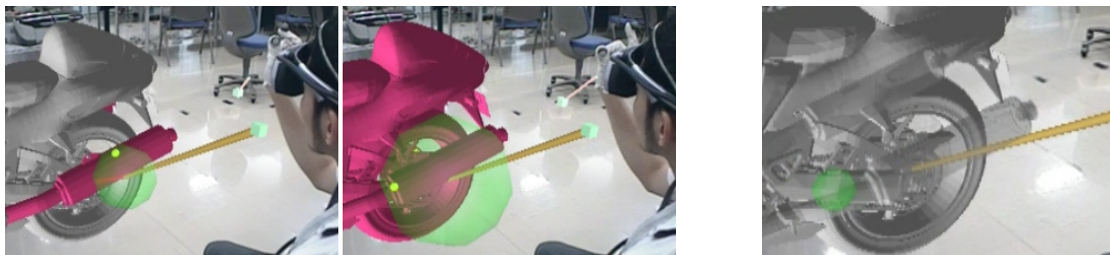
ジェスチャやフィードバックの適切さを評価し, その結果をシステム設計にフィードバックさせ, システムの完成度を高めていくことを予定している.

謝辞

本研究は, 特別研究員奨励費 (課題番号20・9217) 「空間型作業を支援するポストWIMP 型インタフェースの開発」による. また, 本システムの実装の一部に貢献した学部学生・大下勉氏の貢献に対し, 感謝の意を表します.

参考文献

- [1] I. Poupyrev *et al.*: “Go-Go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in VR,” Proc. UIST 1996, pp. 79 - 80, 1996.
- [2] D. A. Bowman *et al.*: “An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments,” Proc. Symp. Interactive 3D Graphics, pp. 35 - 38, 1997.
- [3] T. Grossman *et al.*: “The design and evaluation of selection techniques for 3d volumetric displays”, Proc. UIST 2006, pp. 3 - 12, 2006.
- [4] A. Olwal *et al.*: “The Flexible Pointer - An interaction technique for selection in augmented and virtual reality,” Conf. Suppl. UIST 2003, pp. 81 - 82, 2003.
- [5] J. S. Pierce *et al.*: “Comparing Voodoo Dolls and HOMER: Exploring the importance of feedback in virtual environments,” Proc. CHI 2002, pp. 105 - 112, 2002.



(a) クリッピング領域のサイズ変更

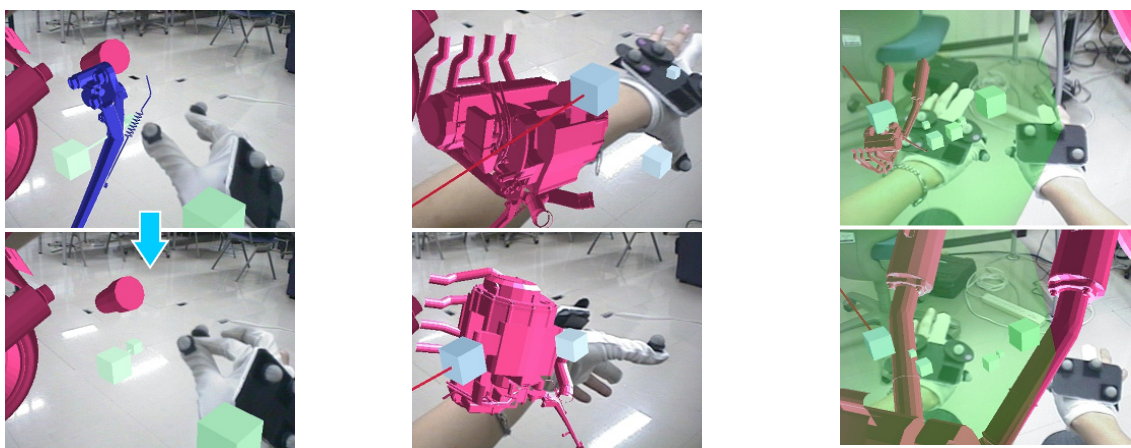
(a) Change size of the selecting area

(b) オブジェクトの半透明表示

(b) Semi transparency effect for objects

図6 操作対象のオブジェクトに対して操作している様子

Fig. 6 Operation for original objects



(a) オブジェクトの削除

(a) Delete an object

(b) オブジェクトの移動・回転

(b) Move and rotate objects

(c) オブジェクトの拡大・縮小

(c) Scaling objects

図7 手元のオブジェクトに対して操作している様子

Fig. 7 Operation for objects at hand