

# 距離画像データからの平面・稜線検出に基づく 日常家具の可動構造付き形状モデリング

山崎公俊 (東京大学) 森健光 (トヨタ自動車) 山本貴史 (トヨタ自動車) 稲葉雅幸 (東京大学)

## Geometrical Modeling of Articulated Furniture Based on Plane and Edge Extraction From Range Data

\*Kimitoshi YAMAZAKI(The Univ. of Tokyo), Takemitsu MORI (Toyota Motor Corp.),  
Takashi YAMAMOTO (Toyota Motor Corp.), Masayuki INABA(The Univ. of Tokyo)

**Abstract**— This paper describes about a method of modeling of furniture with articulated structure. Time-series of 3D pointclouds captured from a range-color camera are used, and several types of furniture such as drawer and hinged door are modeled. A technique for generating geometrical shape by combining planes from a set of planes extracted from a pointcloud is introduced. The effectiveness of the proposed method was proven by means of experiments using real data.

### 1. はじめに

日常環境には様々な家具が存在している。その中でも、食器や衣類などの物品を収納する家具は、引き戸や引き出しなどの構造を持っていることが多い。人の生活を支援するロボットには、日常に存在する様々な物体を認識・操作する機能が望まれるが、引き出しなどの収納用家具を対象とする場合には、その可動構造についての知識も持たせておく必要がある。

本稿では、密な距離データを取得できるセンサを利用して、家具の三次元形状モデルを生成する方式について述べる。人間が家具を操作している様子を観測し、そこで得られる時系列の三次元データから、可動構造付きの幾何モデルを生成する。

可動構造を持つ物体のモデル化については、従来からいくつかの研究がある。Sturmら [3] は、可動部の前板を発見し追跡を行うことで、マーカー等を付加することなく、家具のモデリングを実現した。Yamazakiら [4] は、家具の見た目と操作方法を記憶するための表現として IM モデルを提案し、いくつかの家具について、人間による教示とロボットによる操作までを実現した。これらの研究は、引き出しの前板など可動部分にのみ着目しており、モデル化の範囲が部分的であった。

本稿で提案する方式は、平面で形作られる家具を前提として、引き出し量や回転軸の位置などをモデル化するものである。上述したような従来方式と異なり、家具全体の三次元形状もモデル化する。モデル化処理では、初期段階として家具形状を直方体に近似し、その後、可動部分の形状変化の情報を加えて形状当てはめを行う。本方式は、時系列のデータを利用するため、ある時刻において家具の一部に一時的な隠れが生じたとしても支障なくモデリングを行うことができる。

### 2. 平面の組み合わせによる家具概形の推定

センサとして、密な三次元データが得られる距離カメラを用いる。対象とする家具は、全ての扉が閉じた状態のとき、その形状を直方体に近似できるものとする。

概形の推定は以下の手順で行う。まず、入力された三次元点群から、その中に存在する平面要素を検出する (Fig.1, (1),(2))。平面検出には、点列のランダムサンプリングによるもの [2], Region growing アプローチを用いたもの [1], 近

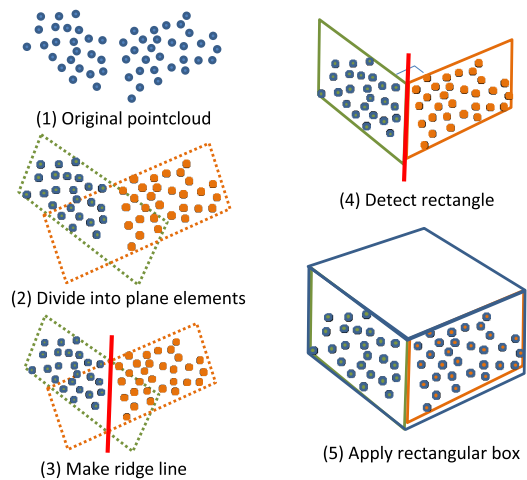


Fig.1 Rectangular box fitting

傍点を楕円体近似した後に当てはめを行うもの [5] など様々な方式があるが、平面の方程式  $nx + d = 0$  の各パラメータが推定されるのであれば手法は問わない。ただし、同じ平面パラメータに属する点群が空間的に離れている場合には、それらを分離するクラスタリング処理が必要である。次に、抽出した平面群に家具の前面や側面等が含まれていると考え、平面群のうち近接・直行しているものを選び、稜線を求める (Fig.1, (3))。各平面に属する点群のうち、この稜線から最も遠い点までの距離と、稜線上へ全ての点を投影したときの最大・最小値から、矩形平面領域を特定する (Fig.1, (4))。最後に、この二つの平面を包括する直方体を定義し、家具の概形とする (Fig.1, (5))。

この手順によれば、家具の二つの面が見えていれば概形推定が可能である。また、取っ手などの突起物は平面検出の段階で除去されるため、モデリングには影響しない。

### 3. 可動部のモデル化

時系列データのバッチ処理により、可動部の形状と可動範囲を推定する。

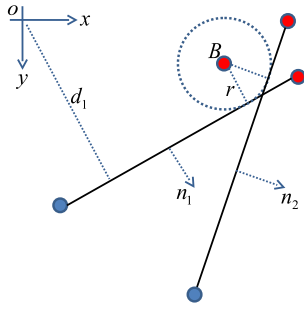


Fig.2 Rotation axis estimation

### 3.1 引き出しのモデル化

引き出しは、収納領域そのものを家具部分から出し入れする方式になっている。このモデル化のため、前板の形状と、引き出し部分の奥行きを推定する。

一般に、引き出しは前板部分に設置されている取っ手を用いて開閉を行うものであり、その操作方向は前板に対して垂直である。時系列の距離データからこの構造を得るためには、開閉動作における引き出し前板の変化を観測し、その掃引領域が推定できれば良い。そこで、以下の手順により引き出し領域を得る。

人が操作を加えている間の三次元データより、家具の前板に平行であり、かつ垂直な方向に時系列変化している平面群を特定する。そして、家具の前面に底面をおき平面群を包括するような直方体を求め、引き出しの掃引領域とする。この掃引領域から、前板のサイズと引き出し量を求める。

### 3.2 開き戸のモデル化

開き戸は、ある軸のまわりに前板を回転することで収納領域へのアクセスを調整する方式になっている。従って、このモデル化のために最低限必要な事柄は、前板の形状推定と軸位置の推定となる。

開き戸の前板領域の推定は以下の手順で行う。まず、前板が閉じた状態から開かれるまでの前板部分の集合を特定し、家具の前面に底面をおき平面群を包括するような直方体を求める。そして、この直方体における家具前面からの最大距離と、以下に述べる軸位置の関係から、前板のサイズを求める。

軸位置推定を行う際の注意点は、回転中心が前板から離れた位置に存在しうることである。このオフセット分を考慮に入れた推定計算が必要となる。Fig.2 に示すように、軸上のある点の座標を  $x_B = (x, y, z)$  とする。この軸から前板部分の平面まで伸ばした垂線の長さを  $r$  とする。軸推定は、これまでに得られている前板部分の平面パラメータ  $n, d$  から  $x, y, r$  を求めることで達成される。時系列データを用いることで前板部分の平面パラメータは複数得られるため、最小二乗法を用いて解く。

点  $x_B$  によって拘束されている平面群は、点  $x_B$  と常に同じ距離を保つため、そのうちの二つの平面を考えた場合に以下の式が成り立つ

$$|n_1 x_B + d_1| = |n_2 x_B + d_2| = r \quad (1)$$

この関係より、 $r$  を消去した上で複数の平面から尤もらしい  $x_B$  を推定し、最後に  $r$  を求めれば良い。本研究では、開き戸に属すると判定された平面のうち、開閉角度が  $0 < \theta < 90$

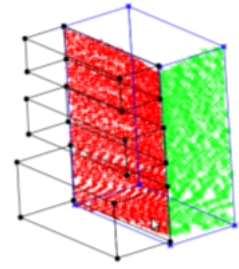


Fig.3 An example of modeling result

[deg] のものを選び、法線成分の  $z$  要素が家具前面を基準とする平面に対して正の要素を持つように平面パラメータを調整した後、連立方程式を解くことで  $x_B$  を求めた。

## 4. 実験

複数の引き出しを持つタンスや、観音開きの収納棚等を対象物にした実験を行った。センサとして Kinect を用い、家具とセンサの間の距離を 1500 [mm] から 2000 [mm] 程度として計測を行った。計測中、人間が家具の操作を行った。なお、可動部を開き終わったあとは一度家具から手を離すようにした。モデリングの結果の例を Fig.3 に示す。5 段あるタンスのうち、1, 3, 5 段目をモデル化した。赤い点群は家具の前面を、緑の点群は横面を認識した結果を示している。

当てはめられたモデルは、実際の家具よりも数 cm 程度大きくなる傾向が見られた。理由として、境界部分のセンサデータに由来する誤差が考えられる。この解決には、画像データとの融合などが考えられ、今後の課題である。

## 5. まとめ

本稿では、距離カメラより得た時系列の三次元点列から、可動構造を持つ家具のモデル化手法について述べた。提案手法は、平面で形作られた引き出しや開き戸を対象とし、平面の選択と組み合わせによる三次元形状当てはめを行う。時系列のデータをバッチ処理するため、データの一部で家具が遮蔽されていたとしてもモデル化が可能である。実際の家具を用いた実験により、提案手法の有効性を示した。

今後の課題として、処理のロバスト性の向上や、曲面を含む家具のモデル化がある。

## 参考文献

- [1] N. Fairfield et al.: "Real-time SLAM with octree evidence grids for exploration in underwater tunnels," Journal of Field Robotics, pp.3-21, 2007.
- [2] J. Poppinga et al.: "Fast Plane Detection and Polygonalization in Noisy 3D Range Images," Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2008.
- [3] J. Sturm, A. Jain, C. Stachniss, C. Kemp and W. Burgard: "Robustly Operating Articulated Objects based on Experience," in Proc. of Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2010.
- [4] K. Yamazaki, T. Tsubouchi and M. Tomono: "Furniture Model Creation through direct teaching to a Mobile Robot," Journal of Robotics and Mechatronics, vol.20, no.2, pp.213-220, 2008.
- [5] 山崎, 森, 山本, 稲葉: 「生活支援ロボットののための時系列距離データに適した空間表現と平面検出」, 第 16 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.600-606, 2011.