

## 生活支援ロボット HSR のための

## 家庭環境における LINE-MOD の適用とロバスト性向上\*

小島 光晴<sup>†</sup> 土永 将慶<sup>‡</sup> 山本 貴史<sup>§</sup> 矢口 裕明<sup>¶</sup> 稲葉 雅幸<sup>||</sup>  
 東京大学 トヨタ自動車 トヨタ自動車 東京大学 東京大学

## 1. はじめに

生活支援ロボット HSR の実証評価の結果、マーカーをつけた専用の棚ではなく通常の棚を利用したい、ロボットに冷蔵庫を開けてペットボトルを持って来て欲しい、といった要望が被験者から得られている<sup>1)</sup>。これらを実現するためには家庭環境で、家庭にある物体をマーカーレスに認識する機能が必要となる。本研究ではこの認識機能を実現するための認識手法として LINE-MOD<sup>2, 3)</sup> を照明条件を変え家庭にある物体に対して適用、評価した。本論文では評価結果とロバスト性向上のための改善案を示す。

## 2. LINE-MOD

LINE-MOD とは、離散化された複数の種類の特徴量を用いたテンプレートについて、メモリ配置を工夫することで並列計算を行い、高速に物体を発見するアルゴリズムである。本研究では特徴量として画像のグラディエントの方向の離散値・三次元面の法線方向の離散値を用い<sup>2)</sup>、テンプレートはあらかじめ生成した方向・色付き点群モデルを元に生成<sup>3)</sup>している。

## 3. 家庭環境への適用

実験環境としては収納に目し、図 1 に示すように収納内(図 1-a,b)・冷蔵庫内(図 1-c,d)を対象とした。認識対象は図 2 に示すようにグラス(図 2-a)・蛇口(図 2-b)・扉の取手(図 2-c) 及びペットボトル・カップ・電話(図 1-a,b) といった比較的形状が単純なものも対象とした。入力距離画像・カラー画像は Microsoft Kinect または ASUS Xtion から得られるものを用いている。

## 4. 評価と考察

## 4.1 距離データの欠損

図 3 は図 2-b の蛇口、図 2-a の透明なガラスの距離画像とグラディエントの方向の離散値を画像化したものである。図 3 に示すように金属光沢のある物体・透明な物体は Kinect・Xtion のようなセンサからは距離画像が得られず、従って認識に法線方向の離散値を用いることはできない。図 3-a-2,b-2 に示すようなグラディエントの方向の離散値を用いるか、画像ベースのステレオ法で距離を補完する、あるいは他の認識処理を行う必要がある。

## 4.2 複数特徴量の重み付け

各テンプレートについて、モダリティ  $m$  の評価値を  $E_m$ 、重みを  $W_m$  とすると、Hinterstoisser らは単純な和を用い

\* Application of LINE-MOD to home environment with Human Support Robot(HSR)

<sup>†</sup>Mitsuharu KOJIMA, The Univ. of Tokyo

<sup>‡</sup>Masayoshi TSUCHINAGA, Toyota Motor Corp.

<sup>§</sup>Takashi YAMAMOTO, Toyota Motor Corp.

<sup>¶</sup>Hiroaki YAGUCHI, The Univ. of Tokyo

<sup>||</sup>Masayuki INABA, The Univ. of Tokyo

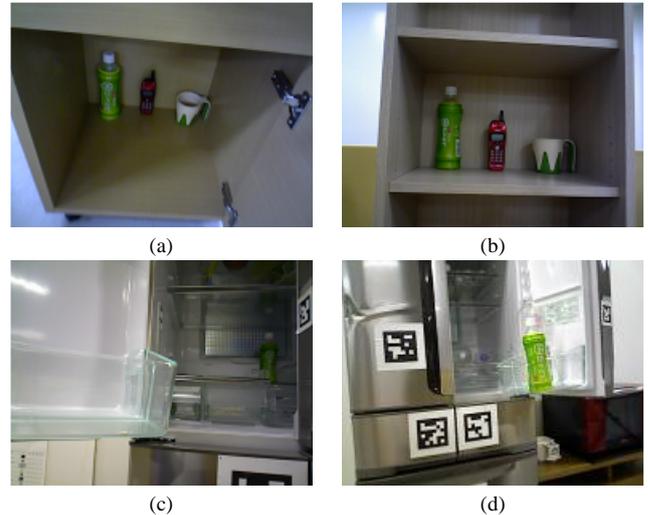


図 1 認識条件・物体 (a,b) 収納 (c,d) 冷蔵庫



図 2 認識物体 (a) 透明なグラス (b) 蛇口 (c) ドアハンドル

て  $\sum_m W_m E_m (W_m = 1)$  を評価値として閾値  $T_a$  を用いて  $\sum_m W_m E_m > T_a$  としている<sup>2, 3)</sup> が、前述の距離データが欠損する場合や図 4 に示すように単純な形状のため一方の特徴量のみの評価値が高くなりうる場合には、 $E_m > T_m$  として各特徴量を分割評価し、 $\sum_m W_m E_m > T_a$  として各特徴量の評価値を重み付けして評価する方法が有効である。

図 4 に示すのが、ドアのハンドルを認識している様子である。図 4-a が入力画像、図 4-b がグラディエントの方向の離散値を画像化したもの、図 4-c が法線方向の離散値を画像化したもの、図 4-d がマッチしたテンプレートの上位を示したもので左上がもっともマッチしたテンプレートで評価が高い順に、左から右、上から下へと続く。各テンプレートの中の値は「グラディエントの方向の評価値: 法線方向の評価値」となっている。図 4-d では  $T_a = 65$  としているが、中段最左のテンプレートのように法線方向の評価値が高くグラディエントの方向の評価値が低いテンプレートが上位にくる。このような一方の特徴量の評価値のみが他の特徴量の評価値に比べて異常に高いテンプレートが上位にくることは  $E_m > T_m, \sum_m W_m E_m > T_a (T_a = T_m = 65, W_m = 1)$  として評価すれば避けられる。

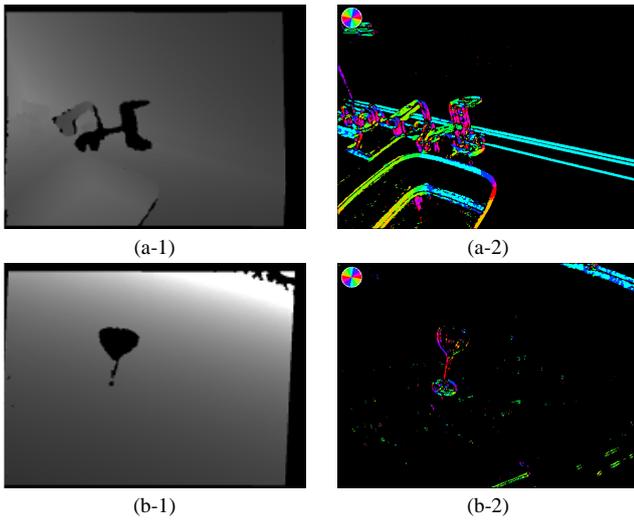


図3 距離データの欠損 (a-1) 金属光沢のある蛇口の距離画像 (a-2) 金属光沢のある蛇口のグラディエントの方向の離散値画像 (b-1) 透明なガラスの距離画像 (b-2) 透明なガラスのグラディエントの方向の離散値画像

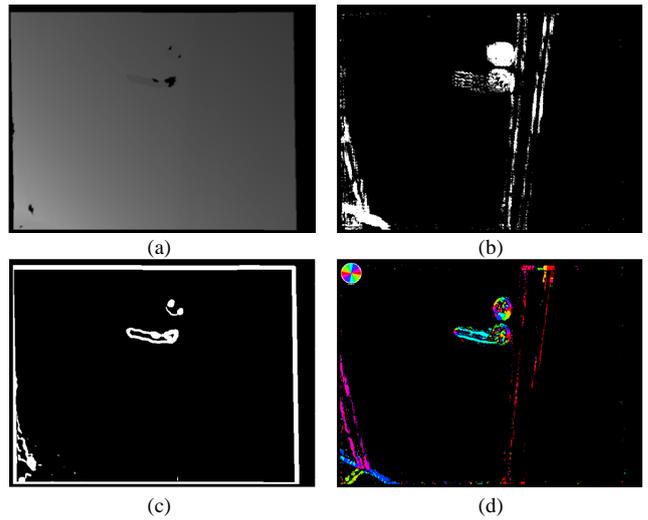


図5 グラディエント離散値のフィルタリング (a) 距離画像 (b) 法線方向の変化に基づくフィルタ (c) 距離の急激な変化に基づくフィルタ (d) フィルタリングしたグラディエント離散値

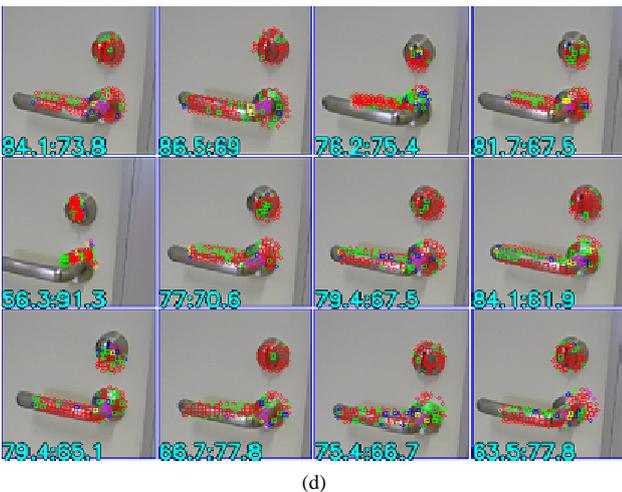
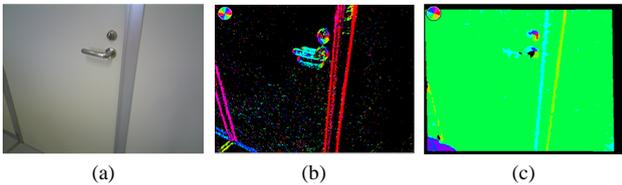


図4 ドアハンドルの認識 (a) 入力 (b) グラディエントの方向の離散値画像 (c) 法線方向の離散値画像 (d) マッチした評価上位のテンプレート (左上がもっとも評価が高く右、下へいくほど評価が低い。各テンプレートの数値は [グラディエントの評価値 : 法線の評価値])

### 4.3 グラディエントのフィルタリング

図4-bに示すように取っ手の影が扉に映り込んだ部分に取っ手と似た分布でグラディエントの離散値が現れるため、誤認識しやすい。LINE-MODではグラディエントの離散値のうち物体の輪郭部分のみを用いている<sup>3)</sup>。物体の輪郭部分は距離画像の距離値の急激な変化あるいは法線方向の変化が起きるため、これを利用してグラディエントのフィルタリングを行うことが有効である。

図5-dに示したのが図4-bのグラディエントの離散値をフィルタリングした結果である。図5-aが入力距離画像で図5-bが法線の変化がある部分を検出したフィルタ図5-cが距離画像の距離値の急激な変化を検出したフィルタで、これらのフィルタを図4-bに適用したのが図5-dである。扉に映った影を除去できている。

### 5. おわりに

LINE-MODを照明条件を変え家庭にある物体に対して適用、評価した。実際にHSRが人を支援するためには、今回示したような距離データの欠損のある物体や比較的単純な形状の物体をも認識できることが求められている。本論文では具体的にLINE-MODを適用した例を示しながら、距離データの欠損のある物体や単純な形状の物体に対してLINE-MODを用いるには複数の特徴量の重み付け・グラディエントのフィルタリング・金属光沢、透明物体への対応といった改良が必要であることを示した。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、Technische Universität MünchenのProf. Nassir Navab、Dr. Stefan Hinterstoisser<sup>1)</sup>には種々のご協力を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 齋藤史倫. 生活支援ロボット HSR の試作と実証評価. 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3C2-2, 2012.
- 2) S. Hinterstoisser. Multimodal Templates for Real-Time Detection of Texture-less Objects in Heavily Cluttered Scenes. In *ICCV 2011*, pp. 858-865, 2011.
- 3) S. Hinterstoisser. Model Based Training, Detection and Pose Estimation of Texture-Less 3D Objects in Heavily Cluttered Scenes. In *ACCV 2012*, pp. PW-38, 2012.

<sup>1)</sup><http://campar.in.tum.de/Chair/ResearchGroupCamp>