

天井光源の幾何学的特徴を利用したロバストな自己位置復元手法

前田 賢一郎 小林 亮博 久米 出 上野 敦志 河野 恭之 木戸出 正継

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科[†]

1. はじめに

ロボットのナビゲーションやウェアラブル PC などによるサービスの提供をするうえで自己位置は最も基本的な情報である。床面上を走行する室内移動ロボットの自己位置同定手法の一つに天井光源を利用したものがある[1]。これはあらかじめ天井光源地図を作成し、天井カメラ画像とのマッチングによりオドメトリ誤差を修正することでロボットの自己位置を同定する手法である。周囲の人・太陽光変化の影響を受けにくい、環境に手を加える必要が無いなどの利点がある一方、走行が床面上の移動に制限され、天井光源地図とのマッチングを行っているため処理時間が長いなどの欠点がある。

本研究ではカメラの高さ・姿勢の変化に対しロバストな自己位置同定を実時間でを行うことを目的とする。利用するハードウェアは PDA やロボットなどに天井に向けて取り付けた単眼カメラである。取得画像中の光源の特徴を抽出して幾何学的な計算を行い、未知光源の天井光源地図における光源 ID (識別情報) を特定することで大局的自己位置同定を行う。

また本手法では通常は撮影された光源の ID 情報のみを特定し、アプリケーションからの要求があったときのみ特徴点の画像座標値と天井光源座標値の対応を利用して計算し、詳細な自己位置を復元する。

2. 光源 ID 特定による自己位置同定手法

本手法を利用する環境は天井光源が全て平面上にあり、その種類は点光源および線光源のみであると仮定する¹。本手法では処理速度向上とカメラ高さ・姿勢変化に対するロバスト性向上のため、抽出が容易な特徴として特徴点 (点光源重心, 線光源端点と重心) および線光源直線 (線光源が乗っている直線) を抽出しそののみを利用する。

まず環境の天井光源地図を用意する。これには計測した光源の特徴点座標と各特徴点に割り振った光源 ID を記述する (図 1)。

2.1 前処理

撮影した毎フレームの画像に対して二値化処理を行って光源を抽出し、各光源に対し境界線追跡とラベリングを行う。本手法で仮定している点对称の光源では、光源の重心は境界線の重心と一致するとしてこれを求める。トラッキングは、求めた各光源の重心を前フレームにお

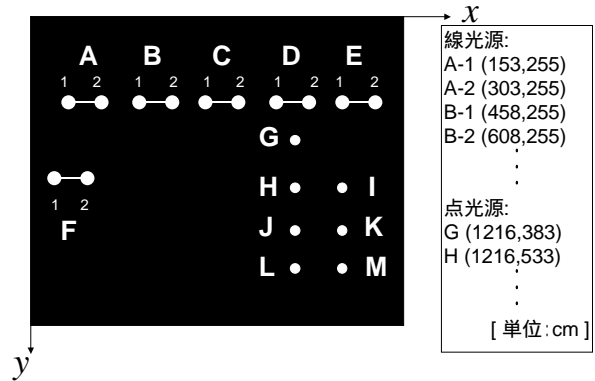


図 1 天井光源座標系と天井光源地図

ける既知光源の重心と比較して、最近傍の重心をもつものを同一光源とし光源 ID を維持することで行う。なお初期位置で撮影された光源の ID は、ナビゲーション開始位置とカメラの向きを定めその位置で撮影される光源の ID とする。それ以外の場所から開始するときはユーザが手動で設定する。トラッキングの結果前フレームに対応する光源がない未知光源が出現したとき、ID 特定処理を行う。

2.2 未知光源 ID 特定による大局的自己位置同定

2.2.1 撮影画像中の未知光源分類

画像中の未知光源を分類して光源種類を推定し、対応付け候補となる地図中の光源の種類を限定する。

未知光源分類は以下の基準で行う。

- 周囲長 [長 / 短]
- フレーム接触辺数 [0 / 1 / 2]
- 光源とその外接四角形の接点のうち、フレームから最も遠い点のフレームからの距離 [遠 / 近]
- 光源の外接四角形の縦横比 [大 / 小]

この基準に従って未知光源を分類することで

- 線光源か点光源かの区別は可能であるか

- フレームアウトした線光源の端点抽出は可能かを判定して未知光源の種類と抽出する特徴を決定する。

これに従って ID 特定処理における光源の候補と比較する特徴を決定する。未知光源は以下に述べる 7 つの状況に分類される。各状況での未知光源と抽出する特徴を図 2 に示す。なお図 2 では撮影画像における未知光源のみを图示している。

状況 A (接触辺数:0, 周囲長:大)

状況 B (接触辺数:1, 最遠点:遠)

状況 C (接触辺数:2, 最遠点:遠)

¹ Robust Self-Localization Method Based on Geometric Features of the Light Sources on a Ceiling」

[†]Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

¹ 一般的な光源である電球と蛍光灯に対応できる。また、特徴の種類を増やすことで他の形状の光源に拡張可能である。

状況 A から C は、未知光源は線光源であり端点が抽出できる状況である。比較元は未知光源の端点、比較対象は線光源の端点とする。

状況 D (接触辺数:0, 周囲長:小, 縦横比:大)

状況 E (接触辺数:1, 最遠点:近, 周囲長:大, 縦横比:大)

状況 D と E は、未知光源は線光源であるが端点が抽出できない状況である。比較元は未知光源の重心、比較対象は線光源の重心とする。

状況 F (接触辺数:0, 周囲長:小, 縦横比:小)

未知光源は点光源である。比較元は未知光源の重心、比較対象は点光源重心とする。

状況 G (接触辺数:1, 最遠点:近, 周囲長:小)

未知光源は線光源端点または点光源である。比較元は未知光源の重心、比較対象は線光源端点と点光源重心とする。

状況 H (接触辺数:2, 最遠点:近)

未知光源は点光源又は端点か一部は判定できない線光源である。比較元は未知光源の重心、比較対象は点光源重心と線光源(距離を比較)とする。

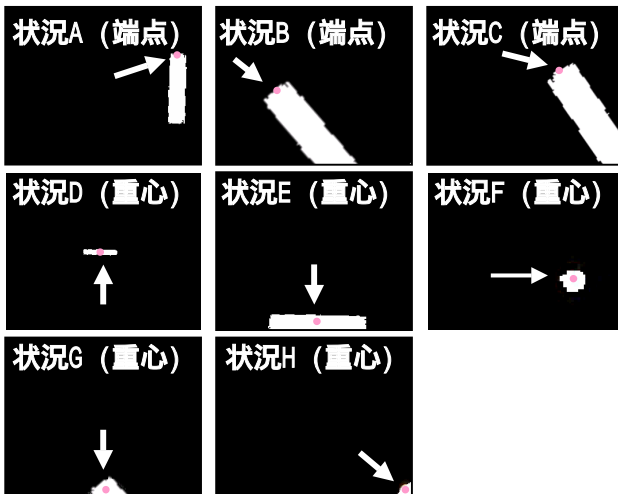


図 2 撮影された未知光源の分類と抽出する特徴

2.2.2 未知光源の ID 特定処理

まず既知線光源の端点と方向を抽出する。抽出した既知光源の特徴点と線光源直線の交点の合計数、および線光源直線の数に従って場合分けを行い、各場合に従った手法で ID 特定を行う。以下各場合について述べる。

) から) ではカメラ座標系から天井光源座標系への逆射影変換行列を求める。この行列で未知光源特徴を地図上に逆射影し、その点から最近傍の光源を未知光源と対応付けて ID を決定する。) から) は逆射影変換行列の求め方について述べる。

-) 4 点以上 4 点の画面座標値と天井光源座標値の対応から逆射影変換行列を求める。
-) 3 点 カメラに対する天井の傾きが 15° 程度以内であると仮定することで、3 点の画面座標値と天井光源座標の対応から逆射影変換行列を求める。
-) 2 点 天井とカメラが垂直であると仮定することで、

2 点の画面座標値と天井光源座標の対応から一次変換行列を求める。

) 1 点

a) 線光源直線 × 2 線光源直線の交点を求め、 -b と同様の手法で ID を特定する。

b) 線光源直線 × 1 天井とカメラが垂直であると仮定し、画像中で線光源直線の方を基準にして特徴点から未知光源への角度を求める(図 3:左)。地図上で既知特徴点から求めた角度に直線を引き、その直線近傍かつ既知特徴点に最近傍の特徴点を持つ光源を未知光源と対応付ける(図 3:右)。

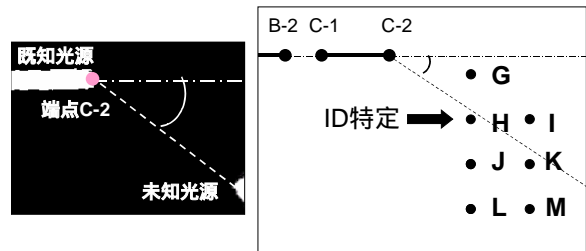


図 3 手法 -bでの撮影画像と天井光源地図

c) 線光源直線 × 0 カメラが垂直を向いていたとしてもヨー角が固定されないため、新規に現れた未知光源の特徴点に対する方向を推定することができない。よって自己位置喪失状態とする。

) なし

a) 線光源直線 × 1 特徴点が無いため未知光源が現れても対応付けすることは不可能である。ただし、この線光源の端点が現れたときはその ID を特定することができる。

b) 線光源直線 × 0 撮影された光源が無いため自己位置喪失状態とする。

3. まとめ

本論文ではカメラ姿勢変化にロバストかつ計算量の少ない手法を提案した。提案手法では、光源形状を限定することで幾何学的な計算による高速な光源特定が可能である。これにより PDA に取り付けられたカメラによる室内歩行者ナビゲーションや、室内移動ロボットの人間による持ち上げ移動後の自律移動再開などが実現できる。光源 ID を利用して、詳細な自己位置を計算した実験結果を報告する予定である。このとき、カメラとユーザが近づくために発生するオクルージョンへの対応が今後の課題である。オクルージョン発生領域を予想し、これを考慮して未知光源を分類し ID 候補を決定する手法を検討している。

参考文献

- [1] 紙弘和, 松本吉央, 今井正和, 小笠原司, “天井画像列を用いた屋内ナビゲーション”, 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. 1, pp. 331-332, 2000.