

視認性評価に基づく移動ロボットのためのランドマーク選択

○下田真宙 山崎公俊（信州大学）

要旨：本論文では、カメラを用いて環境から視認性の高い画像領域をランドマークとして記録する手法を提案する。この視認性が高いランドマークを用いることにより、移動ロボットが少量の環境知識において自己位置推定を行うことができる。また、提案方法を実装し、走行実験を行った。

キーワード：視認性、画像特徴点のグルーピング、マッチング

1. はじめに

移動ロボットは屋内外で広い行動範囲を持ちうる存在である。例えば目的地への長距離移動をおこなわせる場合、ロボットには走行中の自身の存在位置を適切に知るための機能を搭載する必要がある。従来、カメラやレーザー距離計などによる外界センシングの結果を利用して、自己位置推定を行う手法が提案されている[1][2]。

本研究の目的は、自己位置推定の手掛かりとすべき視覚特徴を移動ロボットに自動で収集させる仕組みの構築である。本稿では、カメラを搭載した移動ロボットが取得した画像群から視認性の高い画像領域を切り出し、ランドマークとして記録していく手法を提案する。ここでの視認性とは、他の景色との区別が容易であるか否か（弁別性）と、オクルージョン等が起きにくい場所にあり頻繁に観測できるか否か（持続性）の両方に対する性質を意味する。

視認性の評価は、所定のコースを複数回走行させた結果を用いておこなう。例えば、ある走行時に見つけたランドマークが弁別性の高いものであったとしても、のちの走行において走行経路がほとんど変わらないにもかかわらず同じランドマークを捉えられないのであれば、それは視認性が低いとみなす。ランドマークをそのような判断のもとに自動で収集することができれば、少量の環境知識によって適切に自己位置推定を行う移動ロボットの実現が期待できる。

以下に論文の構成を示す。まず第2章では、ランドマークとして適切なものの条件を考える。第3章では、条件に従い実際にランドマークを決定する手法を述べる。第4章では、ランドマーク記録の実験結果を述べる。

2. ランドマークの表現

2.1 ランドマークについて

ランドマークとするべき画像領域を選ぶとき、ランドマークとしての適切さを次のように考える。

- ① 動かない
- ② 周囲のものに隠れない
- ③ 周囲のものとの区別がしやすい
- ④ 視点により見え方が大きく変化しない

①は物体等が動くと視点からの見え方が変わり、認識できない可能性があるためである。②は周囲のものに一部あるいは全体が隠れると認識できなくなるためである。③は類似した画像領域が周囲に存在した場合、誤認識が起きる可能性があるためである。④は走行するロボットの経路が毎回同じとは限らず、

それぞれの視点によって見え方が変わる可能性があるためである。

本研究では②、③、④の条件を満たす適切なランドマークの記録を行う手法を示す。

2.2 特徴点のグルーピングによる特徴領域の表現

本研究では入力画像から特徴点を検出し、特徴点の集合を特徴領域と定義する。まず、入力画像から特徴点を検出する。そして、ある特徴点の位置から別の異なる特徴点の位置までの距離 a が一定以下であった場合、2つの特徴点を1つのグループとする。同様にこのグループ内のいずれかの特徴点位置から a が一定以下の特徴点があった場合、3つを1つのグループとする。この処理を続けることで特徴点が密集している領域をひとつのグループとしてみなすことができる。そして、このグループ内の特徴点に外接する四角形を特徴領域とする。

3. ランドマークの収集

3.1 ランドマーク候補の抽出

入力画像から2.2節に示す方法で複数の特徴領域を得ることができるが、この中で特徴領域（面積 S ）が大きすぎるものや小さすぎるもの、特徴点数 k が一定以下のものを削除する。次に、特徴領域同士のマッチングを行う。マッチングにはSIFT特徴量[3]を用いる。SIFT特徴量は拡大・縮小、回転、照明変化に頑強であり、ロボットの走行位置や時間に依存しない特徴量を各特徴点に記述できるため、本研究ではこの手法を用いる。まず、2枚の画像からSIFT特徴量を求める。次に、2枚の画像（A：特徴点が少ない画像、B：特徴点が多い画像）間で、Aの各特徴量ベクトルとBのすべての特徴量ベクトルとのユークリッド距離 b を計算し、 b が最も小さい組み合わせで、かつ b の値が一定以下であればマッチしたとする。マッチした数 c が一定以上だった場合A、Bは類似しているとする。これをすべての特徴領域に対して行い、類似した特徴領域が存在した場合、2つの特徴領域を削除する。そして、特徴領域より少し大きい四角形 Q を入力画像から切り取り、それをランドマーク候補とする。これにより、周囲に類似したものがない、弁別性の高いランドマーク候補が得られる。図1に入力画像から得られたランドマーク候補の例を示す。円は特徴点を表し、四角で囲まれている領域がランドマーク候補となる。

3.2 ランドマークの選定

3.1節の方法で得られたランドマーク候補の選定を条件②、④に従い選定を行う。ある地点で位置、姿勢を少しずつずらして撮影した画像を合計 n 枚用



図1 入力画像から得られたランドマーク候補

意する. この n 枚の画像からそれぞれ 3.1 節の方法でランドマーク候補を抽出し, 自身を含むすべてのランドマーク候補に対しマッチングを行い, それぞれの類似している画像数 l を求める. 図2にマッチングの例を示す. 特徴点同士が線で結ばれている部分がマッチしている組である. その後, l が一定数以下の画像を削除する. これにより, 類似している画像の組み合わせが残り, この中から最も l が多いランドマーク候補をランドマークと決定する. l が同数の場合, 特徴点が最も多いランドマーク候補をランドマークと決定する. 他のものに隠れていたり, 場所により見え方が変わるランドマーク候補は l が少なくなる. このことから, 持続性の高いランドマークを選択することができる.



図2 ランドマーク候補同士のマッチング

4. ランドマーク選択実験

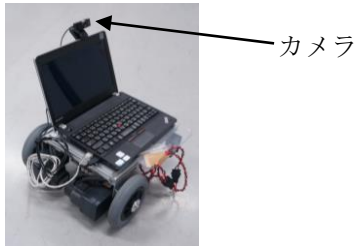


図3 実験機

実験機は図3のものを用いる. 走行環境は信州大学工学部自律知能システム研究室室内とする. 走行経路は図4の経路を設定した. この経路を走行し各地点に到達したときに1枚, その場で回転し1枚, 画像を撮影し, 1走行辺り合計7枚の画像が撮影できる. この走行を経路や角度をずらして8回の走行を行った. すべての画像を撮影後, 各地点で3.2節の方法でランドマークの選定を行った. 実験を行うにあたっての数値の基準は, 特徴点をグルーピングする際の特徴点間の距離の基準: $a \leq \sqrt{10}$, ランドマークを抽出する際の削除する基準 (画像の面積: $2500 \leq S \leq 40000$, 特徴点数 $a \geq 50$), ランドマーク候補として切り取る際の四角形 Q は特徴点が外接する四角形の一辺の長さを+10した四角形, マッチングの際の特徴量ベクトル間のユークリッド距離の基

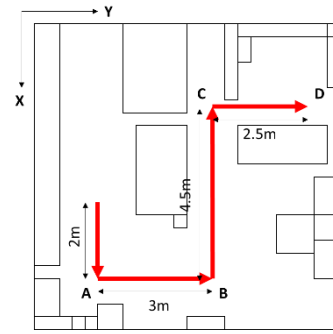


図4 研究室内の走行経路

準: $b \leq 120$, 類似したランドマークとするのに必要なマッチ数の基準: $c \geq 5 + (2 \text{ つ画像の特徴点の総数})/10$, 走行回数: $n = 8$, 類似したランドマーク数の基準: $l \geq 5$ と設定した.

実験結果を走行地点について表1にまとめた. 今回の実験では全226個のランドマーク候補から視認性を考慮したランドマークを10個選定することができた. 選択されたランドマークはすべて走行位置からある程度離れている部分であり, 結果として走行位置から遠く, 特徴点が集合している領域をランドマークとして選択することができた. しかし, 場所によってはランドマークを選定できない箇所も存在した.

表1 走行地点別に見た実験結果

走行地点	抽出したランドマーク候補数	選定したランドマーク数
A	39	2
	59	0
B	22	1
	54	5
C	34	0
	8	1
D	10	1

5. まとめ

本稿では, 視認性を考慮したランドマークの選定方法を提案した. そして, 実験を通して実際にランドマークの選定を行った. 今回の実験では表1より, ランドマークが選定できなかった地点があった. この問題を解消するために, 各数値の基準を調節して最終的にどの地点でもランドマークを選択できるようにすることが今度の課題となる.

参考文献

- [1] 小川陽子, 白井良明, 島田伸敬: “カメラ位置姿勢の高速な推定のためのランドマーク選択法と単眼視によるロボットのナビゲーション”, 日本ロボット学会誌 29(9), 811-820, 2011.
- [2] 友納正裕: “移動ロボットのための確率的な自己位置推定と地図構築”, 日本ロボット学会誌 29(5), pp. 423-426, 2011.
- [3] 藤吉弘亘: “Gradient ベースの特徴抽出 - SIFT と HOG -”, 情報処理学会 研究報告 CVIM 160, pp. 211-224, 2007.