

全方位カメラによる自律移動ロボットのための自己位置推定法

TOKUDA, Shinnosuke / 徳田, 真之佑

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013366>

全方位カメラによる自律移動ロボットのための自己位置推定法

A STUDY OF NEW LOCALIZATION METHOD USING OMNIDIRECTIONAL CAMERA FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

徳田真之佑

Shinnosuke Tokuda

指導教員 小林一行

法政大学大学院理工学研究科システム工学専攻修士課程

This paper describes the development of a self-localization for an autonomous mobile robot using an omnidirectional camera. An omnidirectional camera can acquire surrounding landmarks at one time without dead angle. By comparing a sequence of detecting landmarks in omnidirectional images, we rebuild a localized map for a self-localization of mobile robots. The validity of the proposed method is confirmed by actual experiment using a mobile robot in the outdoor environment.

Key Words : *Omnidirectional camera, Localization, Autonomous mobile robot*

1. はじめに

自律移動ロボットの研究・開発は、現在盛んに行なわれている研究の一つである。特に、実環境における技術研究はトピックとしての注目度が高く、国内では、つくばチャレンジ[1]、米国では、Intelligent Ground Vehicle Competition(IGVC)[2]などが開催され、自律移動ロボットのための技術開発および実証実験の場となっている。

そのような自律移動ロボットに必要な要素技術に、自己位置推定、環境認識などがある。自己位置推定の方法の一つとして、容易に絶対位置を求めることが可能なGPS、ジャイロセンサと速度計の値を積算するデッドレコニング法、LIDARを用いてマップを生成するSLAMなどがある[3]。環境認識は、全方位カメラやLIDARを用い、障害物と自律移動ロボットの位置の対応関係を認識する処理を行なう。このように、自律移動ロボットは目的とする機能に合わせて搭載するセンサが異なり、多機能を実現するためにはより複雑なシステムを構築する必要がある。

全方位カメラは色情報を取得することができるため、ロボットが自律動作するうえで必要な多くの情報を取得することができ、様々な機能の実装へ適用可能なデバイスである。一例として、われわれの研究チームはつくばチャレンジにおいて、街中における人物の探索、IGVCにおいて白線の認識などに全方位カメラを用いている。そこで、搭載するセンサが全方位カメラのみのシンプルなシステムの自律移動ロボットの開発を目標とし、自律移動

ロボットのための自己位置推定法を検討する。本研究における自己位置とは、2次元平面上で考えたときの座標および、ロボットの向いている進行方向角とする。全方位カメラは、双極面ミラーと垂直上向きのカメラから構成され、360度全方位が視野範囲となる。

2. 環境設定と問題の記述

Fig.1にIGVCのコースの環境を示す。IGVCは、芝生の上に白線で引かれたコース中に、バレルやコーンなどの障害物が多数存在している。これらは赤や黄色など、日常空間において色的特徴の大きいものであり、個別に検出することが可能である。本研究では、全方位カメラを用い、これら色的特徴の大きいものをランドマークとして検出し、自律移動ロボットの自己位置を推定する。



Fig.1 IGVC course

全方位カメラを利用する場合、設置している高さが既知であれば、地表の高さにおける自己から対象の物体ま

での距離を求めるスケールファクタの生成は可能である[4]。しかし、検出精度が解像度依存となってしまうため、性能の悪いカメラを用いる場合や遠距離にある物体の検出精度が低下してしまい、前述の手法ほどの精度を得ることは難しい。そこで、サンプリング間におけるロボットの自己位置の変化による、物体の観測方位に着目する。全方位カメラで撮影した際、地面に対して垂直に立っている物体は、画像中心側から放射状に延びた線分として撮影される。この性質を利用することにより、画像中から方位角ごとの色成分を計算することでランドマークの存在する方位角を検出することができる。時間経過により複数の観測点から同一の物体を観測し、対応付けすることができれば、三角視差的に物体の座標を求めることが可能となる。これを解決するための問題点を以下のように整理する。

- (P1) どのように進行方向角を求めるか？
- (P2) どのように画像からランドマークを検出するか？
- (P3) どのように自己位置座標を求めるか？

(P1)は、1 サンプリング前と現在の画像から差分を計算し、累積することで求める。

(P2)は、RGB 色情報から、画像処理により検出する。

(P3)は、検出した物体ごとの方位を時系列のデータとして記録し、推定する。

また、本研究を行なうにあたり、つぎの仮定を設ける。

(A1) 自律移動ロボットの走行環境は、常に 2 個以上のランドマークを観測可能なものとする。

(A2) 自律移動ロボットは床面上をなめらかに移動できるものとする。

以降で、(P1) ~ (P3)を解決する具体的な方法について述べる。

3. 提案する自己位置推定アルゴリズム

Fig.2 に示すように、サンプリングごとに画像を撮影し、繰り返し推定を行なうことにより、ロボットの自己位置とランドマークの存在する座標を求める。

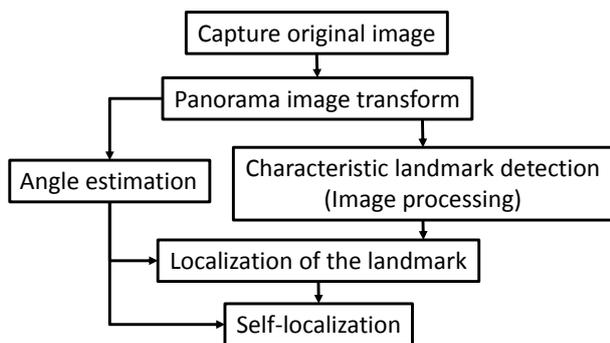


Fig.2 A process of proposed method

(1) 進行方向角の推定

全方位カメラにより撮影した画像は、横軸を θ [deg] としたパノラマ画像に変換する。Fig.3 に、全方位カメラで撮影した画像、Fig.4 にパノラマ画像および強度プロファイルデータを示す。強度プロファイルデータは、方位ごとに RGB 要素を積分した値である。1 サンプリング前の画像と現在の画像を強度プロファイルデータに変換し、相関を計算する手法[5]により、角度の差分を求め、累積することでロボットの進行方向角とする。

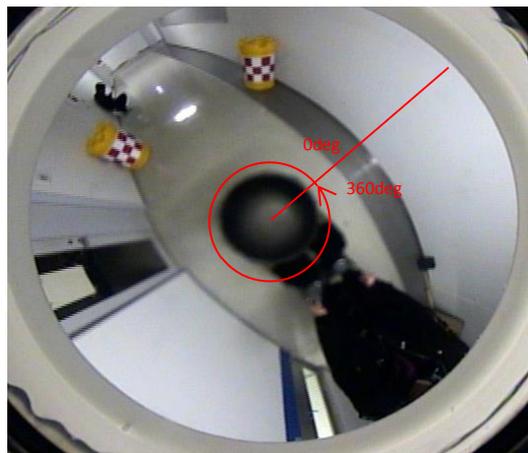


Fig.3 Omnidirectional camera image

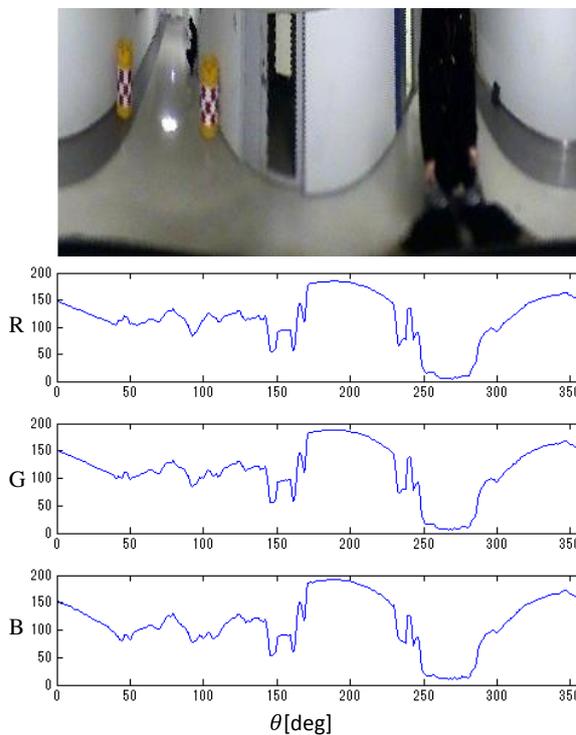


Fig.4 Panorama image and intensity profiles acquired along the circle

(2) 画像処理によるランドマークの検出

本研究では、ランドマークの観測方位のサンプリングごとの変化から、ランドマークの存在する座標を計算する。画像中の色的特徴量の大きいものをランドマークとして検出する場合、壁や地面など、画像中の割合を大きく占める物体はランドマークとなりにくく、また、画像は照明光による影響を受けるため、画像全体の特徴から大きく外れるものを検出する手法が望ましい。そこで、画像を構成する RGB 値を RGB 空間座標に分布し、RGB 分布の軸を推定する[6]。式(1)に RGB 空間座標を極座標系で表わす式を示す。RGB 値はそれぞれ最小値を 0、最大値を 255 の範囲で値をとる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \sin \theta \cos \varphi \\ r \sin \theta \sin \varphi \\ r \cos \theta \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} r \\ \theta \\ \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \\ \theta_{R,G,B} \\ \varphi_{R,G} \end{pmatrix} \quad (1)$$

RGB 値を極座標へ変換し、2つの偏角を RGB 分布の軸と比較することでランドマークを検出する。Fig.5 に RGB 空間座標における定義を示す。ランドマークは各偏角と軸の成す角がそれぞれ閾値を超えるものをランドマークとしている。後述の実験においては経験的に閾値を 3 度に設定している。

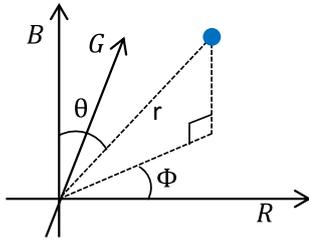


Fig.5 RGB coordinate

検出したランドマーク画像を強度プロファイルデータに変換し、ピークが存在する方位および、対応する RGB 値を記録した。時系列データ内から、ロボットの回転可能な範囲における、RGB 値が近い物体を同一ランドマークとする。

(3) ランドマークおよび自己位置の推定

Fig.6 にランドマークと自律移動ロボットの座標関係を示す。観測 $t(t=1,2,\dots,M)$ での絶対座標系における自律移動ロボットの自己位置座標を $(x(t), y(t))$ 、進行方向角を $\theta(t)$ とする。このとき、絶対座標系における i 個のランドマーク $(i=1,2,\dots,N)$ の座標を $(x_i(i), y_i(i))$ 、ランドマークの観測方位角を $\theta_i(i, t)$ とすると、つぎの関係が成立する。

$$\tan[\theta_i(i, t) - \theta(t)] = \frac{y_i(i) - y(t)}{x_i(i) - x(t)} \quad (2)$$

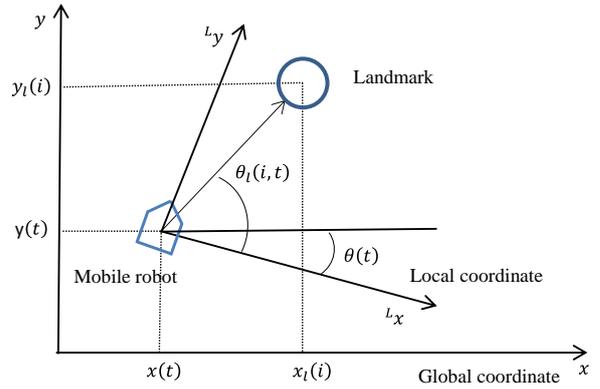


Fig.6 The coordinate system used in this paper

対象の観測方位角 $\theta_i(i, t)$ は計測することが可能であり、 $\theta(t)$ は、先述の進行方向角推定により既知である。そのため、未知の変数は $x(t), y(t), x_i(i), y_i(i)$ となる。ここで、 $t=1$ においてロボットに指定距離直進などの再現性の高い動作をさせるものとする。これにより、 $x(t), y(t)$ の初期値が定まり、式中の未知数は 2 つとなる。これにより $t=1$ 時点では観測点数が 2 つとなるため、式(2)を解くことでランドマークの座標を求めることが可能である。つぎの観測時に既知のランドマークを再び 2 つ以上観測することができれば、同様に自己位置を推定することが可能である。

実際は観測値に誤差が含まれるため、観測数を増やし、Nelder-Mead 法を用いて求める[7]。 i 番目のランドマークの座標を求めるとき、目的関数値 $f(X)$ はつぎのように定義される。

$$X = [x_i(i), y_i(i)]$$

$$f(X) = \sum_i \left| \frac{y_i(i) - y(t)}{x_i(i) - x(t)} - \tan[\theta_i(i, t) - \theta(t)] \right|^2 \quad (3)$$

これを繰り返すことで、ランドマークの地図およびロボットの自己位置の推定が可能である。

現在検出したランドマーク中に観測点数が充分得られ、推定位置精度が高いランドマークが含まれる場合、自律移動ロボットの進行方向角の推定を行なう。これにより、既述の推定法が差分の累積によって求めているため生じた、累積誤差を打ち消す。自律移動ロボットの現在位置とランドマークの位置が既知の場合、式(3)中の未知数は進行方向角のみとなるため、

$$X = [x(t), y(t)] \quad (4)$$

とし、式(3)により目的関数値が定義され、Nelder-Mead 法により同様に推定することができる。

4. 実験

本研究では、Fig.7 に示すようなバレルやコーンなどの色の特徴量が高いランドマークが存在する環境での実験実験を行なった。Fig.8 に実験で仕様した自律移動ロボットを示す。この自律移動ロボットは上部に CCD カメラ (SONY 製 EVI-370)と双曲面レンズを組み合わせた全方位カメラが搭載されている。また、自己位置推定用センサとして、ジャイロセンサ(日本航空電子製 JG-35FD)、ロータリエンコーダを使った 2 つの車輪速度計を搭載している。ほかに、障害物検出に用いる LIDAR(北陽電気製 UTM-30LX)を搭載しており、サンプリング周期は 200ms とした。



Fig.7 Experimental environment

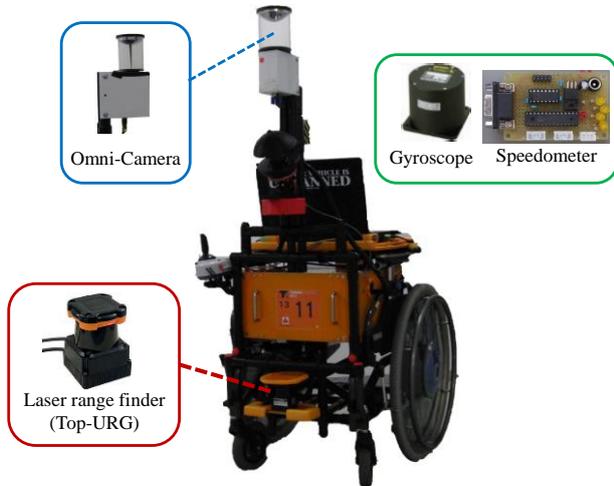


Fig.8 Experimental mobile robot platform

自己位置とランドマークの位置推定結果の精度を比較する対象として、ロボットの自己位置はジャイロセンサと車輪系速度計を用いたデッドレコニング法により求める。また、ランドマークの位置は LIDAR により取得した座標を記録した障害物地図と比較する。障害物地図は 1pixel あたり $5 \times 5\text{cm}$ の、2 値データとして記録する。自己位置およびランドマークの推定結果を Fig.9, Fig.10 に示す。

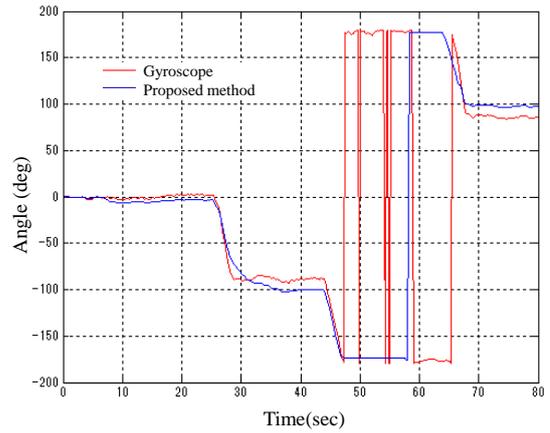


Fig.9 Result of the angle estimation

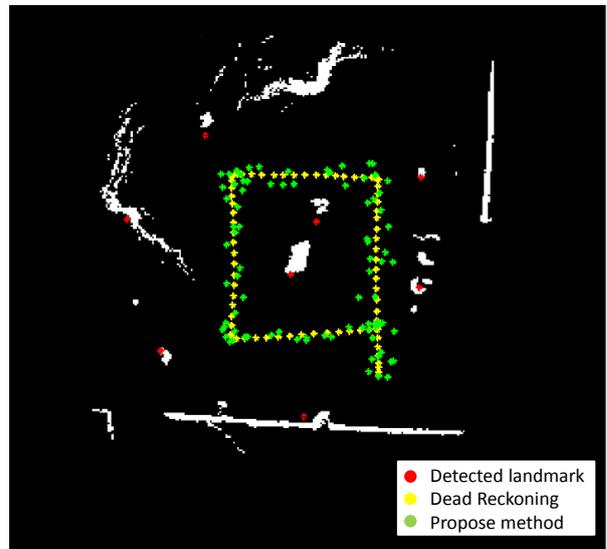


Fig.10 Result of the position estimation

黄点はデッドレコニング法による移動軌跡、白点は障害物の存在箇所、赤点は推定したランドマークの座標、緑点は推定したロボットの移動軌跡であり、それぞれ推定することができる。

5. おわりに

本研究では全方位カメラを用い、自律移動ロボットの自己位置推定法の一提案を行なった。物体の観測方位に基づき、複数の観測地点から同物体を検出することにより、ランドマークの座標および自律移動ロボットの自己位置を推定した。

カメラを用いて自己位置推定を行なうことにより、搭載するセンサを減らし、よりシンプルなシステム構成が可能になったと考えられる。

参考文献

- 1) S. Yuta, M. Mizukawa, H. Hashimoto and H. Tashir : An open experiment of mobile robot autonomous navigation at the pedestrian streets in the city — Tsukuba Challenge, Proc. of the 2011 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation, pp. 904-909, 2011

- 2) IGVC– Intelligent Ground Vehicle Competition Website,
<http://www.igvc.org/>
- 3) Daobin Wang, Huawei Liang, Tao Mei, Hui Zhu, Jing Fu and Xiang Tao, “Lidar Scan Matching EKF-SLAM Using the Differential Model of Vehicle Motion”, Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE, pp 908-912, 2013
- 4) Kobayashi K, Watanabe K, Ohkubo T and Kurihara Y, “A study of Lane Detection Algorithm for Personal Vehicle”, The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. C, A publication of Electronics, Information and System Society 129(3), 497-504, 2009-03-01
- 5) Kobayashi K, Amemiya M and Watanabe K, “Absolute speed estimation from sequential frames of omni-directional image”, SICE 2003 Annual Conference (Volume:1), pp.30-33 Vol.1, 2003
- 6) 齊藤秀幸, “人間の視覚特性を模倣した自律移動ロボットのための画像処理に関する提案”, 法政大学大学院紀要(理工学・工学研究科編), 2015
- 7) Lagarias, J.C., J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright, “Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions” SIAM Journal of Optimization, Vol. 9 Number 1, pp. 112-147, 1998.