

# 移動ロボットの汎用基本ソフトウェアモジュールの開発

## - 大域的自己位置推定モジュールの実装と評価 -

Development of Generic Software Module for Mobile Robot  
- Implementation and Evaluation of Global Localization Module -

山田 大地 (富士ソフト)      石田 卓也 (富士ソフト)  
岡村 公望 (富士ソフト)      正 大矢 晃久 (筑波大学)  
正 油田 信一 (筑波大学)

Taichi YAMADA, FUJISOFT INCORPORATED, 1-1 Sakuragi-cho, Naka-ku, Yokohama-shi Kanagawa  
Takuya ISHIDA, FUJISOFT INCORPORATED  
Kimimochi OKAMURA, FUJISOFT INCORPORATED  
Akihisa OHYA, Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba  
Shin'ichi YUTA, Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba

We're developing generic software modules for mobile robot in "Intelligent RT Software Project". In this paper, we introduce global localization module. This module provides some functions for software implementation of global localization. We present the architecture and implementation of this module.

*Key word:* mobile robot, software module, global localization

## 1 はじめに

我々は経済産業省(平成20年度からはNEDO)が実施する「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」においてサービス産業分野での移動ロボットの汎用基本ソフトウェアモジュールの開発に取り組んでいる。本モジュール開発では人や障害物が存在する実環境中で目的地に到達するために、ロボットが人や障害物に衝突することなく移動するための汎用的な機能を提供するモジュールの開発を目的とし、自己位置の管理や、走行の制御などの機能を提供するモジュールを開発している。

本稿では、我々が開発を進めている大域的自己位置推定モジュールの基本設計と、スキャンマッチングを用いた大域的自己位置推定のモジュール実装について述べる。

## 2 大域的自己位置推定モジュール

大域的自己位置推定の実装はロボットの筐体や走行する環境によって様々な方法が考えられ、これによりソフトウェアの実装も異なる。しかし、個々のロボットに対してソフトウェアを実装することはコストがかかり実用化において大きな問題となる。

そこで我々は、大域的自己位置推定モジュールの基本設計として機能要件とモジュールの実装における機能の粒度について検討した。必要な機能を適当な粒度で実装することで機能の追加, 変更, 保守が容易となり, 共通する機能の再利用が可能となることが期待できる。

大域的自己位置推定には大きく分けて、自己位置を推定するため環境を認識する機能と、現在の周辺環境の観測をもとに自己位置として可能性が高い位置・姿勢を選出する機能(以下、自己位置候補の選出)が必要と考えられる。ここで大域的自己位置推定モジュールは自己位置候補の選出を対象とし、基本設計として自己位置候補の生成, 修正, 評価, 絞込みの機能を提供するものとした。

### 2.1 スキャンマッチングを用いた大域的自己位置推定モジュール

本節では大域的自己位置推定モジュールの基本設計に従って実装したスキャンマッチング<sup>1)</sup>を用いた大域的自

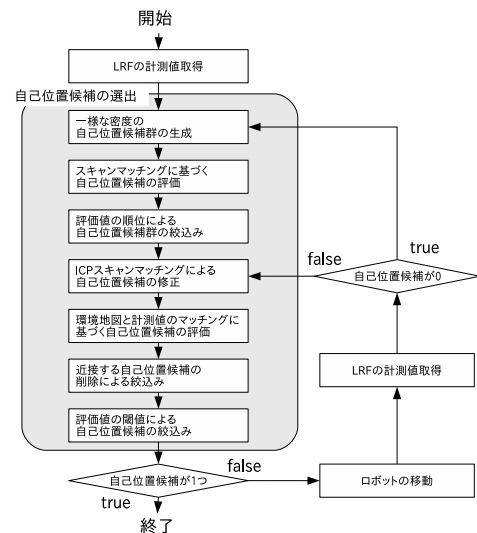


Fig. 1 スキャンマッチングを用いた大域的自己位置推定アルゴリズム

己位置推定モジュールについて述べる。Fig.1はスキャンマッチングを用いた大域的自己位置推定のアルゴリズムである。ここで、センサにはLRF(Laser Range Finder)を用い、環境地図には走行経路周辺におけるLRFの計測値をポイントクラウドで用いる。本アルゴリズムでは環境の計測、自己位置候補の選出を繰り返す。本アルゴリズムにおける自己位置候補の選出では初期に環境中に多数の自己位置候補を生成し、これらをもとに自己位置として可能性が高いものを複数(0や1の場合もある)出力する。出力が複数ある場合はロボットが移動し、LRFの計測値を取得する。取得したLRFの計測値を用いて残った自己位置候補をさらに絞り込む。これらを繰り返す、最終的に自己位置候補が1つに絞り込まれたとき、この自己位置候補を自己位置として終了する。モジュールには自己位置候補の選出に用いる機能として以下の機能を実装した。



Fig. 2 センサ「URG(UTM-30LX)」を搭載した自律移動ロボット「beego」

- 自己位置候補の生成  
自己位置として可能性がある位置・姿勢を生成する
  - － 一様な密度の自己位置候補群の生成  
任意の範囲に対して一様な密度で複数の自己位置候補を生成する．任意の辺の長さの三角格子の格子点の位置に任意の角度毎の姿勢の自己位置候補を生成する
- 自己位置候補の修正  
センサの計測値や移動差分等をもとに自己位置候補の位置・姿勢を変更する
  - － ICPスキャンマッチングによる自己位置候補の修正  
計測値と環境地図をもとに自己位置候補が示す位置・姿勢を初期値としてICP(Iterative Closest Point)スキャンマッチングにより局所的自己位置推定を行い、各計測点と環境地図がマッチする位置・姿勢に自己位置候補を修正する
- 自己位置候補の評価  
センサの計測値と自己位置候補周辺の環境との整合性を評価し、評価値を求める
  - － 環境地図と計測値のマッチングに基づく自己位置候補の評価  
自己位置候補周辺の環境地図とLRFの計測値がマッチング可能か評価する．評価値は計測値に対する環境地図の最近傍点までの距離の平均値とする．
- 自己位置候補の絞り込み  
自己位置候補の位置・姿勢や評価値をもとに自己位置として可能性の高い自己位置候補を絞り込む
  - － 評価の順位による自己位置候補の絞り込み  
評価の高い順に任意の数だけ絞り込む
  - － 近接する自己位置候補の削除による絞り込み  
近接する複数の自己位置候補のうち、評価の高い候補1つに絞り込む．自己位置候補間の距離と姿勢の差分が閾値以下の場合、近接すると判断する
  - － 評価値の閾値による自己位置候補の絞り込み  
評価値の閾値を満たす自己位置候補に絞り込む

### 3 評価実験

大域的自己位置推定モジュールの評価としてスキャンマッチングを用いた大域的自己位置推定モジュールを用いた自己位置の選出の評価を行った．オフィス環境(およそ  $11.2 \times 7.5[m^2]$ )で人などの動的要素がない状態の計測値を用いて自己位置候補の選出を行い、真値に十分近い自己位置候補が出力されているか、出力された自己位置候補の数を評価した．

あらかじめ、人がロボットを操作して実験環境のLRFの計測値を収集し、オドメトリの計測値をもとにICPスキャンマッチングを用いてそれぞれの計測値をつなぎ合わせ環境地図を作成した．また、十分に時間が経過した後と同様にして実験データとして無作為に選んだ35箇所における計測値を収集した．ロボットの筐体には「beego」、センサに

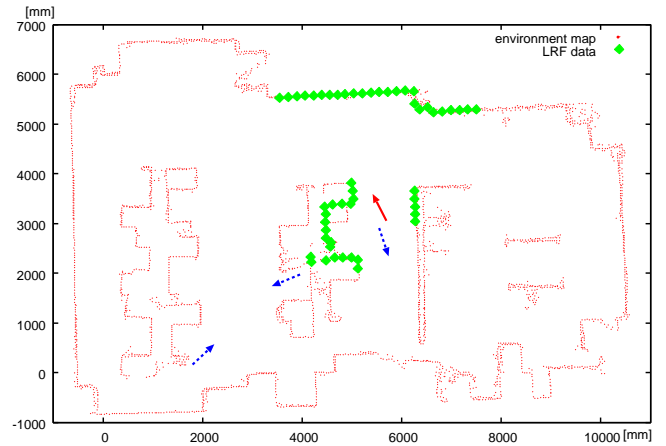


Fig. 3 オフィス環境における大域的自己位置推定モジュールの評価実験結果

Table. 1 実験に用いた各機能のパラメータ

生成	密度	格子辺の長さ 520[mm], 18[deg] 毎
絞り込み	順位	80
	近接判定の閾値 評価値の閾値	距離:150[mm], 角度:4.5[deg] 100[mm] 以下

は「URG(UTM-30LX)」(Fig.2)を用いた．自己位置候補の生成には密度のパラメータとして、格子辺の長さや角度の間隔を指定する必要がある．自己位置候補の絞り込みにおいては手法に応じて、絞り込む評価の順位、近接を判定するための距離と角度の閾値、評価値の閾値を必要とする．本実験では経験的に求めたパラメータ(Table.1)を用いた．

#### 3.1 実験結果

Fig.3に実験結果の1例を示す．図中の点群は環境地図であり、矢印は出力された自己位置候補である．矢印のうち実線のは評価が最も良い自己位置候補である．はLRFの生の計測値を評価が最も良い自己位置候補の位置・姿勢に当てはめたときのプロットであり、この自己位置候補の位置・姿勢において計測値が環境地図とマッチングしていることが確認できる．このような真値に十分近い自己位置候補が35箇所すべての出力に含まれていた．また、出力された自己位置候補の数は最大で16、平均は2.43であった．これらの結果より、複数の計測値を用いて自己位置の選出を繰り返せば、本モジュールを用いて大域的自己位置推定が可能であると期待できる．

#### 4 おわりに

本稿では、次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの中で我々が開発を進めている移動ロボットの汎用基本ソフトウェアモジュールのうち大域的自己位置推定モジュールについて述べた．今後はこの大域的自己位置推定モジュールを用いて大域的自己位置推定を行うロボットソフトウェアの設計と実験を行う予定である．

#### 参考文献

- 1) 石岡他：“オドメトリとLRFのスキャンマッチングを用いた移動ロボットの確率的自己位置推定とマップ構築”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1P1-L1-74 (2004)
- 2) 友納他：“スキャンマッチングによる移動ロボットのマップ構築と大域的自己位置推定”，第9回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, 1B2, pp.32-37 (2004)