

移動ロボット用基本知能のモジュール化

一次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける取り組み

○油田信一、大矢晃久(筑波大学) 吉田光治、岡村公望(富士ソフト(株))

Development of Fundamental Software Modules for Mobile Robots

*Shin'ichi Yuta, Akihisa Ohya (Univ. of Tsukuba)

Mitsuharu Yoshida, Kimimochi Okamura (Fujisoft Inc.)

Abstract — The development of the fundamental software modules for mobile robots is presented in this report. This is a part of the METI project “Technology development of robot intelligence for next generation”. We’re aiming to develop reusable software and to open software business in future.

Key Words: Mobile Robot, Software Module, RT Component

1. はじめに

人間共存環境を含めた実環境で活動するロボットの実現を目指して、平成 19 年から 5 年間の計画で、経済産業省（平成 20 年度からは NEDO の委託事業）の次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトが進められている。我々のグループも「移動知能（サービス産業分野）の研究開発」に採択されて、移動ロボット用基本知能のモジュール化に取り組んでいる。

具体的には、人や障害物が存在する複雑な実環境中で、ロボット自身の位置・姿勢を認識し、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなくロボットが移動するための汎用的な移動知能モジュール群の開発を行うものである。図 1 に、実現したいロボットと、それが有すべき機能を示す。

本稿では、本プロジェクトにおける我々のグループの取り組みについて紹介する。

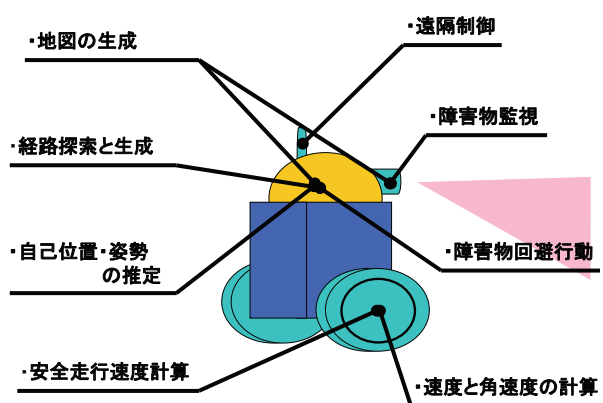


図 1 実現したいロボットと有すべき機能

2. 研究開発の概要

本研究開発で構築しようとしている知能モジュ

ール群は、図 2 に示すように地図生成モジュール、経路計画モジュール、自己位置認識モジュール、障害物回避モジュール等から成り、これらのモジュールを有機的に結合させることにより、移動ロボットの自律走行が可能になるものである。そして、これらを多くの移動ロボットに利用可能なソフトウェアモジュール群として市場に供給することを最終的な目的としている。

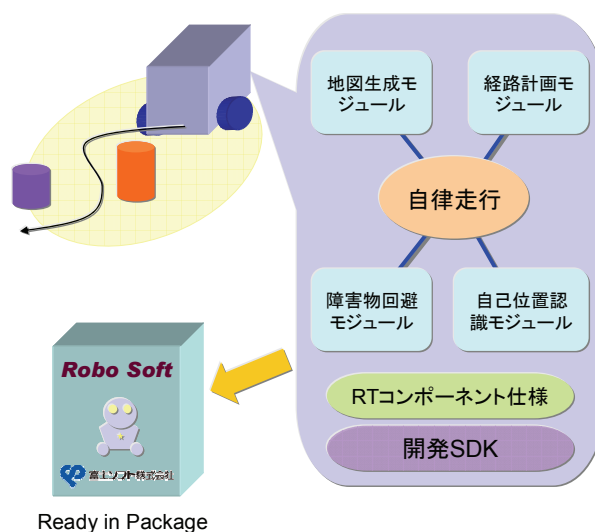


図 2 開発するロボットモジュールの概要

筑波大学知能ロボット研究室では過去 20 年に渡って移動ロボットの研究開発を行い、多くの経験を蓄積して来た。一方、富士ソフト(株)は独立系のソフトウェア会社であり、とくに、組込み・制御系ソフトウェアの開発とその販売・メンテナンスに関する経験を有している。

本研究開発は、筑波大学と富士ソフト(株)が協力して、移動ロボットにターゲットを絞って、システムとしてのロボットに必要な先端的かつ汎用のソフトウェアモジュール群を開発することを目的とする。すなわち、筑波大学が従来の研究成果をベースに学会における他の先端技術も取り込んでモ

ジュール群の仕様とアルゴリズムを定めて基本設計を行い、これを富士ソフト(株)が実装する、という役割分担によって、産業界、とくにロボットメーカーやシステムインテグレータが求める移動ロボット用ソフトウェアモジュール群を開発し、これを世に出してゆこうとするものである。

ロボット用ソフトウェアモジュールがビジネスに使われるためには、そのプログラムがバージョンアップされながら継続して提供され続けること、および提供後のメンテナンス等の体制がとくに重要である。そのためには、(研究機関でなく)企業(ソフトウェアベンダー)が熱意と責任を持って販売・サポートする体制を構築する必要がある。我々のグループでは、それを目指して富士ソフト(株)がその役割を担うべく、ソフトウェアの開発を担当している。

本研究開発のポイントをまとめると、以下のとおりである。

1. 自律移動機能のための汎用モジュール開発
2. 追加・削除が容易なモジュール構造の構築
3. 開発アルゴリズムの既研究による裏付け
4. ロボット用ソフトウェアビジネスの新興

3. 開発する知能モジュール

現時点で計画しているモジュール群の構成を図3に、概要を以下に示す。この仕様及び機能の分割については、十分な再検討を行いながら開発を進め、移動ロボットの開発・製品化を行おうとするメーカーやシステムインテグレータにとって使い易いミドルウェアの実現を目指している。

3.1 自己位置認識に関するモジュール群

3.1.1 内界センサによるロボットの自己位置・姿勢トラッキングモジュール

車輪回転などの各種内界センサから得られる情報を基に、移動するロボットの自己位置・姿勢をトラッキングする。また、誤差を確率的に扱うためトラッキングして推定する自己位置・姿勢の推定誤差の共分散行列も常時計算する。

3.1.2 外界センサによるロボットの環境内絶対位置情報取得モジュール

各種の外界センサから得られる情報を記憶している環境地図情報と比較することで、地図中での自己位置・姿勢を推定する。

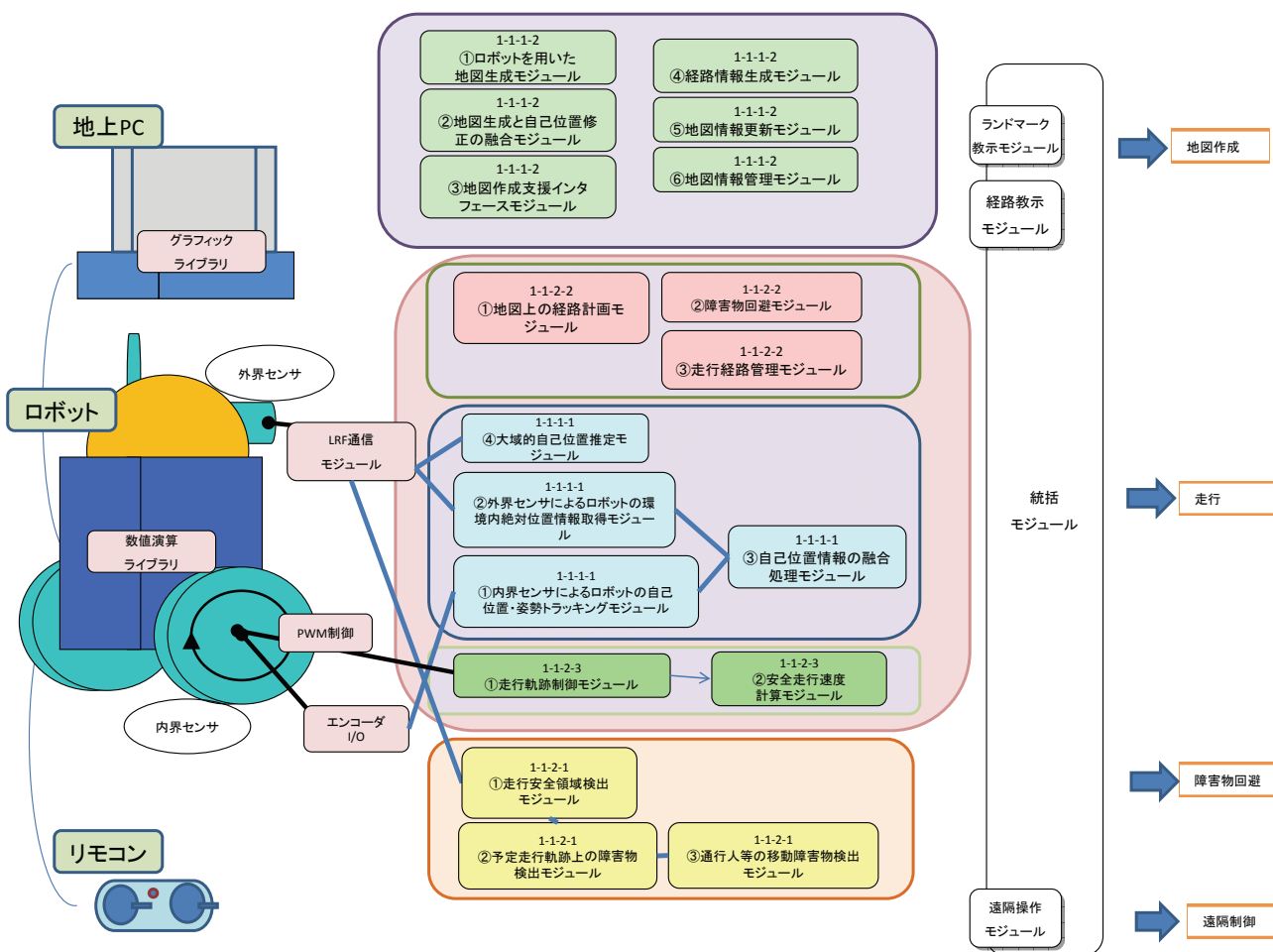


図3 開発するモジュール群の構成

3.1.3 自己位置情報の融合処理モジュール

“内界センサによるロボットの自己位置・姿勢トラッキングモジュール”で連続的に計算している推定自己位置には累積誤差が生じる。そこで、この自己位置と“外界センサによるロボットの環境内絶対位置情報認識モジュール”から得られる情報とを融合し、累積誤差を吸収する計算を行う。本モジュールでは、推定自己位置とその誤差分散を用いて、ベイズ推定及びカルマンフィルタの枠組みにより、最尤推定を行う。

3.1.4 大域的自己位置推定モジュール

環境中でロボットが初めて電源を入れられた時、若しくは強制的に移動させられるなどして自己位置・姿勢が解らなくなった時に、環境地図内での自己位置・姿勢を認識する。

3.2 自己位置認識に関するモジュール群

3.2.1 ロボットを用いた地図生成モジュール

ロボットが移動しながら得られるセンサデータを蓄積していくことにより、環境地図を生成する。ロボットが行動する環境中を予め走行させて、自己位置認識モジュールから得られる現在自己位置・姿勢を用いてセンサデータを蓄積することにより、環境の地図、又はランドマーク地図を生成する。

3.2.2 地図生成と自己位置修正の融合モジュール

地図生成は、移動していくロボットの自己位置・姿勢を基にセンサデータを蓄積することにより行われる。一方で、自己位置はセンサデータを地図と比較することで累積誤差の除去が行われる。従って、最初に地図を作成する時にも、自己位置の推定と地図の生成を同時に行わなくてはならない。これはSLAM (Simultaneous Localization And Mapping) と呼ばれる技術である。このモジュールは、地図生成のためにロボットが移動していく際の自己位置認識に、その時点での生成中の地図情報を利用することでSLAMを実現し、矛盾の無い地図を生成する。

3.2.3 地図作成支援インタフェースモジュール

ロボットを用いて生成された地図情報をユーザが利用可能とするためにオペレータが情報を拡充補正するためのインタフェース機能を提供する。

3.2.4 経路情報生成モジュール

上記で生成した環境地図データから、ロボットが走行可能な経路区間を単位とする地図表現を生成する。このモジュールにて走行可能な領域をネットワーク状に表現し、交差点をノード、交差点間をつなぐ経路区間をアークとしたグラフ構造で表す。各ノードには地図座標形上での位置を持たせておく。

3.2.5 地図情報更新モジュール

ロボットが実行時に得たセンサデータが、与えられた地図と異なる場合、あるいは、新しい環境情報が得られた場合、これを利用して地図情報の修正・更新を行う。また、予め準備されている地図を利用しつつも、ロボットに稼動中に更に“ロボットを用いた地図生成モジュール”により、ロボット自ら地図を生成させる場合、新たに得たセンサ情報を用い

て事前に準備された地図を修正・更新する。

3.2.6 地図情報管理モジュール

ロボットが利用する地図を管理するために地上のサーバに置かれるプログラムである。“ロボットを用いた地図生成モジュール”、“地図生成と自己位置修正の融合モジュール”、“地図作成支援インタフェースモジュール”で作成された地図に対し、実行時に蓄積されたセンサ情報と“地図情報更新モジュール”の機能を用いて修正・更新を行い、その修正・更新について履歴管理を行う。

3.3 人・障害物認識に関するモジュール群

3.3.1 走行安全領域検出モジュール

ロボットが目的地まで走行する過程で、走行経路情報が事前に得られていない状況、若しくは予定経路が障害物等のために走行不可能である時等はロボット自らのセンサで随時走行可能領域を検出し、中期的な走行経路を新たに計画する必要がある。本モジュールは、そのための安全に走行が可能な領域の検出を行う。

3.3.2 予定走行軌跡上の障害物検出モジュール

計画されたとおりに走行をしている場合等、予定走行経路が決まっている状況では、ロボットの通過予定軌跡上に障害物があるかどうかを判断することは効率の良い障害物検出のキーである。本モジュールでは、比較的高速で走行している状況で予定された経路上に障害物があるかどうかを検出する。

3.3.3 通行人等の移動障害物検出モジュール

人が往来する環境中で衝突することなく移動するために、移動障害物の位置・動きを検出する。

3.4 動的経路計画に関するモジュール群

3.4.1 地図上の経路計画モジュール

目的地を与えると、地図情報管理モジュールからロボットに与えられている経路地図情報に基づき、現在地から目的地までの適切な経路を求めて出力する。

3.4.2 障害物回避モジュール

走行安全領域検出モジュールの出力情報を利用して、障害物を安全に回避するための局所的な経路を出力する。移動障害物を回避する必要が生じた場合には、障害物の動きを予測し、安全に回避するための局所的な経路と、安全な走行速度を出力する。

3.4.3 走行経路管理モジュール

ロボットの走行予定経路の情報を常時管理し、大域的な経路、及び局所的な経路が生成、若しくは更新される度に予定経路情報を書き換える。

3.5 安全移動制御に関するモジュール群

3.5.1 走行軌跡制御モジュール

ロボットの現在位置と走行すべき予定経路を与えると、ロボットが走行すべき詳細で具体的な軌跡を生成して、更に、ロボットの走行をその通り制御する。

3.5.2 安全走行速度計算モジュール

ロボットの目標移動速度と、上記の走行軌跡制御モジュールから出力される目標軌跡に対して、ロボ

ットのキネマティクス及び制御性能、並びに、前述した通行者等の移動障害物検出モジュールの能力等に基づいて安全な走行速度を決定する。

3.6 その他のモジュール群

3.6.1 統括制御モジュール

開発する知能モジュール群が有機的に接続されて、全体として意味のあるロボットの自律行動を生成させるために、予め定めた実験・評価環境と実現すべきタスク毎にロボット全体を統括して制御するプログラムのサンプルをいくつか開発する。

3.6.2 遠隔操作モジュール

地図を生成させたり、走行経路を教示したりする場合に、ロボットを遠隔から又は近くでジョイスティック等を用いてマニュアルコントロールして走行させる。

3.6.3 経路教示モジュール

ロボットが自律的に動作する際に走行すべき経路を、オペレータにより教示する。

3.6.4 ランドマーク教示モジュール

ロボットが自律的に走行する際に、自己位置認識モジュールが用いるランドマークを人間が予め指定する。

4. 開発モジュールの評価

モジュール開発においては、まず働かせる環境を十分に考慮したテスト用環境を構築して、モジュール毎にテストと評価をしつつ実装を進める。開発したモジュール群は、それらを利用したロボットシステムを構築して実際の様々な屋内外の環境を移動させる実験を行い、全体システムにおける各モジュールの有効性を検証する。また、ポテンシャルユーザである国内のロボットインテグレータへ提供して評価依頼し、その評価をモジュールの仕様検討と開発に反映させることを検討している。

開発する知能モジュールの開発と動作確認のためには、屋内用と屋外用の移動ロボット台車に、測域センサと走行制御コントローラおよび全体の行動制御コントローラを搭載したロボットを準備する。図4に、用意した屋内用移動ロボットプラットフォームを示す。このプラットフォーム上で試作モジュールの動作を確認し、修正、改良を行っていく。

なお、自律移動ロボットに実際の遊歩道で長距離に渡って自律走行させる公開の公道実験として、平成19年秋より全国の研究者が参加してつくば市で開催されている“つくばチャレンジ”などの機会をとらえて成果を公開する予定である。これにより知的な移動行動を実現するロボットのためのソフトウェアとしてデファクトスタンダードとなることを目指す。また、開発するモジュール群は、経済産業省が推進しているRTコンポーネント仕様へも対応させ、国際的なマーケットへ供給することを目指す。

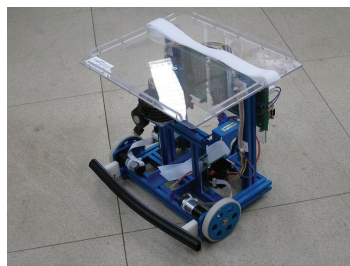


図4 実験用移動ロボットプラットフォーム

5. 成果の公開

開発する知能モジュールについて、その仕様や α バージョンのソフトウェアを公開するためのWebサーバ環境を整備し、図5に示すように成果物の公開を行っている。URLは以下のとおりである。

<http://www.roboken.esys.tsukuba.ac.jp/~fsi/>

このWebサーバを通して、今後も開発したモジュールや情報の公開を行い、ポテンシャルユーザを開拓して、ユーザからの問い合わせや、それに対する回答、ユーザに有用な情報の公開も行っていく予定である。



図5 開発モジュール公開用ホームページ

6. まとめ

本稿では、経済産業省（平成20年度からはNEDOの委託事業）の次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトの中で、我々のグループが進めている移動ロボット用基本知能のモジュール化についての取り組みを述べた。

今後も、再利用可能な形でソフトウェアモジュールの開発を進め、提供可能になり次第、順次公開を行っていきたい。