

富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジ 2010 への取組み

富士ソフト (株) ○山田 大地, 石田 卓也, 関口 誠, 岡村 公望, 福永 和海,
筑波大学 大矢 晃久

The activity of FUJISOFT-Univ. of Tsukuba joint team towards the RWRC2010

○ Taichi Yamada, Takuya Ishida, Makoto Sekiguchi,
Kimimochi Okamura and Kazumi Fukunaga, FUJISOFT Inc.
Akihisa Ohya, Univ. of Tsukuba

Abstract: We are developing intelligent software modules for mobile robots in “Intelligent RT Software Project.” RWRC2010 (“Tsukuba Challenge2010”) is an ideal environment for evaluation of the modules in outdoor. We introduce our approach to RWRC2010 in this report.

1. はじめに

サービス産業で利用されるロボットの基本機能として、人のいる環境にて自律的に移動できることが重要となる。筑波大学と富士ソフトのチームは、経済産業省(平成 20 年度からは NEDO)からの委託事業である「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知能基本モジュールの開発を進めている[1]。

我々は、移動知能基本モジュールの動作評価を行う実証試験の場所として最適な屋外環境が提供される「つくばチャレンジ 2010」に参加することとした。外界の環境をどう認識し、障害物をどう安全に避けるかはロボットの完成体の動作であるとともに、プロジェクトで開発している各モジュールの機能・性能を評価することにもつながる。我々はプロジェクトで開発したモジュールを用いて、昨年度「つくばチャレンジ 2009」において高所の形状特徴による自己位置の補正と障害物への対応を実現し、完走した[2]。

「つくばチャレンジ 2010」ではより多様な環境での走行を目指し、昨年度の走行戦略の評価と自己位置の同定の強化に取り組む。本稿では、開発したモジュールを利用していかにリアルワールドでの自律走行に挑戦していくかを報告する。

2. つくばチャレンジ

つくばチャレンジ [Real World Robot Challenge (RWRC)] は、実際に人が生活する街の中で、自律型ロボットが『安全かつ確実に動く』ことを目指す技術チャレンジである[3][4]。

昨年度のつくばチャレンジ 2009 の課題は、「つくば中央公園」内を周回する 1km 強のコースを走行するものであった。コースとなる遊歩道は主に散策の歩行者や自転車用であり、道幅はおよそ 8~15m で左右や中央に街路樹や植え込みなどがある。100m 程度のトライアルコースを通過できたチームが本線に進むことが出来る。つくばチャレンジ 2009 にて完走を果たしたチームは、5 チームであった。

本年度のつくばチャレンジ 2010 の課題は、「つくばエキスポセンター」を出発し、「つくばサイエンスインフォメーションセンター」をゴールとする 1.1km 強の

コースを走行するものである。コース上には遊歩道に加え、建物に囲まれた空間や高所に形状特徴が少ない空間、人や自転車の通行が多い部分などが存在しており、昨年度よりコース上に多様な環境があるといえる。

3. つくばチャレンジ 2009 における挑戦結果

走行の基本戦略としては、事前に走行するための経路を地図上で指定する地図ベース走行を基本とした。

3.1. 自己位置の同定

地図ベース走行ではロボットの自己位置の精度が重要となる。自己位置は、車輪のエンコーダ値を積算する自己位置推定機能により求め、さらに外界センサのデータから、ICP スキャンマッチングを用いて自己位置を補正する自己位置補正機能の組み合わせによって同定する。

ICP スキャンマッチングを用いた自己位置補正機能では、事前に取得する環境地図と走行中に取得する周辺形状に差分が発生すると誤ったマッチングを起し、補正に誤りが生じる可能性がある。ロボットの周囲をギャラリーや他の参加ロボットに囲まれ、周辺環境をスキャン出来なくなると自己位置の補正精度が低下してしまう。そこで、レーザスキャナのスキャン面が水平ではなく斜め上方へ傾くように設置した。これによりギャラリーや他の参加ロボットの頭越しに街路樹等高所の形状特徴を取得できるようになり、自己位置補正機能の性能の安定を図った。スキャン面を傾けるため、3次元の点群を取得するが、任意の高さから 10cm の範囲の点群のみを抽出し、高さ成分を無視して 2次元のマッチングを行った。ここで、1 スキャンでは任意の高さから 10cm の範囲においてマッチングのために十分な量のデータが得られない。そこで自己位置をもとに過去 30 回(約 12m 分)のスキャンデータを結合し、ICP スキャンマッチングへの入力とした。

3.2. 障害物への対応

我々は昨年度、障害物回避モジュールの開発を行い[5]、開発したモジュールを組み込み「つくばチャレンジ 2009」に挑戦した。

開発した障害物回避モジュールは、レーザスキャナから取得する周辺形状から予定走行経路上の障害物を検出する。予定走行経路上に障害物があると減速し、

ある程度間隔をあけて停止する。その後障害物が解消されない場合は局所的に経路を探索し、障害物の横を通過するような走行を実現する機能を提供する。

この障害物回避機能は指定された経路の道幅を考慮し回避経路を探索する。このため障害物を回避しようとしてコースをはずれて走行することなく安定した走行を実現できた。

3.3. 走行結果

合同試走会にて 11 回の連続完走を果たした。本走行では終始安定して走行し、28 分 07 秒で完走した。

4. つくばチャレンジ 2010 への挑戦

4.1. ハードウェア構成

4.1.1. 移動ロボット台車

移動ロボット (TFUS と命名) は既成の台車 (移動ロボット研究所製) をもとに、センサやノート PC 等を搭載する構造を追加した。概観を Fig.1 に示す。TUFUS は屋外走行するため、多少の路面段差に対応するために左右の駆動輪に独立したサスペンションを持つ構造となっている。

Table.1 Specifications of the TUFUS

外形寸法	W75[cm] × L100[cm] × H150[cm]
総重量	24[kg] (内バッテリー 8[kg])
動力源	DC モータ×2 合計出力: 120[W]
操舵方法	二輪独立駆動
車輪直径	動輪 20[cm] キャスタ 14[cm]
走行 UNIT OS/CPU	SH2 (OS:なし)
統括 UNIT PC	ノート PC (OS: Linux)



Fig.1 Mobile Robot "TUFUS"

4.1.2. 搭載センサ

搭載センサを Table.2 に示す。高所の形状特徴を観測のために設置したレーザスキャナ3台の概観をFig.2 に示す。この 3 台のレーザスキャナはロボットの上部に上方へ傾けて取り付けられており、これらの観測結果を用いて ICP スキャンマッチングによる自己位置補正をする。また、ロボットの前方向に向けて水平に取り付けたレーザスキャナにより、障害物の検知と線分形状特

徴(線ランドマーク)の観測を行う。

本年度、ジャイロオドメトリのためにジャイロセンサを新たに搭載した。搭載したジャイロセンサは 1 軸角速度センサであり、補助出力として温度を出力する。その概観を Fig.3、スペックを Table.3 に示す。

Table.2 Mounted Sensors in RWRC2010

センサ	数	用途
エンコーダ	2	自己位置推定
ジャイロセンサ (CRS09-22)	1	自己位置推定
レーザスキャナ TOP-URG (UTM-30LX)	3	自己位置補正
	1	障害物回避 自己位置補正

Table.3 Spec of Gyro-Sensor

ジャイロセンサ (CRS09-22)	
サイズ	63 [mm] × 63 [mm] × 19 [mm]
重量	60 [g]
計測範囲	-100~100 [deg/sec]
感度	19.80~20.20 [mV/deg/sec]
ゼロ点温度変動	-1~1 [deg/sec]

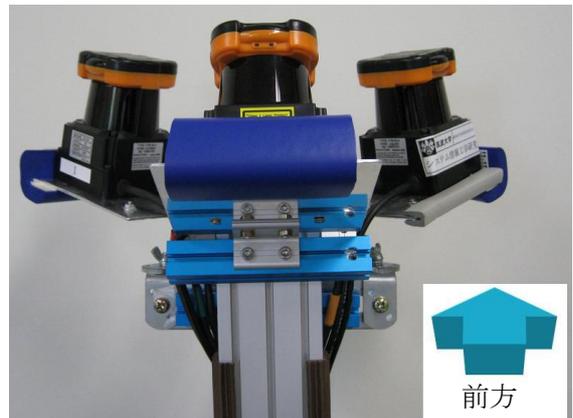


Fig.2 Mounted Laser-scanners for Position Correction

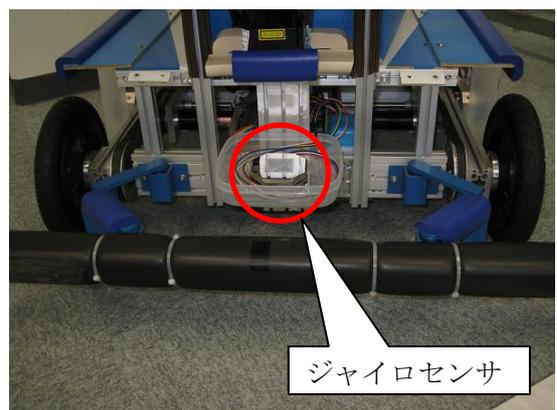


Fig.3 Mounted Gyro-Sensor

4.2. 走行戦略概要

「つくばチャレンジ 2010」の公開実環境走行にて昨年度の走行戦略の評価を行った。結果、「つくば中央公園歩道」から「つくばセンター広場」にかけて Fig.4 に示すような街路樹などの高所の形状特徴がない空間

があり、自己位置が補正できず誤差が累積しコースアウトした。

そこで、本年度はジャイロセンサによりオドメトリの精度向上を目指す。また、低所に水平に取り付けたレーザスキャナを用いて線ランドマークによる自己位置補正を行うことで、高所の形状特徴がない空間への対応とする。



Fig.4 Area Lacking of Upper Landmark

4.2.1. ジャイロオドメトリ

ジャイロセンサから得られる角速度をもとにロボットの向きを求める。車輪のエンコーダ値よりロボットの自己位置を求める場合、小石や枝やなどを踏んだ場合や車輪の歪みにより誤差が増加するが、ジャイロセンサを用いることでこのような影響を受けずより正確なロボットの向きを求めることが期待できる。

Fig.5 にロボット静止時のジャイロセンサの温度に対する角速度の出力電圧を示す。Fig.5 に見られるようにジャイロセンサのオフセットは温度変化によってドリフトするため、ロボットの静止時にオフセットのキャリブレーションを行う。動輪のエンコーダ値が左右ともに 0 の場合ロボットは静止しているとして、このときのジャイロセンサの出力の平均値をもってオフセットを修正する。また、走行時には温度の変化を監視して、事前にキャリブレーションした時点の温度から一定値以上変化していると一時停止してキャリブレーションを行うことにした。

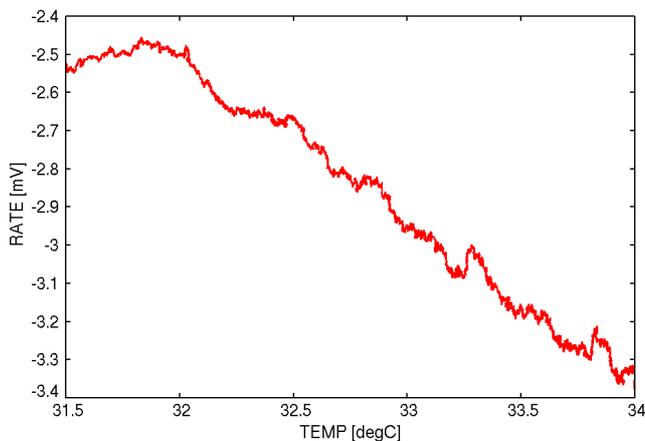


Fig.5 Gyro-Sensor Drift with Temperature

4.2.2. 線ランドマークによる自己位置補正

Fig.6 は「つくば中央公園歩道」から「つくばセンター広場」へかけての陸橋上(Fig.4の付近)でレーザスキャナにより取得した周囲形状をもとに線ランドマークを抽出した結果である。このようにつくばチャレンジ2010のコースではレーザスキャナにより橋の欄干や建物の壁などの人工物から線ランドマークが観測できる。

事前に走行経路周辺の線ランドマークを環境地図として登録する。走行時、低所に水平に取り付けたレーザスキャナから取得される周囲形状より線ランドマークが抽出されると環境地図の線ランドマークと照合し、線ランドマークに対するロボットの距離と角度をもとに自己位置の情報を得る。

周囲に歩行者や他の参加ロボットに囲まれた場合、線ランドマークの抽出に失敗する可能性がある。しかし、ランドマークの抽出に失敗した場合は照合を行わないため、ICP スキャンマッチングと異なり誤ったマッチングにより補正に誤りが生じることはない。このため、低所の形状特徴を用いた自己位置の補正には線ランドマークを用いることにした。

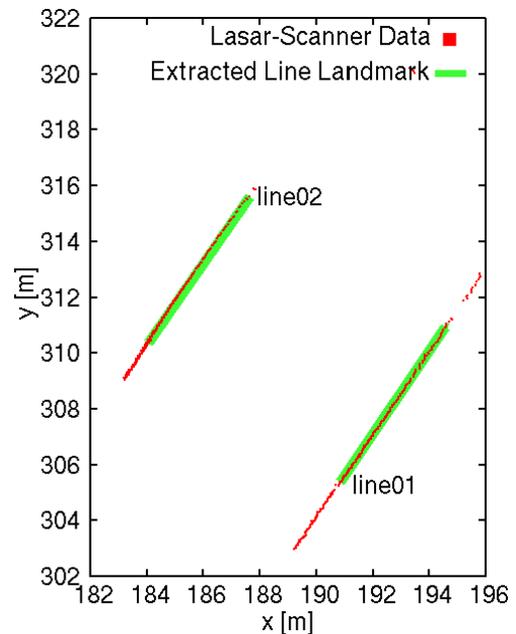


Fig.6 Line-Landmark Extraction on Bridge

5. ソフトウェア構成

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」で開発中である移動知能基本モジュールを利用して、「つくばチャレンジ2010」の課題達成に必要な機能を実現する。構築したソフトウェアの構成をFig.7に示す。

① 環境地図情報管理モジュール

ロボットの環境地図を管理、提示する機能を提供する。「つくばチャレンジ2010」では、ICP スキャンマッチングのためにコース周辺のレーザスキャナの計測データ、線ランドマークによる自己位置補正のためにコース周辺の線ランドマークを環境地図として保持する。

② 経路地図情報管理モジュール

ロボットが走行可能な経路を示した経路地図を管理、提示する。

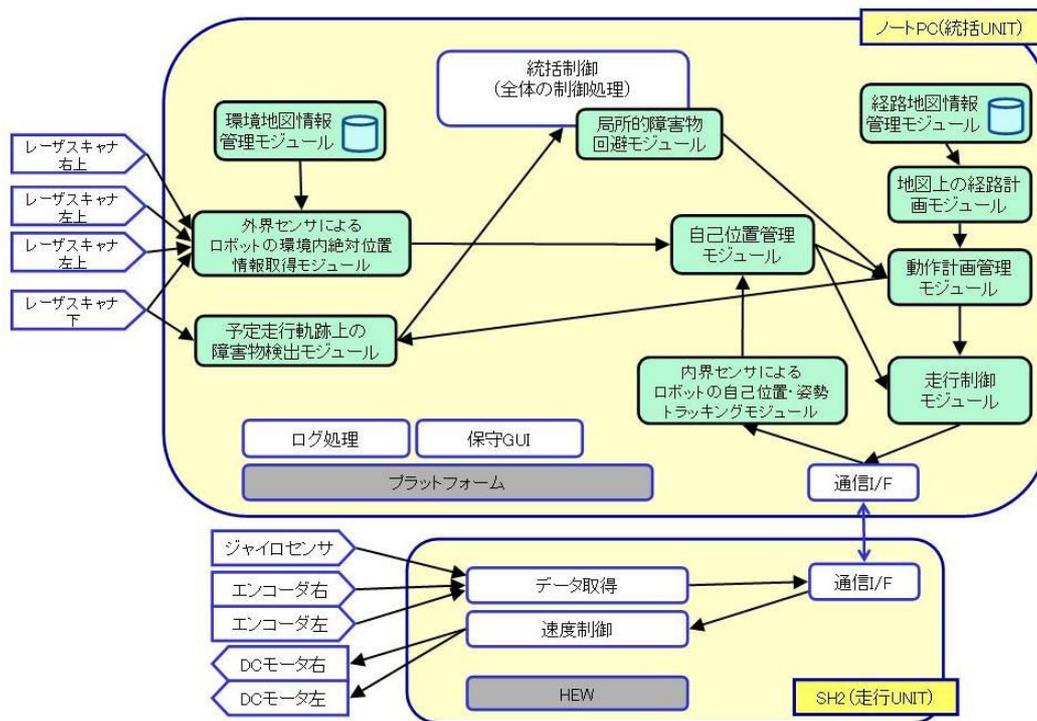


Fig.7 Software Architecture

③ 地図上の経路計画モジュール

経路地図をもとに現在位置から目的地までの走行経路を計画する。

④ 動作計画管理モジュール

計画された経路上を走行するための走行指示を保持し、適切なタイミングで指示を発行する。

⑤ 走行制御モジュール

与えられた走行指示を実現するための目標速度・目標角速度を算出する。

⑥ 外界センサによるロボットの絶対位置取得モジュール

レーザスキャナから取得する周囲形状を ICP スキャンマッチングにより環境地図とマッチングし、自己位置のずれを算出する。また、レーザスキャナから取得する周囲形状より線ランドマークを抽出し、環境地図上の線ランドマークと照合する。照合の結果をもとに自己位置のずれを算出する。

⑦ 内界センサによる自己位置・姿勢トラッキングモジュール

車輪のエンコーダ値とジャイロセンサの出力より、自己位置・姿勢の変化量を求める。

⑧ 自己位置管理モジュール

ロボットの自己位置の管理し、提示する。

⑨ 予定走行軌跡上の障害物監視モジュール

レーザスキャナから取得する周囲形状と計画された走行指示をもとに走行する予定である軌跡上の障害物を監視する

⑩ 局所障害物回避モジュール

予定走行軌跡上に障害物がある場合、障害物を回避するために局所的に動作計画を変更する。

6. まとめ

「つくばチャレンジ 2010」への挑戦として、本プロジェクトの開発モジュールの評価と利用について述べ

た。つくばチャレンジへの挑戦は、開発モジュールのロバスト性を向上させるための課題の抽出に適している。今後も開発・評価を重ね、将来のロボットビジネスが可能な実用モジュールを実現すべく努力していく予定である。

謝辞

本稿の研究開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の一環として実施された。関係者各位に感謝の意を表します。

レーザスキャナを貸与してくださった北陽電機 (株) に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 岡村 公望, 福永 和海, 大矢 晃久, 油田 信一: “移動ロボット用基本知能のモジュール化～開発モジュールの紹介と RTC 化への取組み～”, RSJ2009, 2009.
- [2] 石田 卓也, 関口 誠, 岡村 公望, 福永 和海, 吉田 光治, 大矢 晃久: “富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジ2009への取組み 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトで開発中の実用モジュールの屋外評価”, SI2009, 1B2-2, 2009.
- [3] 油田 信一, 水川 真, 橋本 秀紀, 田代 泰典: “つくばチャレンジ 2009 実世界で働くロボットを目指して: 本年度の課題と準備状況”, SI2009, 1B2-1, 2009.
- [4] ニューテクノロジー振興財団ホームページ <http://www.ntf.or.jp/challenge/>
- [5] 石田 卓也, 山田 大地, 岡村 公望, 大矢 晃久, 油田 信一: “再利用性を考慮した移動ロボット用ソフトウェアモジュールの開発 -目的地までの指定経路走行に適した障害物回避手法-”, RSJ2009, 2009.