

# 三次元距離センサを搭載するクローラ型移動ロボットを用いた 東北大学永谷研のつくばチャレンジへの取り組み

永谷 圭司, 大木 健, 桐林 星河, 大竹 一樹 (東北大学)

## Our Development Activity for Tsukuba-Challenge with a Tracked Vehicle that Mounts 3D Range Sensor

Keiji NAGATANI, Takeshi OHKI, Seiga KIRIBAYASHI, Kazuki OTAKE (Tohoku Univ.)

**Abstract:** Our research group will attend the “Tsukuba Challenge 2009” with our tracked vehicle. The assigned path for mobile robots in this challenge includes not only conventional pedestrians, but a trail whose sky is covered with gross trees (GPS signal may be unreachable) and a park side road that has few features near the path. To succeed in robust and stable navigation in such an environment, we determined our basic strategy as a combination of some navigation methods. Currently, we assume that methods are (1) following path with obstacle avoidance, (2) GPS based navigation, and (3) 3D feature based localization and navigation. In this paper, we introduce the above navigation methods to enable robust and stable navigation of our mobile robot, and report current status of our development.

**Key Words:** Tsukuba Challenge, Autonomous mobile robots, laser range sensor

### 1 はじめに

東北大学 永谷研究室では、フィールドロボット研究の一環として、移動ロボットによる屋外遊歩道の自律走行を目指す「つくばチャレンジ2009」における完走を目指す。ロボットの整備とソフトウェア開発を進めている。2008年度のつくばチャレンジでは、街路樹を利用した位置推定と障害物回避動作を実装し、街路樹の存在する環境での自律走行を実現した[1]。これにより、100mの予選走行はクリアしたが、本走行時には、ジャイロセンサの不具合により、スタート直後に予定軌道を逸れてしまい、完走することができなかった。

2009年度に提示された課題コースは、街路樹を含む遊歩道のみならず、公園内の特徴の少ないエリア、樹木で空が覆われた小道など、様々な環境が存在する。各エリアでは、効果的なロボットのナビゲーション手法が大きく異なると予想されるため、単一アルゴリズムによるナビゲーションは有効でない。そこで、今年度、ロボットのナビゲーションの基本方針を、複数のナビゲーション手法の遷移で表現することとした(以下、各ナビゲーション手法で走行する区間をトポロジカルステージと呼ぶ。)なお、この方針では、各トポロジカルステージのつなぎ目における、ロボットの自己位置推定が非常に重要となる。そこで、トポロジカルステージのつなぎ目にて、三次元距離センサを利用した環境情報取得と予め獲得しておいた環境マップとのマッチングによる、ロボットの自己位置修正を行うこととした。

本チャレンジにおいて、上述の動作を実現するためには、トポロジーで表現した動作計画の実現、障害物回避を含むパスの追従ナビゲーション手法の実現、GPSを用いたナビゲーション手法の実現、三次元距離センサを用いた位置推定の実現が挙げられる。本チャレンジでは、上記の実



Fig. 1: Tracked vehicle “Kenaf”

装を行い、2008年度に成し得なかったミッションの完動、つまり完走を目指す。本稿では、上記に示すトポロジカルステージを用いナビゲーション手法を紹介し、9月末時点での実装の現状を紹介する。

### 2 ロボットプラットフォームの紹介

#### 2.1 ロボットの筐体

まず、筆者らが利用するロボットについて簡単に紹介する。このチャレンジで利用するロボットプラットフォームには、NEDOの支援を受けて東北大学、千葉工業大学、岡山大学、筑波大学、産業技術総合研究所、情報通信研究機構が共同で開発したクローラ型移動ロボットプラットフォーム Kenaf を利用する予定である (Fig.1)。この Kenaf は、接触面がクローラで覆われており、障害物に乗り上げてスタックを起こす可能性が非常に小さいという特徴を持つ。ただし、現在共同研究で製作中の Kenaf の後継機である Quince が完成次第、利用するロボット筐体を変更する予定である。

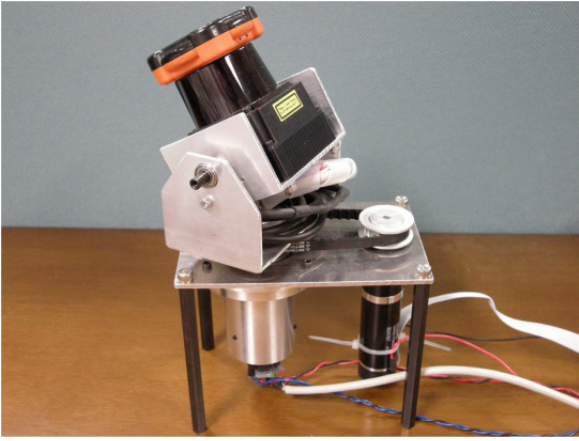


Fig. 2: High-frequency 3D laser range sensor

## 2.2 搭載する三次元距離センサ

筆者らは、これまで、レスキューロボットによる被災環境情報獲得のための三次元距離センサを構築してきた。これは、二次元距離センサを斜めに設置したテーブルを回転させることで、三次元距離情報を獲得するものである。これまでの研究で、ロボットが走行しつつ、三次元環境情報を獲得することが可能となった[2]。しかしながら、これまでの研究では、静的環境を対象としており、基本的には、移動障害物には、対応していない。そこで、現在、精度は粗いが、より高速に環境情報を取得するためのセンサ (Fig.2) の構築を進めている。

このセンサは、回転台と本体が水銀接点のロータリーコネクタで接続されているため、センサ部は、同一方向に無限回転が可能である。このテーブルの回転速度は、約 4.0 rpsが出るように設計してあるため、本センサは、計算上、250 msec 毎に、ロボットの周囲360度の距離情報を、理論上約10,000 点分獲得することが可能である。本チャレンジでは、このセンサを搭載することで、移動障害物にも対応できる三次元環境情報の取得を目指す。

## 3 ナビゲーション動作戦略

### 3.1 グローバル動作計画

本チャレンジでは、ロボットのナビゲーションの基本方針を、複数のナビゲーション手法の遷移で表現するため、筆者らは、Fig.3 (上) に示される今回の課題経路に対し、Fig.3 (下) に示すトポロジカルステージを定義した。これは、つくばチャレンジ2009の全コースを、一鎖のトポロジーで表現したものであり、各点をノード、ノード間の直線をステージと呼ぶ。ノードは0から20まであり、ノード $n-1$ からノード $n$ へ至るステージを、ステージ $n$ と定義する。ロボットはステージ1からステージ20まで順番に実行することで全コースを完走することとなるため、ロボット



[http://www.robomedia.org/challenge09/img/map\\_s.jpg](http://www.robomedia.org/challenge09/img/map_s.jpg)

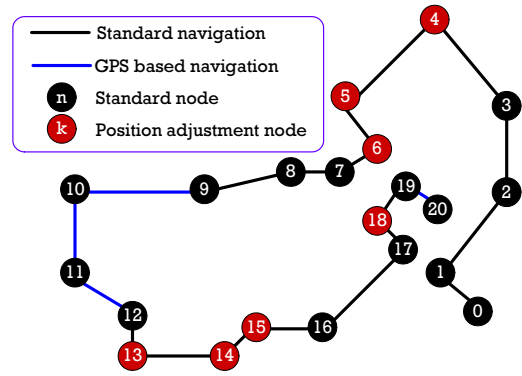


Fig. 3: Official assigned course of Tsukuba challenge 2009 (upper figure) and topological stages (lower figure)

のプログラムは、状態遷移を司る上位プログラム (グローバル動作計画) と、各ステージでのローカルなナビゲーション動作を行う下位プログラムの二層構造で実現する。

上位プログラムは、ロボットが有する自己位置情報からステージの切り替えを行う。下位層では、そのステージの特徴に応じたナビゲーションプログラムが実行される。具体的には、Fig.3 (下) において、黒線で表されたステージ (例えばステージ1) では、障害物回避を含む標準的なナビゲーションプログラムが実行される。また、青線 (例えばステージ9) では、GPSを元にしたナビゲーションプログラムが実行される。また、図の赤ノードは、ステージの切り替え時に、ロボットの詳細な自己位置修正を行う場所である。ここでは、既知の三次元環境情報と、その地点においてセンサで取得した三次元環境情報とのICPアルゴリズムによるマッチングを行い、自己位置を修正する。

### 3.2 ローカル動作：障害物回避を含む標準ナビゲーション

Fig.3 (下) から分かる通り、本チャレンジでは、トポロジカルステージの多くの部分が、障害物回避を含む標準ナビゲーションで構成されている。これは、GPSが検知できない可能性があるエリアが、比較的大きいことを意味しているが、一方で、ロボットが周囲の環境さえ認識できれば、

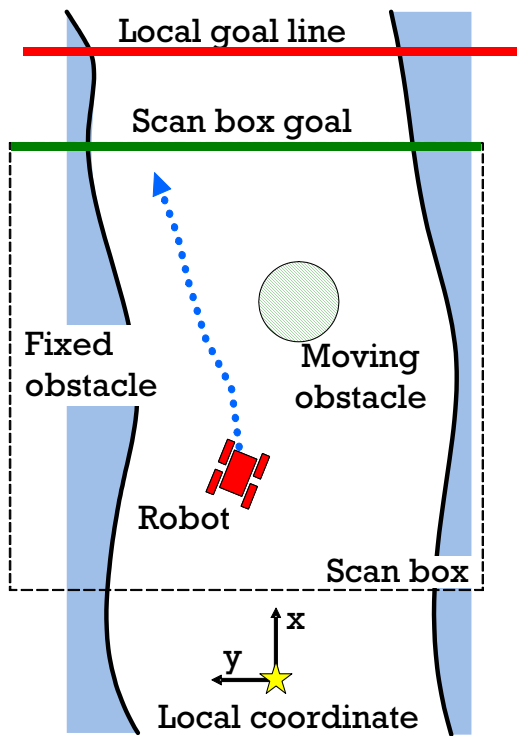


Fig. 4: Standard navigation based on 2D distance transform for target line segment

厳密な自己位置推定があまり必要でないことを示している。

このステージにおける、具体的なナビゲーション戦略を、Fig.4を利用しながら説明する。ステージの出発点にローカル座標系を設定し、上方にローカルゴールラインを設定し、ロボットの進行方向を図の上向きと定義する。また、ロボットの周囲には、センサの到達範囲を考慮したスキャンボックスを定義する。このスキャンボックスは、三次元距離センサで得られた障害物情報の更新を逐次行い、ロボットと共に平行移動する。なお、スキャンボックスの上方には、スキャンボックスゴールを線分で定義し、ロボットの現在位置を初期位置、スキャンボックスゴールを目的地とした経路探索を逐次行う。なお、この経路探索には、目標線分を用いた二次元距離変換(2D distance transform for target line segment)を利用する。

### 3.3 ローカル動作：GPS情報を元にしたナビゲーション

ステージ10~12では、空が大きく開けているが、走行経路の周りには、特徴となる街路樹や壁等が非常に少ない。そこで、本チャレンジでは、この区間において、GPS情報ならびに、方位センサから得られたセンサ情報をベースにした、障害物回避情報を含むナビゲーション手法を実装する。GPSには、本研究室で利用実績の高い、Trimble製のGPSを利用する予定である。具体的なナビゲーション手法は、前節の標準ナビゲーション手法と同一であるが、

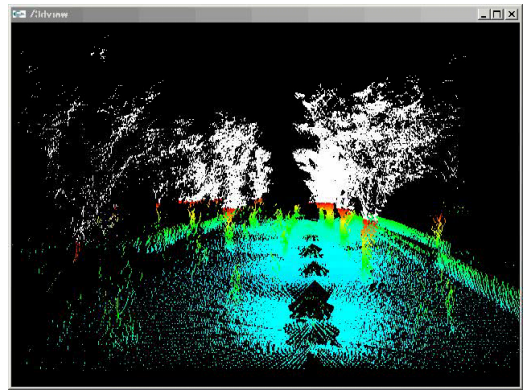


Fig. 5: An example of 3D environment information

ローカルゴールの設定ならびに、自己位置推定の部分のみが異なる。

### 3.4 ローカル動作：ICPマッチングによる位置修正

Fig.3(下)において赤く塗られたノード(ステージのつなぎ目)は、重要な分岐点であるため、ロボットの自己位置を正確に採取する必要がある。そこで、本チャレンジでは、これらの点において、予め取得しておいた三次元距離情報と、ロボットが取得した三次元距離情報を利用して、精度の高いロボットの自己位置推定を実現する。

Fig.5は、昨年度につくばチャレンジにおいて、三次元距離センサを利用して獲得した、遊歩道の三次元環境である。この図より、街路樹野位置や形状が、人間の目で見ても分かりやすく抽出されていることがわかる。そこで、本チャレンジでは、このような事前に取得した環境モデルと、ステージの継ぎ目において得られた三次元情報のICPマッチングを行うことで、ロボットの自己位置推定を実行する。

## 4 シミュレーション実験と試走会でのデータ採取

### 4.1 シミュレーション実験

ロボットの動作プログラミングの開発やデバッグを行う際、様々な状況を実環境において試すことは難しい。また、つくば市から我々の大学がある仙台市は、300km以上離れているため、全ての試走会に参加することは困難である。そこで、本チャレンジでは、プログラム開発に、筆者らの研究グループが開発したロボット動作の簡易シミュレータKenaf Simulator (K-SIM)を利用することとした。このシミュレータは、対象とするロボットKenafの動作プログラムを、仮想環境内の仮想ロボット上で実行することが可能である。ただし、ロボットの動作は二次元平面に拘束されており、ロボットのダイナミクスなどは考慮していない。また、このシミュレータでは、仮想Kenaf上の仮想距離センサによって、任意のサイズの六角柱及び直方体形状の固定/移動障害物を検出することが可能である。



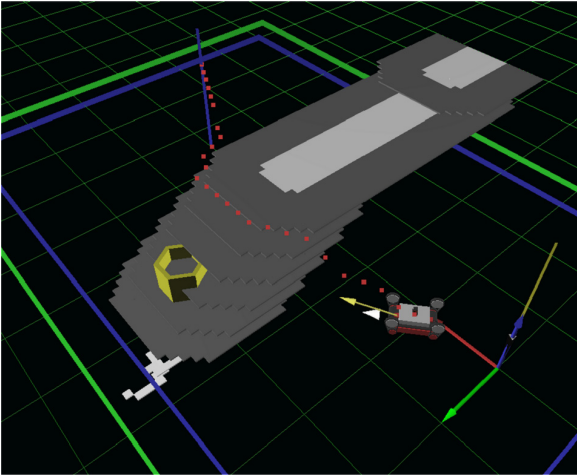


Fig. 6: Robot motion simulator

これまでに、移動障害物回避を行うためのコードを実装し、簡易シミュレータにおいて、そのアルゴリズムの動作確認を行った。Fig.6に、このシミュレータ上で行った、ロボットの移動障害物回避動作の一例を示す。この回避経路は、Jarvisらが提案した、距離場 (Distance Transform) を利用した経路探索をベースとした経路計画手法[3]に、いくつかの改良を加えたものである[4]。図の赤い点線がロボットの目標経路であり、灰色で示された移動障害物の移動経路を予測し、目標である上方のエリアまでの走行経路を生成していることが見て取れる。このシミュレータを利用することで、実機上での動作プログラムの最終確認ならびに、様々な条件における動作プログラムの検証を行うことができるため、プログラム開発の効率が向上したと言える。

#### 4.2 試走会でのデータ採取

2009年8月1日に行われた試走会において、[2]で提案した「走行しながら三次元環境情報を取得する手法」を利用し、コースの三次元環境地図を獲得した。その一部を表示したものをFig.7に示す。

この図の手前に表示された経路は、上方が木で覆われた比較的幅の狭い小道で、そこから左手に折れて歩道に出るという、本コースの難所の一つである。Fig.3下のトポロジカルステージでは、ステージ4、ステージ5に相当する。この図より、コース左側の情報が比較的良く計測されているため、その情報ならびに、障害物の情報がきちんと取得できていれば、標準ナビゲーションを用いてこの区間を通過することは、それほど困難ではないと期待できる。

## 5 おわりに

本稿では、筆者らが「つくばチャレンジ2009」での完走を目指し、その動作戦略と現在の進捗状況をレポートした。この動作戦略の特徴は、トポロジカルステージと呼ば

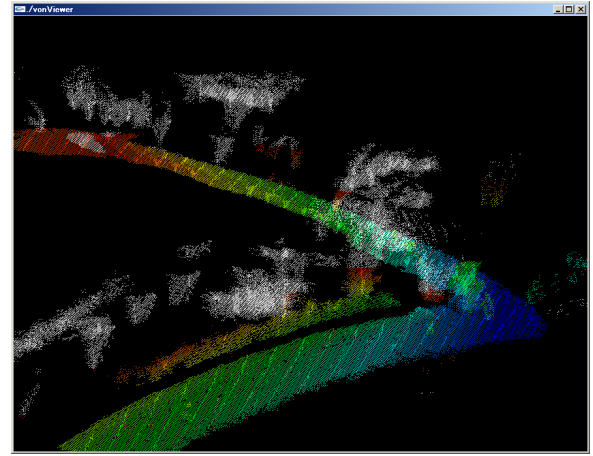


Fig. 7: 3D environment information in 2009 assigned course

れる異なるナビゲーション戦略の組み合わせで動作を実現する点であり、様々な環境に対して、その環境に応じた動作を実現できることが期待できる。また、人が存在する環境に対処するために、「道に沿って走行する」という動作戦略を主にした点、言い換えれば、沿うべき直線や曲線を明確に定義しない、という点も、大きな特徴と言える。

今後は、本稿で示した動作戦略を、順次Kenaf上に実装して、試走会において動作の確認を行い、つくばチャレンジ本番での完走を目指す。

## 参考文献

- [1] 永谷圭司, 徳永直木, 大木健, 和田史彦. クローラ型ロボット kenafをプラットフォームとした東北大学永谷研のつくばチャレンジへの取り組み. 第9回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 予稿集, pp. 373-374, 2008.
- [2] Keiji Nagatani, Naoki Tokunaga, Yoshito Okada, and Kazuya Yoshida. Continuous acquisition of three-dimensional environment information for tracked vehicles on uneven terrain. In *Proceedings of the 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, pp. 25-30, 2008.
- [3] Om K. Gupta and Ray A Jarvis. Optimal global path planning in time varying environments based on a cost evaluation function. In *Proceedings of the 21st Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence: Advances in Artificial Intelligence*, pp. 150-156, 2008.
- [4] 大木健, 永谷圭司, 吉田和哉. 距離時間変換による移動ロボットの移動障害物回避動作生成. 第27回日本ロボット学会 学術講演会 予稿集, AC1Q1-03, 2009.