

センシング機器の地中設置を目的とした 自律不整地移動マニピュレータの開発

佐藤 毅一（東北大学） 大木 健（東北大学） 永谷 圭司（東北大学） 吉田 和哉（東北大学）

Development of an autonomous mobile manipulator for burying sensing devices in outdoor fields

K.SATO (Tohoku Univ.), T.OHKI (Tohoku Univ.), K.NAGATANI (Tohoku Univ.),
K.YOSHIDA (Tohoku Univ.)

Abstract : Underground prospecting technology requires deployment of many sensing devices widely in an outdoor field. Now, such deployment is performed by the manpower, and automatic deployment of sensing devices is expected. Therefore, our research group developed an autonomous mobile manipulator testbed, called "El-Verde". In this paper, we introduce the system integration of the robot and report initial tests of it.

1 はじめに

近年、石油等の地下資源の発見を目的とした、地中構造の探査技術が飛躍的に進歩している。この技術は、地表面で人工的に地震を発生し、地表面の広域に設置した多数のセンシング機器で、得た地震の反射波を解析することで、地中構造を推定するものである。ただし、ここで利用するセンシング機器は、対象とする広大なフィールドに人手で設置しているのが現状であり、大きな労力を伴う。そのため、このセンシング機器の設置作業を自動化する技術の実現に期待が高まっている。

これを実現する手段として、移動マニピュレータの利用が考えられる。移動マニピュレータは、フィールド上の目的地までの移動ならびに、移動ロボット上に搭載したマニピュレータによるセンシング機器の設置が可能である。しかしながら、屋内移動マニピュレータの制御や応用に関する研究は多数存在するが、屋外移動マニピュレータに関する研究は、これまで、あまり見受けられない。

そこで著者らは、移動マニピュレータのテストヘッドを開発し、屋外環境でセンシング機器を自律的に設置する動作の実現を研究目標に設定した。このセンシング機器の地中設置の具体的なシナリオを以下に示す。

- (1)人間がセンシング機器の設置場所を決定し、設置場所にマーカーをセットする。
- (2)センシング機器の設置場所の座標をロボットに送信する。
- (3)GPS情報を元にロボットが設置場所へと移動する。
- (4)マニピュレータの手先に取り付けたカメラで、マーカーを認識することで、手先位置の正確な位置制御を行う。
- (5)マニピュレータを制御し、センシング機器を設置する。

上述の設置作業を実現するために重要となるのが、移動ロボットの自己位置推定機能である。本研究では、相対的な自己位置推定を行う車輪オドメトリと、GPSをベースにした絶対的な自己位置推定手法を融合し、自己位置推定の精度を高めるパーティクルフィルタを用いることとする[1]。また、センシング機器を目的位置に正確に設置するため、本研究では、マーカーの画像情報をフィードバックして、



Fig. 1: Autonomous mobile manipulator "El-Verde"

マニピュレータ手先の位置制御を行うこととする[4]。

本稿では、上述のシナリオ実現を目指して構築した、移動マニピュレータのシステムインテグレーションについて紹介する。

2 ハードウェア

2.1 ロッカーリンクサスペンション

本研究で開発した移動ロボットEl-Verdeは、前輪駆動部と、後輪駆動部、そしてコントロールボックスの三つのパーツから構成される。コントロールボックスからは、ディファレンシャルギアに接続された軸が前後に突き出しており、前輪駆動部と後輪駆動部がこの軸に接続されることで、ロッカーリンクサスペンション[3]を構成している。このロッカーリンク機構により、車輪型ロボットの不整地走行能力を高めることができる。Fig.2にロッカーリンクが有効に働き、ブロックを乗り越えている様子を示す。このブロックは、高さ120mmであるが、これは車輪径の46%である。



Fig. 2: Surmounting an obstacle using the rocker link

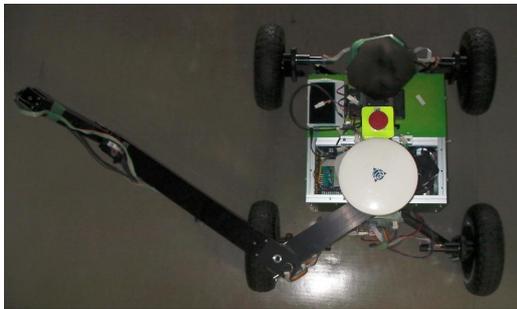


Fig. 3: Top View of 3 D.O.F. Manipulator

2.2 ステアリング機構

ステアリングには、アッカーマンリンク機構を採用した。アッカーマンリンク機構とは、ステアリングリンageを台形型にしたもので、左右前輪の旋回円弧の中心を一点に合わせることができ、旋回をスムーズに行うことができる。本研究で構築したロボットの最小回転半径は、約1mとなった。

2.3 3自由度マニピュレータ

El-Verdeには、スカラ型の3自由度マニピュレータを搭載した。このマニピュレータは、アームの2自由度を用いることで、平面内の任意の位置へ手先を移動させることが可能とし、また、上下方向のスライドの1自由度でセンシング機器を地中に入れることを可能とする。この3自由度マニピュレータを上から見た様子をFig. 3に示す。なお、現状では、センシング機器を設置するための機構と、トラッキングを行うためのカメラは、まだ搭載していない。

2.4 コントローラ

コントローラには、AXIOMTEC社製のPICO820Seriesを採用した。このPCのメインクロックはATOM0.8GHz

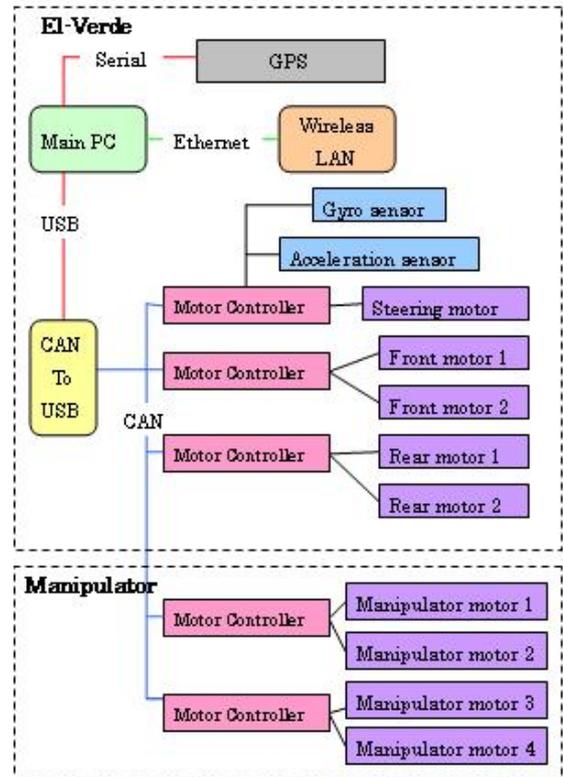


Fig. 4: Control architecture

デュアルコアで、メインメモリは2.0GBである。一方、モータコントローラには、制御マイコンにRenesas製SH7147を搭載したモータドライバ(テクノクラフト製)を採用した。このモータコントローラ一台で、三相モータを二個制御できる。なお、モータコントローラは、CAN(Control Area Network)デバイスとして、メインコントローラに接続する。

2.5 搭載するセンサ

本研究で利用するセンサは、相対位置推定のためのモータに取り付けられたエンコーダ、姿勢検出のための三軸ジャイロスコプ、絶対位置検出のためのGPSを搭載した。各センサ情報はメインコントローラに集約する。

以上のコントロールアーキテクチャをFig. 4に示す。

3 位置推定機能

3.1 ジャイロベースオドメトリ

一般に、移動ロボットの車輪オドメトリは、左右の車輪の平均回転速度からロボットの並進速度を推定し、左右の車輪の回転速度の差分から旋回角速度を推定する。この並進速度と旋回角速度を積分することで、ロボットの自己位置・姿勢を求める。ただし、旋回角速度の積分には、誤差が累積するため、特に屋外長距離走行における位置推定には、一般的なオドメトリは、向いていない。さらに、屋外不整地は平面ではないため、三次元的な移動推定が必要となる。そこで、本研究では、文献[2]に示す、ジャイロスコプを用いたジャイロベースオドメトリを利用するこ

とした．サンプリング時間を Δt とし，並進量を v_n ，ジャイロスコープより得たロボットのyaw角を θ_n ，pitch角を ϕ_n としたとき，ロボットの位置を求める式は以下のようになる．

$$x_n = v_n \cos(\theta_n) \cos(\phi_n) \Delta t + x_{n-1} \quad (1)$$

$$y_n = v_n \sin(\theta_n) \cos(\phi_n) \Delta t + y_{n-1} \quad (2)$$

$$z_n = v_n \sin(\phi_n) \Delta t + z_{n-1} \quad (3)$$

なお， x_n ， y_n ， z_n と x_{n-1} ， y_{n-1} ， z_{n-1} はそれぞれ，時刻 t_n と時刻 t_{n-1} におけるロボットの自己位置を示している．

なお，並進速度の導出には，左右の後輪の回転速度を用いることとした．これは，前輪の回転速度が，ステアリング操作に伴って大きく変動するため，スリップを生ずる恐れがあり，精度に問題があると考えたためである．

一方，El-Verdeの三次元姿勢情報は，ジャイロセンサで取得するが，屋外環境には，太陽光による本体温度の上昇や周囲の気温変化など，ジャイロスコープのドリフト誤差を大きくする要因が多い．そこで，本研究では，文献[2]と同様にロボットの静止判定を行い，静止状態を検出した際には，ジャイロスコープのドリフトをキャンセルする機能を追加する．

3.2 パーティクルフィルタによる位置推定

パーティクルフィルタとは，モンテカルロ法を用いた時系列フィルタの一種であり，近年，移動ロボットの状態推定手法に多く用いられている．車輪移動ロボットにとって，車輪のスリップやジャイロスコープのドリフトによる，オドメトリの不正確さは避けられない．特に凹凸のある不整地を走行する場合，オドメトリの値に誤差が生ずることが考えられる．本研究では，パーティクルフィルタを実装し，オドメトリ情報とGPS情報を融合することで，オドメトリによる位置推定の不正確さを補うこととする．

本移動ロボットは，ロボットの位置・姿勢推定から状態遷移予測を行い，パーティクルの確率変数である尤度を求める．次に，GPSによる絶対自己位置を観測値とし，尤度計算から得た正しいパーティクルをリサンプリングする．この手順を繰り返すことで，車輪オドメトリの不正確さを補うことができ，より正確な自己位置推定を行うことができる．このパーティクルフィルタについては，現在実装中である．

4 終わりに

本稿では，屋外環境におけるセンシング機器の自動設置を目指して，現在開発を進めている不整地移動マニピュレータの開発進捗状況を報告した．現在，ロボットの要素技術についてはほぼ実装が完了し，各要素の動作テストを行っている段階である．今後は，パーティクルフィルタを用いた自己位置推定を実装し，海岸や砂地といった屋外環境において走行テストを行う予定である．その後，ロボットの走行とマニピュレーション動作を統合し，不整地移動マニピュレータのセンシング機器の設置シナリオの実現を目指す．

参考文献

- [1] Kazuhiko Otani, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida: “GPSおよびオドメトリ機能を搭載した移動ロボットの不整地フィールドにおける位置推定実験”，第10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，2009．
- [2] Keiji NAGATANI, Naoki TOKUNAGA, Yoshito OKADA, Kazuya YOSHIDA: “Continuous Acquisition of Three-Dimensional Environment Information for Tracked Vehicles on Uneven Terrain”，2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.25-30, 2008．
- [3] Kazuya YOSHIDA, Keiji NAGATANI, Ayato YAMASAKI: “Development and Control of Six-Wheel Type Robot with Rocker Structure”，ロボティクス・メカトロニクス講演会’07予稿集，2007．
- [4] R. Katsuki, J. Ohta, T. Mizuta, T. Kito, T. Arai, T. Ueyama and T. Nishiyama: “Design of Artificial Marks to Determine 3D Pose By Monocular Vision”，Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.995-1000, , 2003．