

倒立振り子型移動ロボットプラットフォームの開発

日本システムデザイン株式会社 麥田 憲司、井谷 優、広島市立大 岩城 敏

Development of an inverted pendulum type mobile robot platform

Japan System Design K. Mugita, M. Idani, Hiroshima City University S. Iwaki

Abstract: This paper describes an inverted pendulum type mobile robot platform “Doraemon-1” developed specially for Tsukuba Challenge 2009. Our Doraemon-1 can autonomously travel in a given course with a pair of parallel wheel avoiding obstacles on the road. We report an overview of this platform including mechanical structure, control system architecture, multiple environment sensors, motion controller as well as experimental results in the Challenge.

1. はじめに

筆者らは倒立振り子型移動ロボットプラットフォーム（ドラえもん1号）を開発し、つくばチャレンジ2009にエントリーした。本報告では、本プラットフォームの移動機構、外界センサ、運動制御系、システムモジュール構成、走行実験結果を紹介する。

2. 移動機構

本プラットフォーム最大の特徴は、システムの状態に応じて自動的に車輪数を変更する機能である。すなわち通常の走行時には、俊敏性・安定性・高速性の観点から有利な2輪による倒立振り子形態（2輪モード、Fig.2 (a)）をとる。またジャイロセンサ等の故障により安定化機能が失われた場合でも走行を続けるために、姿勢を1方向に傾け補助輪で受動的安定性を確保する3輪モード（Fig.2 (b)）、さらには、電源を切った状態で直立静止させるために両側から補助輪で支える形態（静止モード、Fig.2 (c)）、以上3つのモードを実現した。これら3モード間の移行は、ユーザによる走行・停止ボタン動作、突発的な故障・電源オフ等のイベントに連動し、本体の転倒に対するフェールセーフ機能が実現されている。なお後述するように、3輪モードでは制御対象の不安定固有値が無くなるために、2輪モードでの制御系とは両立せず切り替えが必要となる。

3. 外界センサ系

屋外環境自律走行実現の要となる外界センサとして、測定対象・測定範囲・外界の物理的特徴の観点から以下の3種類を装備した。

(1)ネコヒゲセンサ

猫の髭が持つ優れた近接センシング能力を真似て、複数の柔軟プラスチック光ファイバーケーブルから構成される接触センサを開発した（Fig.3）。光ファイバーの先端には圧力センサが設置されており、外界物との物理的接触時、当該センサ値の変化を知ること約50cm以下の近接物体認識を行う。また障害物との接触を、人間または搭載カメラから視覚的に判断可能なように、接触時にファイバーが発光する機能も実装した。光ファイバー自体の揺れによる信号と接触信号とを分離するために、ファイバーの固有振動成分以上を除去するローパスフィルタを利用している。

(2)超音波センサ

激変する屋外照明環境の影響を受けずに距離数メートル程度の障害物を発見するために超音波センサを採用した。

(3)カメラ

レーザスキャナーからスポット光を路面に照射し、それを異なる位置からカメラで観測することで、三角測量の原理で路面上障害物の有無を判定している。

4. 運動制御系

4.1 各モードに応じたモータ制御

2輪モード時は、ピッチ軸ジャイロデータと左右車輪エンコーダ値のフィードバックにより倒立振り子の姿勢安定化を実現する。姿勢角度はジャイロの積分により、また車輪回転速度はエンコーダ値の近似微分により算出している。

3輪モード時は、ピッチ軸ジャイロセンサ情報を利用せずに、車輪エンコーダ値のフィードバックのみで移動制御系が構成される。



Fig.1 Overview



Fig.2 (a) 2-wheel mode



Fig.2 (b) 3-wheel mode



Fig.2(c) stationary mode



Fig.3 Whisker sensor

4.2 走行制御

大会で規定されたルート上のマイルストーンを予め複数箇所指定しておき、それを順に走行するプログラムを作成した。基本的には、目的地の方向にロボットを進めて行き、目的地との距離が設定された距離以内になると次の目的地へ向かうアルゴリズムとなっている (Fig.4)。自己位置・方向の推定は、基本的に両輪エンコーダ値によるオドメトリを採用しているが、車輪の空気圧差や地面表面状態による計測誤差が無視できない。従って、GPS、加速度センサにより位置補正を行い、磁気方位センサと方位ジャイロにより方向補正を行っている。

4.3 障害物回避制御

本大会の場合、障害物としては人間や他のロボットの可能性も高く、その場合には相手が自分を避けてくれる可能性に期待して、障害物発見後しばらくは停止して様子を見る行動を取る (Fig.5)。次に、右左何れかが通り抜けやすいかという観点で判断を行う。このように現状ではアルゴリズムにヒューリスティックパラメータが多く性能が十分では無いので今後3節で述べた外界センサを総合的に利用して、障害物の距離・形状を正確に推定することで、効率がよくより安全な障害物回避アルゴリズムを開発する予定である。

5. システムモジュール構成

システム内の各モジュール構成を Fig.6 に示す。カメラ、D-Imager、レーザーレンジファインダなどは直接 PC に接続する。PC と GPS 基板間の通信は USB と LAN を利用し、GPS 基板への指令と情報読み出しはコマンド形式でおこなう。モジュール間通信は CAN でおこない GPS 基板が主となって 1mS 以下のサイクルでモータ制御系のコントロールを実現している。

6. 走行実験結果

本選には進めなかったものの、トライアル1では 53m (2:48)、トライアル2では 105m (4:50) と着実に実力は向上しており、基本的走行性能は満足に行くレベルで検証することができた。リタイアの原因は、小さな樹木の障害物認識が正常に機能せずに衝突してしまったことであり、障害物回避アルゴリズムの改良が急務である。

7. おわりに

ドラえもん1号の概要を紹介した。今大会の参加によって、研究用プラットフォームとして今後十分に実用に耐えうることが実証できた意義は大きいと考える。現在、傾斜地での走行安定性の向上、新しいセンサの追加、各モジュールを単独で開発可能とした2号機を開発中である。本研究は新技術・産学官共同研究開発助成 (広島市) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 麥田, " 倒立振り子タイプ移動ロボットプラットフォームの開発", つくばチャレンジレポート, 2009

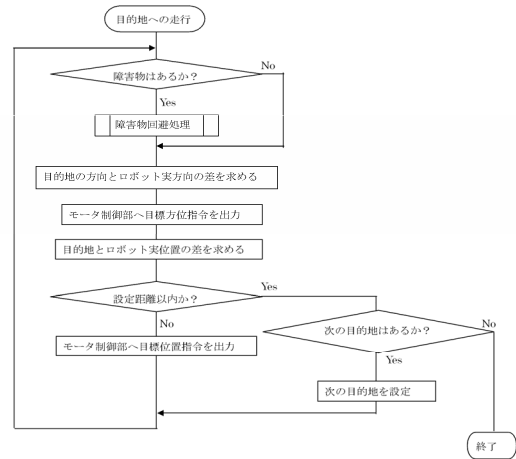


Fig.4 Flowchart of the traveling

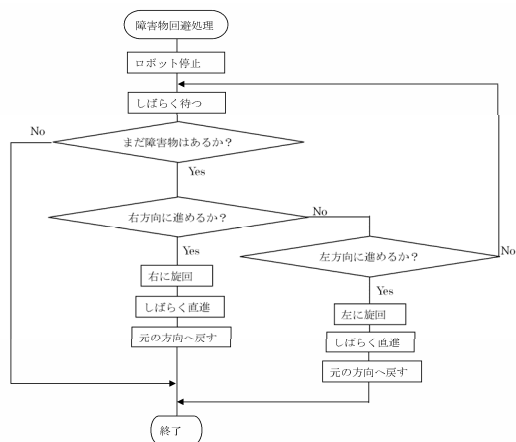


Fig.5 Flowchart of the collision avoidance

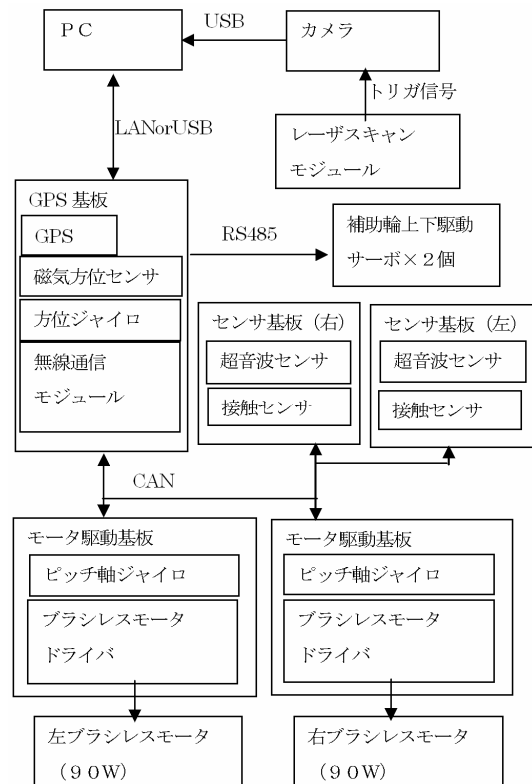


Fig.6 Block diagram of the whole system