

移動ロボット用接触センサ内蔵型ホイール「I-Wheel」の開発

永谷 圭司 (東北大学) 石本 智之 (平田機工株式会社)

Development of Intelligent Wheel for a Mobile Robot which Equips Built-in Sensors

* K.Nagatani (Tohoku University), T.Ishimoto (Hirata Kikou)

Abstract— It is well-known that localization error of wheeled-type mobile robot using odometry is accumulated because of wheels' slippage and small steps. If such a robot can detect a surface information directly from sensors attached to the wheels, the localization accuracy can be improved. Therefore, in this research, we proposed a concept of Intelligent wheel (I-wheel) to detect a surface information, and developed a prototype. It includes touch sensors' array and controller. In this paper, we report our under-going I-wheel project and a result of basic experiment to detect surface.

Key Words: Autonomous mobile robot, Touch sensor, Odometry, Step detection

1 緒言

車輪型ロボットは、モータのエンコーダ情報を計測することで、自己位置を推定するオドメトリが一般的に利用されるが、オドメトリの問題点の一つに、段差によって生ずる自己位置の誤差が挙げられる。例えば、段差を登る際に、段差を認識しなければ、その段差に応じた位置誤差が生ずる。この際、段差を検知し、さらにここで生じる位置誤差を検知することができれば、車輪型移動ロボットにとって大きなメリットとなる。

そこで、本研究では、段差情報、及び走行距離情報を取得できるホイール「Intelligent-Wheel(以下、I-Wheelとする)」の開発を行うこととした。試作する I-Wheel は、ホイールのまわりに接触センサアレイを貼り、このセンサを用いて路面情報を路面から直接獲得する機能を有する。これにより、ホイールの接地位置から走行距離が獲得でき、さらに段差との衝突位置から、段差の高さを推定することが可能となる。

本稿では、試作した I-Wheel を紹介し、これを用いた実験を通じて、このホイールの有効性を検討したので、これを報告する。

2 Intelligent-Wheel(I-Wheel)の特徴

本研究で提案する I-Wheel の特徴は、ホイール自身がセンサを有し、路面状況を獲得するという点である。この I-Wheel には、周囲に 60 個の接触センサを配置し、ホイールと走行面の接触点を直接獲得する。これにより、接触点を逐次獲得することができるため、その接触点推移を見ることで、オドメトリを行うことができる。また、走行面に段差が存在する場合、ホイールと路面との接触点が複数検知できるため、幾何学的拘束より、その段差の高さがわかる。

本章では、以上の機能を実装した I-Wheel のハードウェア、センサ、コントローラについて、以下に紹介する。

2.1 ハードウェア

本研究では、ホイール自体をアルミニウムで製作し、内部に、必要となる電源、コントローラをホイールの中に内蔵することとした。なお、ホイールの直径は 260[mm]、幅は 75[mm] である。外側には、板ゴムを配置し、その外側に 60 個のセンサ(2.3 節参照)を配置した。

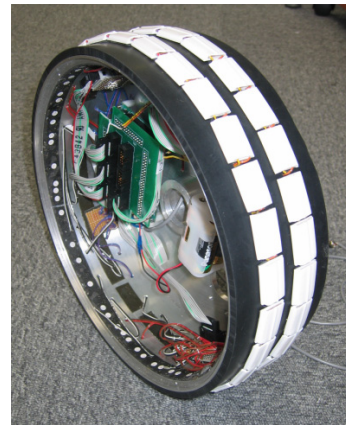


Fig. 1: An overview of I-Wheel

2.2 センサ

本研究では、ホイールの周囲に、接触センサとして、テープスイッチアレイを取り付けることとした。このテープスイッチは、通常、車両やドアの挟まれ防止装置等の接触スイッチとして利用するもので、耐久荷重が大きいという利点がある。各テープスイッチは、テープ型の上に電極を持ち、荷重により中央部分がある一定以上の荷重により導通する。本研究で使用するテープスイッチは、動作荷重 2.5[N] で導通するものを採用することとした。このスイッチの概観を図 2 に示す。

テープスイッチの個数が増えれば、それだけ精細な接触位置を求めることができる。しかしながら、個数が増えるとサイズが小さくなり、そのために強度も低下してしまうという問題がある。本研究では、ホイールの 3[deg] 毎の精度を目標とし、テープスイッチの個数を 60 個とすることとした。これらを、30 個ずつ 2 列に、スイッチの長さの半分ずらして並べる(図 1)。これにより、隣り合う複数点からの信号を得た際に、接触点を、その平均値とすることで、3[deg] の精度を実現することとした。

2.3 コントローラ

本研究で、使用する I-Wheel のコントローラには、デジタル入力端子が多い SH-2 マイコンボード (yellowsoft 社製) を利用することとした。このコントローラを利用することで、「走行距離計測」ならびに「段差の高さ及

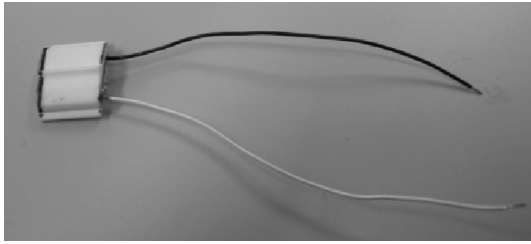


Fig. 2: A tape switch

Intelligent-Wheel

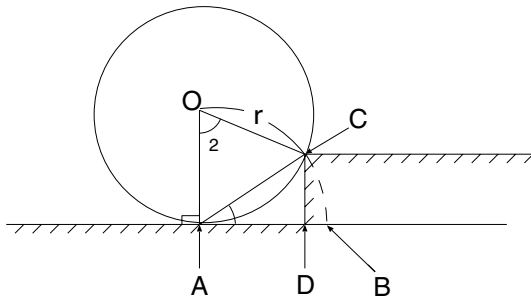


Fig. 3: Culcuration of a difference in level

び位置誤差の算出」の機能を実現することができる。なお、外部との通信については、SS-Modem を利用する予定であるが、現在は有線のシリアル通信を用いている。

3 I-Wheel の機能と動作検証

本研究では、試作したハードウェア上に、走行距離計測機能と段差の高さ検知機能をした。以下に、その手法と動作検証について述べる。

3.1 走行距離計測

段差がない平面では、センサからの出力は、地面に接している部分のみである。走行中は、この接触点が順次推移していくので、この変化を検知することで、走行距離計測が可能となる。

3.2 走行距離計測の動作検証

上述の手法を、ホイール内に取り付けたコントローラ上に実装し、比較的硬い絨毯の上で動作検証を行った。これは、一輪の車輪を手で転がすことで、適当な距離（今回の場合 2.0[m]）を進ませ、その算出した距離と実測距離とを比較するものである。動作の結果、走行距離計測を行うことができた。

ただし、現在の実装段階では、接触センサの 2 列 60 個のうち、1 列の 30 個しか利用していない。このため、通常のオドメトリと比較し、位置精度は高くない。なお、スイッチ 30 個で獲得可能な接触点の精度は、隣り合うスイッチが 2 個同時に押された場合を中間の値と考えることで、最小単位が 6 度となり、製作した半径が 130mm の車輪では、最大 13.6mm の誤差が生ずる計算となる。動作検証においても、この程度の誤差が見られた。

3.3 段差の高さ及び位置誤差の算出

段差が存在する場合、センサからは、地面に接している部分と、段差に接触している部分の 2 箇所からの

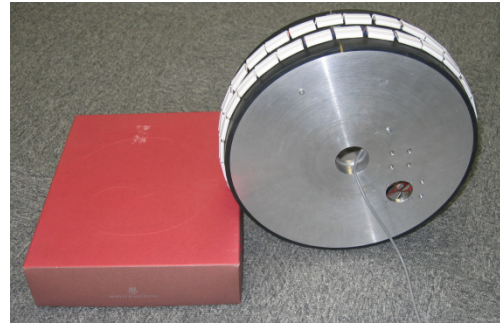


Fig. 4: Step detection

出力が得られる。この情報より、Fig.3 に示す幾何学的拘束から、段差の高さを算出することができる。具体的には、車輪の半径を r とすると、接触点の差分から求められるので、辺 AC は $2r \sin \theta$ となり、段差の高さ CD は、下式で求まる。

$$CD = AC \sin \theta = 2r \sin^2 \theta \quad (1)$$

本実装では、ホイールが、隣り合わない接触点を 2 点検出した場合、上記の式を利用して、段差検出ならびに、段差の高さ情報を出力するようにした。

3.4 乗り越え可能な段差に衝突した際の動作検証

実装した段差検出機能の動作検証を行うため、人為的に設置した段差を利用し、段差の高さを獲得する動作検証を行った。その結果、目的とした段差検知を行うことができた。ただし、段差検知の高さ精度には、多少の問題があることもわかった。例えば、図 4 に示すような 6[cm] の段差にあてた場合、I-wheel が認識した結果は、7.1[cm]（まれに 8.5[cm] を出力）となった。

走行距離計測の動作検証において説明したとおり、現段階の実装では、センサの個数が周囲 30 箇所であり、一つのセンサが接触をカバーする範囲は 6 度である。直径が 26[cm] の車輪が、6.0[cm] の高さの段差に接触をすると、接触点が正確に獲得できていれば、二つの接触点のなす角はおよそ 29 度となるが、この角度が、実際より 6 度大きいという誤差が生じた場合、段差の高さを約 8.6[cm] と認識してしまう。本動作検証においても、この程度の誤差が検出されている。

この問題は、センサの個数を増やすことで、ある程度軽減されることが期待できるが、接触の位置推定のため、将来的には、アナログ的に接触点が検知できるセンサを取り付ける必要もあり得ると考えられる。

4 結言

本稿では、ホイール内にセンサやコントローラなどを搭載し、路面情報を獲得することが可能な I-Wheel のプロトタイプ開発について、その概要と実装状況を報告した。また、本ホイールが有する性能を確認するため、走行距離を獲得する動作検証ならびに、段差の高さを検知する動作検証を行った。

現段階では、ホイール試作のため、その直径が 26[cm] と非常に大きい。そこで、今後の課題としては、ホイールの小型化や、センシング精度の向上などが上げられる。この改良を行ったうえで、I-wheel を用いた実ロボット上での動作実験を目指す予定である。