

人間の紐操作による移動ロボットの誘導

山田 貴則 (筑波大) 大矢 晃久 (筑波大/科技団さがけ研究 21) 油田 信一 (筑波大)

Navigation of a robot by steering a rope

Takanori YAMADA, Akihisa OHYA, Shin'ichi YUTA (University of Tsukuba)

Abstract—This paper describes a guide system for a mobile robot. This system enables us to lead a robot only by steering the rope. Firstly, we describe the rope. Secondly, 6-axis truque sensor, which measures the direction and the size of force that a human needs to apply. Thirdly, we discuss how a robot make a route to follow a human intension. Lastly, we evaluate the system through an experiment.

Key Words: Mobile Robot, Rope, Guide

1. はじめに

近年、ロボットは工場内で働く作業用としてのものだけでなく、ペットロボットや案内ロボットなど、人間と同一の空間内で動作するものが増えてきている。必然的に、人間とロボットの協調した行動に関する研究の重要性が増し、様々な研究が行われている。協調行動の例としては、人間とロボットが協力して1つの物体を運搬する作業¹⁾や、GUIを用いて人間とロボットが対話することにより、ロボットの行動を動的に指示するもの²⁾などが挙げられる。

協調作業において、人間とロボットのインタフェースは人間にとって直感的でわかりやすいものである必要がある。そこで本研究では、人間とロボットのインタフェースとして紐を用いることにした。例えば大きくて重く持ち運びが困難な荷物を運ぶことを考えたとき、台車を使えば運ぶことはできるが、ある程度力が必要であり、曲がりくねった経路や狭い経路を通るには壁にぶつけないような注意も必要である。荷物を積んだロボットを、特にロボットのことを意識せずに紐を軽く引くことによって簡単に移動させることができれば、荷物の運搬が楽になる。荷物運搬でなくても、重くて運ぶのが大変なロボットを紐を軽く引くだけで運ぶことができれば便利である。このような使用用途を念頭に置き、本研究では紐によってロボットを思い通りに誘導可能なシステムを構築することを目的とする。誘導を行う際には、ロボットはできるだけ滑らかに走行する必要があり、また、人間の歩行速度に合わせた速度で走行することも必要である。

本稿では、紐によって誘導可能なロボットに必要なデバイスを挙げ、その実装について述べる。また、上記の動作を達成するための走行アルゴリズムを説明する。

2. システム構成

目的を達成するためには、以下に示す2つのデバイスが必要である。

1. 人間とロボットをつなぐ紐
2. 紐を引かれた方向と力を測定するセンサ

本章では研究で使用するロボットについて述べた後、以上に挙げた各デバイスの実装について述べる。



Fig.1 センサと紐を搭載した自律移動ロボット山彦

2.1 使用するロボット

本研究では、筆者の属する研究室で開発された独立2輪駆動型自律移動ロボット「山彦」を用いる (Fig. 1)。山彦の最高走行速度は 1.4[m/sec](=約 5[km/h]) 程度であり、人間の平均歩行速度 4[km/h] より若干速く走行することが可能である。山彦は、走行制御プログラム「Spur」によって、任意の直線・曲線上を走行することができる。

2.2 紐

人間とロボットを結ぶ紐に必要な機能として、次の2つが挙げられる。

1つ目は、紐の長さを人間が自由に換えられる機能である。これは、ロボットを誘導するときに、誘導する人間あるいは場面によって、人間とロボットの間で保ちたい距離を変更できるようにするための機能である。これを簡単に実現するために、Fig.2に示すような市販の小型犬散歩用の紐を使用することとした。この紐は自動巻き取り式であり、ロックが可能である。ま



Fig.2 小型犬散歩用リール式紐

た、長さは 0.5 ~ 4.5[m] の範囲で可変である。

2 つ目の機能は、バネやゴムのように伸び縮みする機能である (Fig.3, 4)。伸び縮みしない紐を使うと、紐が張った瞬間から急激に力がかかるため、ロボットが転倒したり、センサが故障してしまうという事態が予想される。伸び縮みする紐を使えば、それらの事態を紐の伸びによってある程度回避できる。この伸び縮みは、先に述べた小型犬散歩用の紐では対応できない。それは、この紐の巻き取る力が弱いことと、引き出した紐の長さが長くなっても巻き取る力がほとんど変化せず、引っ張った力の大きさを検出できないからである。

ところで、伸び縮みするだけでは、一定以上の力がかかったときにはやはり転倒してしまう。この事態を回避するために、磁石を取り付け、一定以上の力がかかったら磁石が離れて紐とロボットが切り離されるようにした。なお、磁石は永久磁石を使うこととした。磁力の大きさは、紐を引いたときにロボットが傾くことはないが、人間が紐を引いていることを十分実感できる程度が望ましい。そこで、その力を測定してみたところ、10[N] 程度であった。

しかし、適する磁力は実験的に割り出す必要がある。そこで、必要となる磁力より強い磁力を持つ磁石を選択し、磁石の間に紙などの遮へい物を適量挟むことで引き合う力を調節し、実験的に適当な強さを選択することにした。選択した強さは、紐を引く力の大きさが 30[N] を越えると磁石が離れる程度である。

磁石を用いることで、新たな問題として、磁石が離れて紐による操作ができなくなったとき、ロボットが階段や壁などの危険な方向に向かって走行してしまうことが考えられる。もちろん、自律走行機能が正常に機能していればその場所で停止すれば良いのだが、自律走行機能が機能せずにロボットが暴走してしまうという事態も想定しておく必要がある。本研究では、磁石が離れると同時にロボットの駆動用モータへの電力供給を断つことによりロボットの暴走を抑止する。

2.3 6 軸力モーメントセンサ

ロボットを誘導するためには、紐を引かれた方向と引かれた力の大きさがわかる必要がある。これらのデータを計測可能なセンサとして、力センサ、ジョイスティックなどが挙げられる。本研究では 6 軸力モーメントセンサを使用することとした。

使用するのはニッタ社製の 6 軸力センサ IFS-67M25A25-I40 である。このセンサでは X、Y、Z 各軸方向の力、及び各軸回りのモーメントの大きさを測

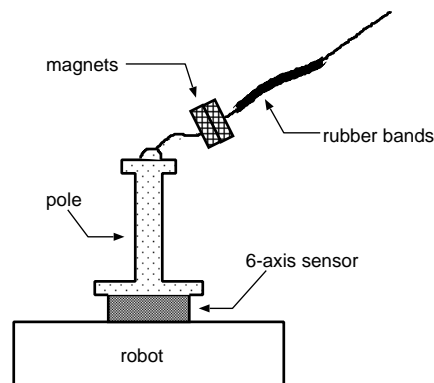


Fig.3 センサと紐のロボットへの取り付け

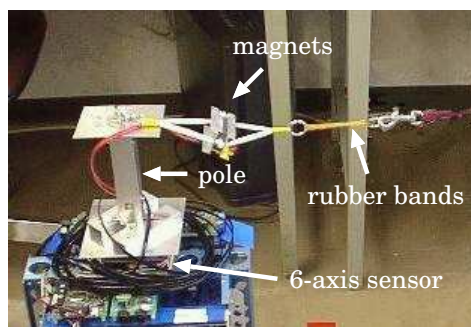


Fig.4 ロボットに取り付けられたセンサと紐

定可能である。検出可能な値は、 F_x , F_y が 100[N]、 F_z が 200[N]、モーメントは 63[Nm] までとなっており、それぞれにフルスケールを設定して、フルスケール内で ± 16384 ステップのデータを得ることができる。センサから出力されたデータは ISA 規格の DSP レシーバボードに入力され、オフセット除去、干渉除去、ピーク検出などの処理が行われる。

ISA 規格のレシーバボードからロボットにデータを読み込むためのインターフェースとして、ISA ボード PC を通してセンサデータを取得し、それをシリアル通信でロボットの統括制御モジュールに送るといった手段を取った。1 回データの送受信を行うのに要する時間は 5[msec] 程度である。

センサはロボットの上部中央に取り付けた。また、センサ上部には、ロボットの高さが人間の手の高さに近づくように柱を取り付け、その先端に紐を取り付けた (Fig.3, 4)。

3. 走行アルゴリズム

3.1 座標系

ロボットの持つ座標系を Fig.5 に示す。これはロボットに張り付いたローカル座標系である。ロボットは X 軸正方向を向いており、Y 軸が左方向である。また、紐で引かれた力とその方向 F 、 θ 、 ϕ を Fig.5 のように定義する。

3.2 処理の流れ

ロボットは以下の 2 つの処理を一定時間周期で繰り返すことによって走行する。

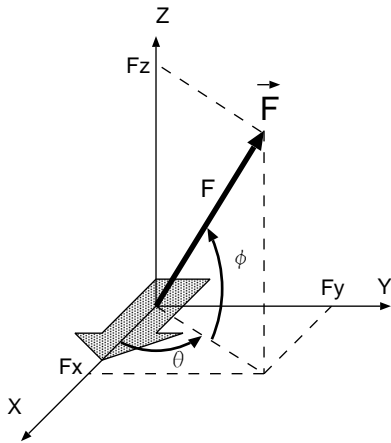


Fig.5 ロボットの座標系と変換後のセンサデータ

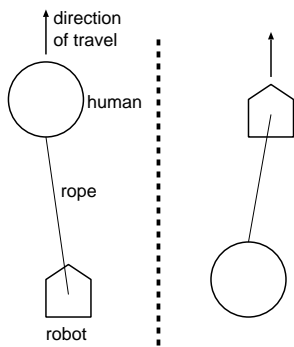


Fig.6 走行時のロボットと人間の位置関係:後走行モード(左)と前走行モード(右)

1. 紐を引かれた力のベクトル、自身の走行速度、回転速度を測定
2. 得られたデータをもとに動作を決定

3.3 走行モード

ロボットの行動をわかりやすくまとめるために、ロボットに「前走行モード」「後走行モード」「停止モード」の3つの動作モードを設定することにした。「前走行モード」はロボットが人間に対して前方を走行するモード、「後走行モード」はロボットが人間に対して後方を走行するモードであり、ロボットと人間の位置関係は Fig.6 のようになる。「停止モード」は人間から発進の合図があるまで停止して待機するモードである。

このような走行モードを設定することにした理由を以下に述べる。誘導を行う際、ロボットと人間の位置関係がどのような状態にあってもスムーズに誘導を行えるようにしたい。例えば、ロボットが人間の前方にいる場合や、後方にいる場合などである。引かれた方向によって細かく分割して走行方法を決めることもできるが、ロボットの前方に引かれたか後方に引かれたかの2つの場合に大別して動作を決めることによって動作のパターンを簡潔にまとめた。最も簡単な例では、走行中のロボットの前に紐を引くことは“加速”を意味し、後ろに引くことは“減速”を意味する。「停止モード」は、ロボット起動直後や、目的地に到着後など、し

Table 1 紐を引かれた時のロボットの行動

走行モード	紐の状態	ロボットの行動
後走行	引かれていない	変更なし
	前に引く力が中 or 小	加速 引かれた方向に方向転換 引かれた方向に方向転換
	後ろに引く力が中 or 小	前走行モードに変更
	引く力が大	停止モードに変更
前走行	引かれていない	加速
		変更なし
	前に引く力が小	減速 方向転換
	前に引く力が中	一時停止
	前に引く力が大	停止モードに変更
	後ろに引かれた	後走行モードに変更
停止	引かれていない	変更なし
	引く力が中 or 小	引かれた方向を向くように回転
	前に引く力が大	前走行モードに変更
	後ろに引く力が大	後走行モードに変更

ばらくその場に待機させるときに用いるモードである。これらの走行モードを引かれる力の大きさ、方向によって逐次変更することで、人間とロボットの位置関係によらず滑らかな誘導が可能である。Table1 はロボットの行動を表にまとめたものである。以降、それぞれの走行モードについて説明する。

3.3.1 後走行モード

人間の後ろを走行するためには、紐が引かれたらロボットの走行方向を引かれた方向に変更し、加速する。加速する際には、紐を引かれた力に比例した加速度を与える。引かれていないときには走行方向を変更せず等速で走行する。これだけで人間の後ろを走行することができ、ある程度速度が大きくなれば紐を引き続けなくても走行し続けることができる。

停止の合図は紐を1度強く引くこととし、合図があったら停止モードに移行して停止させることとした。このようにした理由は、直感的にわかりやすい停止の仕方は走行方向とは逆方向に紐を引くことであるが、人間はロボットの前方にいるのでロボットの後ろ方向に紐を引くことができないからである。また、走行中に人間がロボットの後ろに移動し紐を引いたことがわかったときには、人間とロボットの位置関係が変わったものとし、前走行モードに移行する。

3.3.2 前走行モード

前走行モードのときには紐を引かれていないときに加速するという方法をとる。これは、ロボットの走行方向と紐を引く方向が逆方向であるので、紐を引いた方向に加速するという方法は使えず、また後ろに引いているときに前に加速するというのは直感的でないからである。後ろに紐を引かれた場合には引かれた力に応じて減速する。走行方向は、ロボットの左に引かれたら左に、右に引かれたら右に変更する。このようにすることで、紐を引き続けることなく走行することができるようになる。紐を引いて経路を修正するのは、障

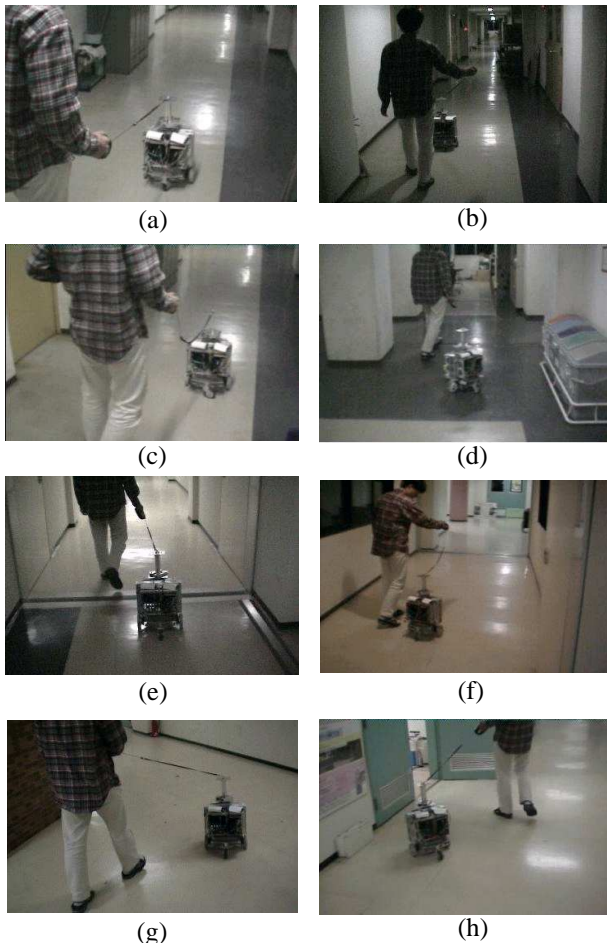


Fig.7 実験風景:(a) 発進合図,(b) 方向指示,(c) 前走行モード,(d) 後走行モード,(e) 段差の通過,(f) 後ろ走行モードから前走行モードへの遷移,(g) カーブ,(h) 停止モード (目的地に到達した後)

害物を避けるときや、経路の誤差を修正するときだけでよい。

後走行モードと同様に、1度強く引くことによって停止モードに移行する。しかし通路に歩行者がいるときなど、停止モードに移行する程ではないが、一時的に停止させておくことが必要になる場合も考えられる。そこで、ある一定の力で引き続けている間だけロボットを停止させておけるようにした。また、ロボットの前方に引かれたときには人間が前方に移動したものと解釈し、後走行モードに移行する。

3.3.3 停止モード

停止モードでは紐が引かれていないときはその場で停止して待機し続ける。紐を軽く引くと引かれた方向を向き、発進したい方向を向かせることができる。発進の合図は、1度強く紐を引くことである。このとき、ロボットの前に引くと後走行モードに、後ろに引くと前走行モードに移行する。

4. 走行実験

前章で説明したアルゴリズムを用いた走行実験を行った。Fig.7 に実験時の様子を示す。

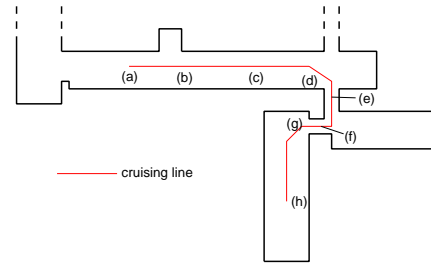


Fig.8 実験経路

4.1 実験内容

実験内容は、学内の2ヶ所の実験室間でロボットを誘導することである。走行経路は Fig.8 に示すとおりであり、全長は約 180m である。図中の記号は Fig.7 の記号に対応している。実際に誘導を行った被験者はこのロボットの操作を行ったことのない学生 4 名である。実験の前に、被験者にはごく簡単な操作説明をした。

4.2 結果と考察

実験の結果、誘導には成功した。しかし、実験の様子を観察していると、いくつかの問題点が明らかになった。1つ目には、紐を引く強さによってロボットの動作が変化するので、どの様に変化するのかわからないと誘導者が混乱してしまうことである。この問題の解決方法として、音声を使って走行モードなどのロボットの状態を人間に提示することを検討している。2つ目に、渡り廊下と建物をつないでいる段差を高速で走り抜けるときの振動が大きいため、紐を引いていなくても紐を引かれたと判断されて誤動作してしまうことである。これは、紐につながっている磁石が重いのでそれが揺れたときにセンサにかかる力が閾値を越えてしまうのが主な原因であると考えられるので、軽いものに変えることである程度解決できると考えている。3つ目には操作感である。今回の実験では被験者は 4 名であったが、より使いやすいものとするためには多くの人に実験してもらい、操作感について感想を聞いた上で走行アルゴリズム中のパラメータを調整する必要がある。

5. おわりに

本稿では、人間が紐でロボットを誘導するのに必要な、紐とセンサの実装について述べた。また、人間がロボットを誘導するためのアルゴリズムについて述べ、実験を通して誘導ができることを確認した。

今後は、より多くの人に実験に参加してもらい、操作のしやすさを評価し、改良を行う。また、ロボットによる人間の誘導についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 池浦, 小沢, 水谷: “人間とロボットによる協調運搬作業”, 第4回ロボティクスシンポジウム講演集, pp.371-376, 1999.
- 2) 岡田, 石黒, 石田: “分散視覚を用いた人間ロボット協調ナビゲーション”, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.4, pp.985-992, 1998.