

縁石を利用した移動ロボットの屋外自律走行

清水 威博 (筑波大) 大矢 晃久 (筑波大) 油田 信一 (筑波大)

Curb based Outdoor Navigation of Autonomous Mobile Robot

Takehiro SHIMIZU, Akihisa OHYA, Shin'ichi YUTA (University of Tsukuba)

Abstract— The authors aim Long Distance Outdoor Navigation of Autonomous Mobile Robot. In order to archive that, we tried to navigate the mobile robot along curb, and to detect it by ultra sonic range finder. For detecting curb robustly, we use ultra sonic range finder with the board for control sound field. This paper presents the result to confirm the effect using the board for control sound field, and the result of the outdoor experiment to navigate the mobile robot.

Key Words: Curb, Ultra Sonic Range Finder, Control Sound Field

1. はじめに

本研究は、移動ロボットを屋外で長距離に渡って自律的に走行させることを目的とした研究である。移動ロボットの屋外走行としては、これまでもカメラ画像を用いたナビゲーションや点字ブロックを利用したナビゲーションなどさまざまなアプローチが行われてきたが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾、本研究では一般的な道路環境に存在している縁石に着目した。これを利用すれば、屋内環境における壁沿い走行のような簡単な方法で、移動ロボットを長距離に渡って走行させられるのではないかと考えた。また、センサとしては構造がシンプルで安価な超音波センサを用いることとした。

本研究で具体的に対象とする環境は、筑波大学敷地内の車道とし、図1に示すような延長約2kmの経路を走行させることを目指す。この車道に存在する縁石は高さ約18cmで、角が丸みを帯びた形状をしている(図2)。

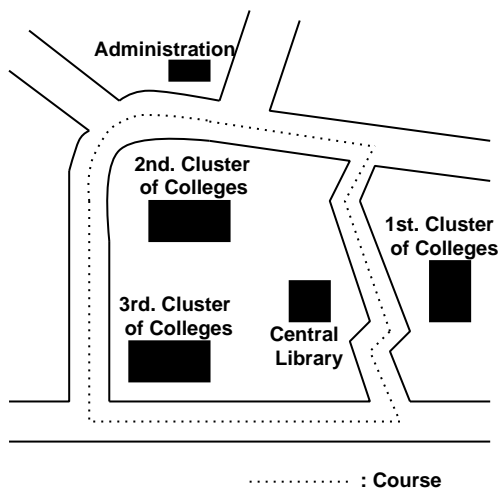


Fig.1 course aimed at navigation of mobile robot

2. 超音波センサの音場制御

2.1 unnecessary reflection

超音波センサにより物体までの距離を計測することができるが、縁石を検出するためには、センサをかなり低い位置に設置しなくてはならない。しかし、超音波センサは比較的広い指向性を有しているという特徴



Fig.2 curb existed intended environment

があるため、路面上にある小石などからの不必要な反射波を受信してしまい、誤検出が発生してしまう可能性がある。このような誤検出は、図3に示すように送信器の下部に平板を取り付け、下方向への超音波の広がりを抑えることによって、防げることがわかっている⁶⁾。本研究では、この平板を音場制御板と呼ぶ。

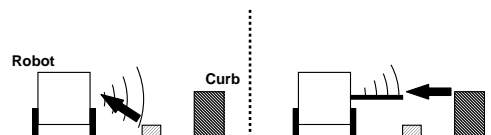


Fig.3 control sound field(L:without board, R:with board)

2.2 基礎実験

前節で述べた音場制御板が実際に超音波の広がりをどの程度抑えることができるのかを調べる実験を行った。実験環境は、大学敷地内の車道にて行った。実験方法は、図4、5のように縁石の手前10cmのところ5.5×2×8.5cmのタバコの箱と高さ約2cmの石ころを置いた環境を設け、縁石から60cm~70cmほど離れた場所をほぼ一定の速度で約1m、超音波センサで1msec間隔で距離を測定しながらロボットを台車に乗せて手で移動した。なお、この場合、超音波センサは地面から13cmの高さに取り付けた。

また、同様の実験で超音波センサの高さを6cmから18cmまで変更して、距離を計測する実験を行い、縁石の検出をするのに最適な高さを調べた。

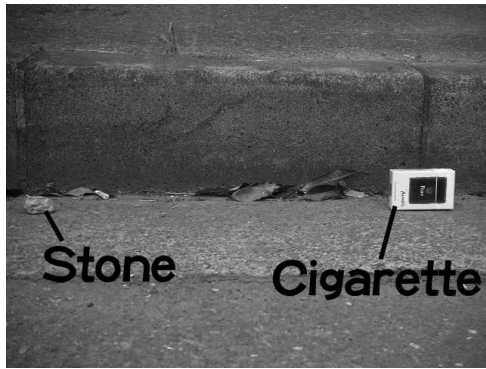


Fig.4 look of experiment environment

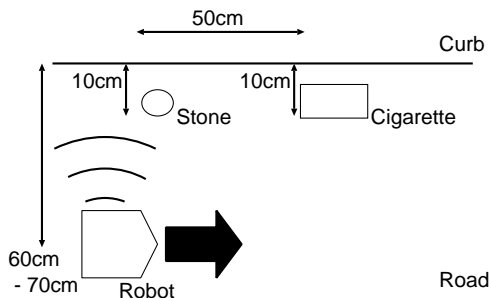


Fig.5 location of experiment environment

2.3 基礎実験結果

音場制御板の効果を調べた結果を以下に示す。横軸は時間、縦軸はセンサで計測された縁石とロボットの距離を表している。進行方向の左側に取り付けた超音波センサで測定した値をプロットしている。なお、人間が台車を押して移動しているため値には多少のぶれがある。

図6は、音場制御板を取り付けていない状態での実験結果である。測定距離が短くなっている箇所(図中ので囲まれている部分)は、石ころとタバコの箱からの反射波であると考えられる。一方、図7は、音場制御板を取り付けた状態での実験結果である。音場制御板の効果が現れて、石ころやタバコの箱は検出されず、全体的にほぼ一定の値が測定されていることがわかる。

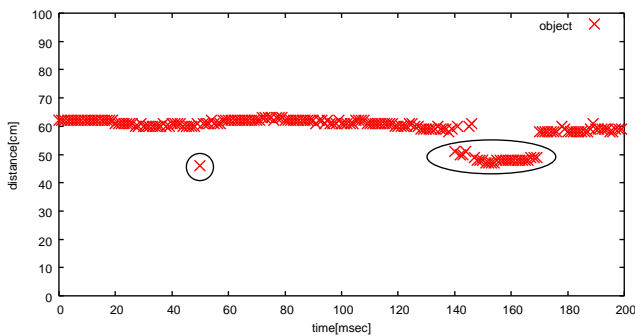


Fig.6 result of distance measured along curb(without board)

続いて、超音波センサを取り付ける最適な高さを調べた。なお、データがない部分は、超音波は送信したが、反射波が受信されず、距離が計測できなかったことを示す。

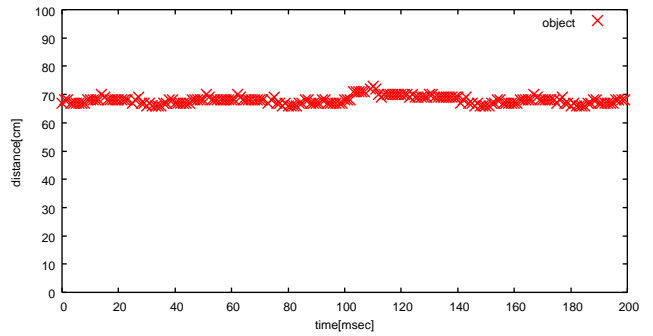


Fig.7 result of distance measured along curb(with board)

図8は、超音波センサの高さを6cmにして測定した実験結果である。図中ので囲まれた箇所のように、全体的な測定距離よりも短い値の部分は、タバコの箱からの反射波である。超音波センサの高さを7cmにした場合においても同様の傾向がみられた。図9は、超音波センサの高さを13cmにして測定した実験結果である。全体にわたって距離がほぼ一定の値を測定できており、不必要な物体からの反射波は検出されていない。超音波センサの高さが8cm~15cmにおいては同様の傾向が現れた。図10は、超音波センサの高さを16cmにして測定した実験結果である。図中ので囲まれた箇所のように距離が計測されない部分が生じた。高さが16cm以上ではすべて同じ傾向を示した。

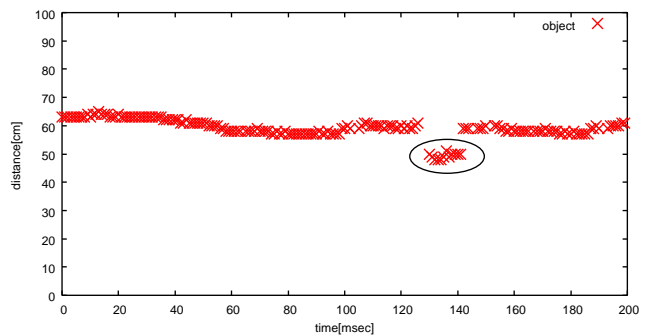


Fig.8 result of distance measured along curb(in case of 6cm high)

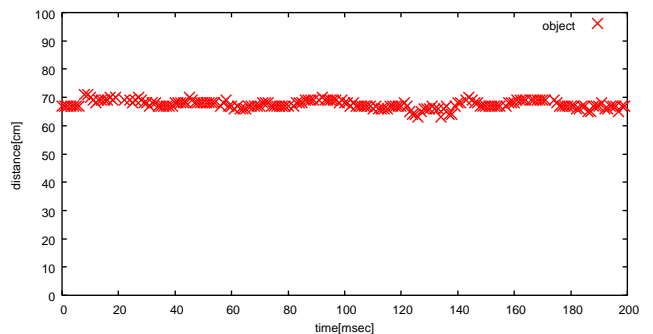


Fig.9 result of distance measured along curb(in case of 13cm high)

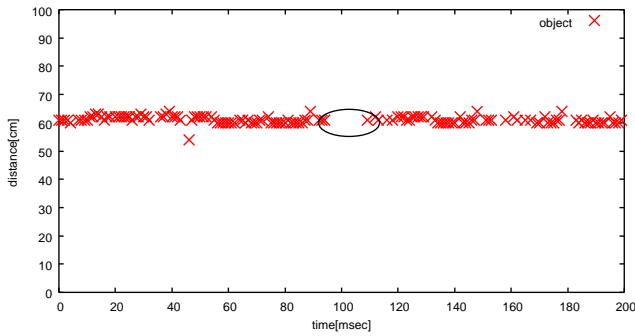


Fig.10 result of distance measured along curb(in case of 16cm high)

2.4 考察

実験結果から、音場制御板によって確かに unnecessary 反射波が取り除けること、超音波センサを取り付ける高さは 12cm 前後がいいということがわかった。これらのことを踏まえて、 $8 \times 21\text{cm}$ の音場制御板を製作し、その上に $6 \times 8\text{cm}$ の超音波センサを図 11 のように固定し、センサの前方 $8 \times 13\text{cm}$ の部分で超音波の伝搬範囲を制御することにした。なお、板には厚さ 3mm のアクリル板を使用した。

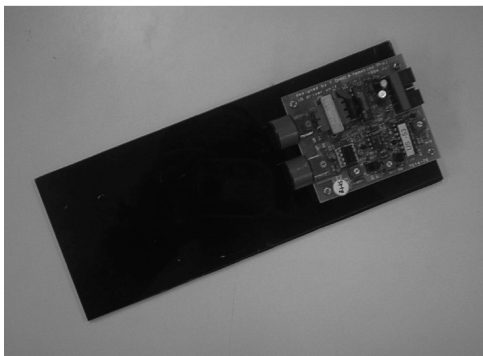


Fig.11 produced board for control sound field

3. 走行アルゴリズム

3.1 推定反射点

超音波センサは、距離方向の分解能に対して横方向の分解能が低いいため、1つの測定距離からでは、本研究の手法で必要となる縁石の向きを特定することができない。ロボットの進行方向に対して左向きに取り付けられた超音波センサの測定距離 r_i から得られる情報は、測定した位置を中心として半径 r_i の円弧上に反射点が存在するというものである。そこで、2ヶ所で測定した距離から反射点を推定することにする。仮に、2ヶ所で測定した距離が同一壁面からの反射波だとすると、反射点は2つの円の共通接線上の点ということになる。このようにして求めた点を推定反射点:E.R.P(Estimated Reflection Point)と呼ぶ⁷⁾。

3.2 仮定の検証

次に、前節で述べた2ヶ所で測定した距離が同一壁面からの反射波であるとした仮定が正しかったのかどうかを検証する。 P_2 からもう少し先に進んだ地点 P_3 、 P_4 … に関して、同様に E.R.P が導出されたとする。こ

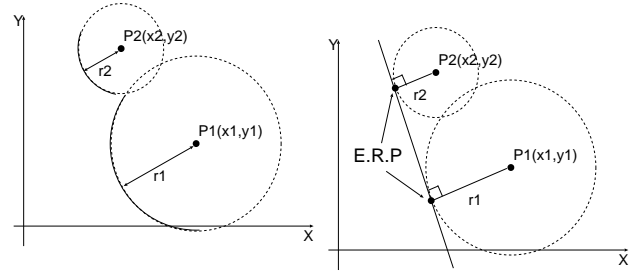


Fig.12 existential range of reflection point

Fig.13 E.R.P position

の際、仮定が正しかったならば、求められた E.R.P 群は、ほぼ同一の直線上に存在するはずである (図 14)。

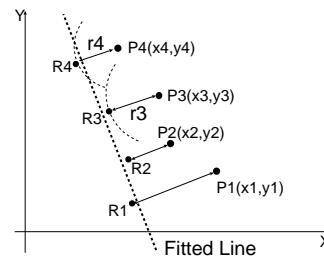


Fig.14 E.R.P cluster position

そこで、求められた複数の E.R.P を直線へと近似し、E.R.P 群がその近似直線からどれだけ離れているかを調べ、その値が小さければ、上述の仮定が正しかったものとして、近似した直線を壁面のデータとして出力する。そして、この直線に平行で一定距離 d はなれた直線をロボットに追従させることで、縁石に沿った自律走行が実現できる (図 15)。

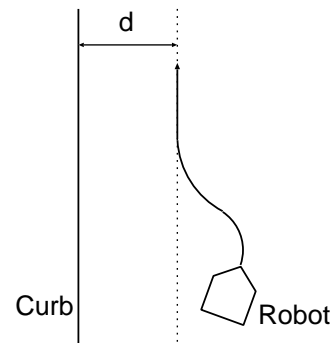


Fig.15 course of mobile robot

4. 屋外走行実験

4.1 ロボット

本実験に使用した移動ロボット ($490\text{mm}(W) \times 510\text{mm}(D) \times 690\text{mm}(H)$) を図 16 に示す。このロボットは、音場制御板の取り付けられた超音波センサを1つ進行方向左側に搭載している。

4.2 実験

図 17 に示すような大学内の車道における車両待避場所にて実験を行った。図 17 中の直線とカーブの混在する部分にて縁石から 60cm 離れたところを 10m 走行さ



Fig.16 robot used outdoor navigation experiment

せた。なお、この実験においては、故意に障害物を設けることはしなかった。



Fig.17 environment of outdoor navigation experiment

図 18 は、屋外走行実験の結果である。オドメトリによるロボットの走行軌跡を ×、計算された E.R.P の位置を + にてプロットしている。

この図から、ロボットの走行軌跡が縁石に沿っていることがわかる。なお、実装したプログラム中では、超音波センサにより縁石が検出できなかった場合は、計測を繰り返しながら一定距離（本実験では 12cm）を超えるまでは、現在走行中の直線を追従し、超えた場合は、縁石に近づいていくように円弧状に走行させている。再び計測が可能になって直線が検出され次第、直線走行に切り替えるようにした。

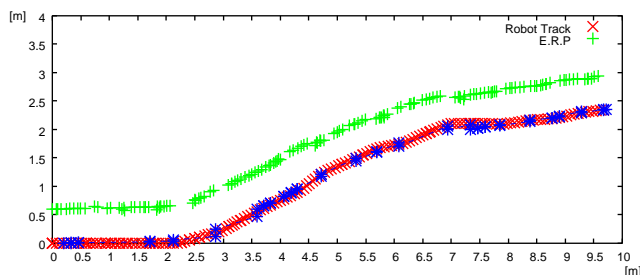


Fig.18 result of outdoor navigation experiment

5. まとめ

提案した手法で縁石に沿って自律走行することが可能であることを示した。今後の課題としては、対象環境中に存在する排水口や、縁石の途切れている場所への対処方法を検討するとともに、実際に長距離に渡っての走行実験を行うことがあげられる。

参考文献

- 1) 篠田 達弥, 森 英雄, 小谷 信司: “視覚を用いた屋外自律移動ロボットの環境理解”, 日本ロボット学会学術講演会, (Sep. 1997)
- 2) C.Thorpe, M.H.Hebert, K.Kanade, S.A.Shafer: “Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Navlab”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.3, pp.362-373 (May 1988)
- 3) Shoichi Maeyama, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: “Outdoor Navigation of a Mobile Robot Using Natural Landmark”, Intelligent Autonomous Systems, Y. Kakazu et al. (Eds.), IOS Press, pp.164-171 (1998)
- 4) Kazunori Ohno, Takashi Tsubouchi, Shoichi Maeyama and Shin'ichi Yuta, “A Mobile Robot Campus Walkway Following with Daylight-Change-Proof Walkway Color Image Segmentation”, 2001 IEEE/RSJ Inc. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'2001), Vol. 1, pp. 77-83, Oct 29 - Nov 3, 2001
- 5) Tomoaki Yoshida, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: “Braille Block Detection for Mobile Robot Navigation”, Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.633-638 (Oct. 2000)
- 6) 山本有希子, 大矢晃久, 油田信一: “移動ロボット用超音波センサの音場制御に関する基礎的検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, IP1-70-113 (2000.5)
- 7) Takashi Yamamoto, Shoichi Maeyama, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: “An Implementation of Landmark-based Position Estimation Function as an Autonomous and Distributed System for a Mobile Robot”, Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1141-1148 (Oct. 1999)