

超音波距離センサアレイによる環境情報獲得手法 — Arc Transversal Median (ATM) Method の紹介 —

○永谷 圭司 (岡山大学工学部) Howie Choset (CMU)

Arc-Transversal Median Method : an Approach to Increasing Ultrasonic Sensor Accuracy

○Keiji Nagatani(Okayama University) Howie Choset(CMU)

1 まえがき

一般に市販されている超音波距離センサは、物体までの距離は正確に求めることができるが、その方位を特定することは難しい。このため、超音波距離センサアレイ（超音波距離センサをリング状に配置したもの）を用いて獲得した環境情報は、距離が遠くなるほど、物体の位置が不鮮明になるという問題がある。そこで本稿では、移動ロボットの走行によって得た超音波距離センサアレイからのデータを蓄積し、それを処理することで、より正確な環境情報を獲得するアルゴリズム「Arc Transversal Median (ATM) Method」を提案する [1]。

2 問題提起

筆者らの研究目標は、移動ロボットによる未知環境探索動作である。この動作を正しく実行するためには、ロボット周辺の物体の位置を正確に求めることが不可欠である。しかしながら、筆者らが有するNomadic社製の移動ロボットNomad200が有する外界センサは、16方向の超音波距離センサアレイのみであり、従来の手法（センサの受信面と垂直な線上に超音波の反射点が存在すると仮定）を用いて獲得した環境情報は大きな誤差を含む。特に狭い通路の分岐がある環境では、その通路の道幅が、実際よりも狭いと錯覚し、探索不能と判断してしまうという状況が生じた (Fig.1 参照)。このような、超音波距離センサの精度に関する問題を解決することが、本研究の目標である。

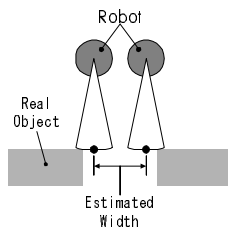


Fig.1: Problem

3 センタコーンモデルと均一分散モデル

2章の問題は、超音波距離センサのモデルが「センタコーンモデル」であることから生ずる。このモデルでは、送信された超音波が円錐（コーン）状に広がるにもかかわらず、「超音波の反射点はセンサの受信面に垂直でその中心を通る線上に存在する」と仮定ため、測定距離が長くなるほどコーンの広がり、方位の精度が悪化する。

そこで本研究では、超音波距離センサのモデルを「均一分散モデル」とした。このモデルは、「超音波のコーンの底面のどこかに超音波の反射点が存在し、その存在確率は均一」と仮定するものである。このコーンを上から見ると、半径が測定距離、中心角がセンサの指向性である細長い扇形となり、この弧の部分（以下これをアークと呼ぶ）のどこかに超音波の反射点が存在する。(Fig.2参照)

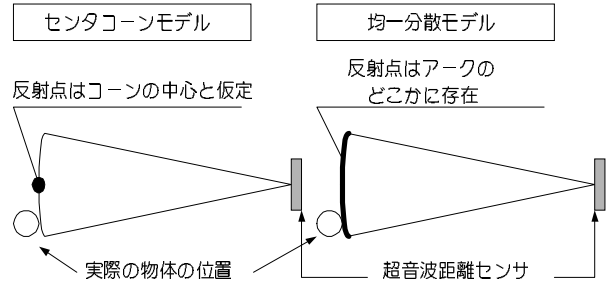


Fig.2: US-Models

4 Arc Transversal Median Method

3章で設定した均一分散モデルを使用すると、以下の手順で超音波センサの精度を向上させることができる。また、この手法を Arc Transversal Median Method と呼ぶ。

1) アークの交点の獲得

異なる2つの観測地点における測距情報から作られるアークが交差する場合、その交点に超音波を反射する物体が存在する確率は高くなる。そこで、超音波の反射位置の特定を行うため、多数の観測地点における測距データを蓄積し、アークの交点の計算を行うことにした。

2) Transversal Intersection

アークが交差する角度が小さい場合、この交点を使用することは危険である。なぜならば、小さな測距誤差によって、交点の位置が大きく動いてしまうからである。これに対し、交差角度が大きい場合、測距誤差に対して交点の位置は安定する。そこで、本手法では、交差角が一定以上のアークの交点 (Transversal Intersection) のみを使用する。

3) Median フィルタの使用

測距誤差やロボットの推定位置に生ずる誤差のため、超音波の反射点が1点であっても、現実には、1つのアーク上に複数の交点が見れる。また、それぞれ別の物体を測定した2つのアークが、偶然に交差することもあり得る。このような、問題を排除し、各アーク上に1点の反射点を決定するため、本手法ではMedianフィルタを用いた。

5 実験

筆者らは、実環境で得た測距データに、この ATM Method を適用する実験を行った。実験場所は、筆者らの実験室の入り口付近で、廊下は幅約2メートル、入り口は幅約70センチ

メートルである。使用するロボットはNomad200（直径は約60cm）で、16方向の超音波距離センサアレイを有する。このロボットがセンサから情報を獲得する周期は約1ヘルツ、ロボットの走行スピードは秒速約5cmと設定し、記憶する過去の情報は10回分とした。また、Transversal Intersectionの角度は30度とした。

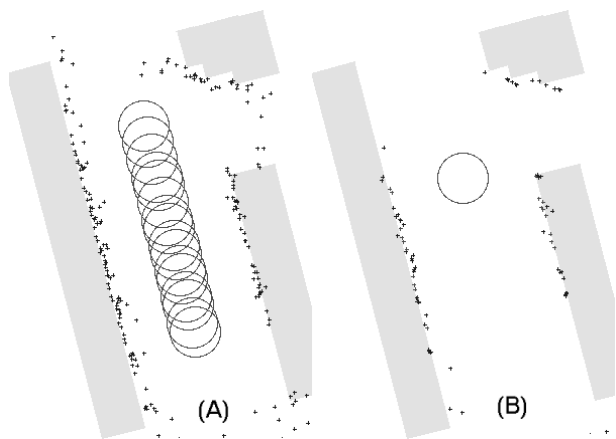


Fig.3: Conventional Method vs ATM Method

この実験結果をFig.3に示す ((A)はアークの中心位置をプロットしたものである。一方、(B)は、同じ実験データをATM手法で処理したものである)。本実験では、ロボットを図中の下方から上方へ向かって、廊下に沿って走行させた。図中の灰色の部分、実験結果から筆者らが推定した環境中の物体の位置を示し、丸はロボットの位置を示す。ただしFig. 3(B)にある丸は、過去10回分のセンサデータを処理した後のロボットの位置である。

この2つの図を比較すれば、明らかにATM Methodによって右上部に存在する比較的狭い入り口が、正しく検知できていることが分かる。

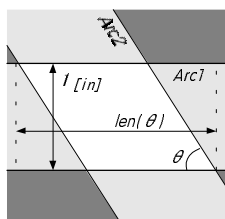
6 考察 (パラメータの設定方法など)

本章では、5章で行った実験に使用したパラメータ (交点の交差角の最小値は30度、センサデータの保存履歴は10回)の根拠、および平らな壁が存在した場合のATM Methodの有効性について考察する。

交差角の最小値を、なぜ、30度としたのか?

本実験で使用したNomad200に搭載された超音波センサの最小単位は1インチである。よって、反射物体の位置は、2つの1インチの帯(幅をもったアーク)が交差したときにできるひし形の内側にあると言える(右図の白い部分)。そのため、2つのアークが交差する角度が小さい場合には、このひし形が横に伸びた形となるため、反射物体の位置を特定することは困難である。

さて、測距誤差が1インチであれば、このひし形の長軸の長さは、測距距離に関係なく、2つのアークの交差角度の



みに依存し以下の式で表現することができる。

$$\text{len}(\theta) = \frac{1}{\sin(\theta)} + \frac{1}{\tan(\theta)}$$

一方、アークの弧の長さは、超音波距離センサの指向性(筆者らが使用したセンサは22.5度)と測距距離 d に依存し、その長さは $\text{arc}(d) = \frac{22.5 \cdot \pi}{180} \cdot d$ となる。そこで、仮に100インチ離れた場所の物体の精度を10倍としたい場合、 $10 \cdot \text{len}(\theta) = \text{arc}(100)$ を解くことで、 θ は約30度と求まる。

さて、 d の値が小さい場合、アーク自身が短いため、アークの交点にはさほど意味がない。そこで、そのような近距離のデータには、センタコーンモデルを用いることにした。

もちろん、精度を上げるために交点の角度の最小値を大きくすると、使用できるデータの数が減少する。したがって、現実的には、使用できるデータの個数と求めたい精度とのトレードオフで、この値を決めることになる。

なぜ、センサデータの保存履歴は10回なのか?

センサデータは、(1)メモリは有限である、(2)アークの組み合わせが増大するため計算時間がかかる、(3)ロボットの推定位置に誤差が存在する、といった理由から、あまり古いデータを保持することは好ましくないと言える。

さて、ロボットから100インチ遠方の物体の距離情報を獲得したとき、これがTransversal交差の閾値である30度を超えるためには、幾何学的な拘束により、ロボットは約50cm移動する必要がある。また、超音波距離センサを用いて16方向の距離情報を獲得するのにおよそ1秒かかり、走行速度を秒速5インチと設定したため、50インチ走行する間には、10回センサデータを獲得することができる。

以上のことより、センサのデータ保存履歴を過去10サンプルとした。

平らな壁に関する考察

一般に、平らな壁の付近においては、超音波の入射角度が小さい点からは反射波を得ることはできない。したがって、平らな壁に沿ってロボットを走行させた場合、ATM Methodが有効に働かないのでは?という疑問が生ずる。しかし、実際には、厳密に平らな壁というものとはそれほど存在せず、本研究で使用した「研究室の廊下」といった環境においても、ポラロイドの超音波センサを用いて、入射角度の小さい点からも情報を得ることができた。

7 結び

本稿では、超音波距離センサアレイから得られたデータの履歴を利用して、対称物の方向の精度を向上させるATM Methodを提案した。この手法は、現在筆者らの研究室のNomad200に実装されており、未知環境探索動作を行う際に有効に活用されている。

参考文献

- [1] Keiji Nagatani, Howie Choset, Nicole Lazar : The Arc Transversal Median Algorithm: an Approach to Increasing Ultrasonic Sensor Accuracy, Proc. of ICRA, pp. 645-651, 1999.