



…平成11年度助成研究より…

自律移動ロボットのための高速 全方位超音波測距システムの開発

筑波大学 電子・情報工学系
講師 博士 (工学)

大 矢 晃 久

1. 自律移動ロボットのための超音波センサに関する研究

近年、自律化した移動ロボットの適用範囲として、工場内などだけでなく、人間の生活環境で人間と共存しながら働くことが大きく期待されてきている。そのために、ロボットには自己の置かれた状態を知り、危険を察知して回避するなど、環境や人間と協調する機能が求められる。この協調の実現には、ロボットがセンサを使用して周囲の環境をすばやく正確に認識する必要がある。したがって、ロボット用センサは、精度良く、十分高速に、そして広い範囲を計測可能であることが重要となる。本研究では、このような条件を満たすセンサとして、自律移動ロボットのための高速全方位超音波センサを開発することを目的としている。

超音波の伝搬時間から距離を計測するパルスエコー法の原理に基づいた超音波センサは、小型軽量で低コストなため移動ロボットに広く使用されている。これを利用して全方位の計測を可能とするために、複数の超音波センサを円形に並べたソナーリングと呼ばれるセンサがある。このリングは、隣合ったセンサの独立性を保つために、センサの計測範囲が重ならないようにすると同時に、隣同士のセンサを同時に使用することができず、計測時間が非常に長くなるものである。これに対して本研究では、従来のソナーリングとは発想を逆転し、全ての超音波センサを同時に使用して、さらに複数の超音波

センサの計測範囲を重ねるという全方位超音波センサを提案する。本研究では、トランスデューサをリング状に配置して、複数の送信器で同時に送信したものを、複数の受信器で同時に受信する事により、幅広い範囲を高速に方向分解能良く計測することを試みる。これが実現されると、より幅広い環境認識の可能な知能ロボット用超音波環境認識システムが構築できると期待される。

2. 全方位同時計測ソナーリングシステムの提案

本研究では、移動ロボットが周囲の反射点位置情報を精度良く高速に得ることのできる、新しいソナーリングセンサを提案する。このセン

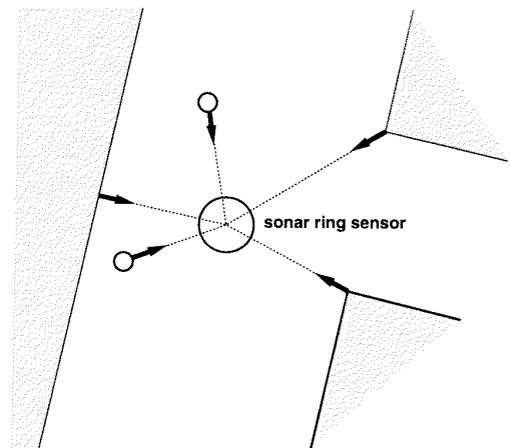


図1 壁、柱、角などロボットの環境認識に有効な反射点の位置計測

サは、下記の4点の基本的アイデアに基づいて構成される。

1. 二次元円周上の全ての方向へ放射状に超音波パルスを同時に発射する。
2. それぞれの指向性が重なるように複数の受信器を円弧状に並べる。
3. それぞれの受信器に接続された受信回路で、超音波が反射物体に当たって戻ってくるまでの伝搬時間を同時に計測する。
4. 複数の受信回路で計測された同じ物体からの超音波伝搬時間より、反射点までの距離と方向を精度良く計算する。

この新しいソナーリングを用いることにより、周囲に存在する複数の反射点の位置を一度の計測で正確に測定でき、ロボットの環境認識に有効な情報を得ることが可能となる(図1)。

3. 反射物体の方位と距離の計算方法

送信器から出た超音波が物体で反射されて戻って来るとき、レイレーシングの手法を用いて超音波の伝搬経路をモデル化することができる。このモデルを本研究で提案しているソナーリングに当てはめて伝搬時間を計算したところ、リングからある程度以上離れた物体を観測した場合には、伝搬時間がトランスデューサの角度に対して2次式の関係で近似できることがわかった。図2に、環境中の反射点の位置と、円周上に並んだ複数の受信器に受信されるエコー信号との関係を示す。同図下部は、横軸を受信器

の方向として、各受信器で得られるエコー信号を並べて表示したものである。それぞれの反射物体までの距離と方位は、同一反射物体からの

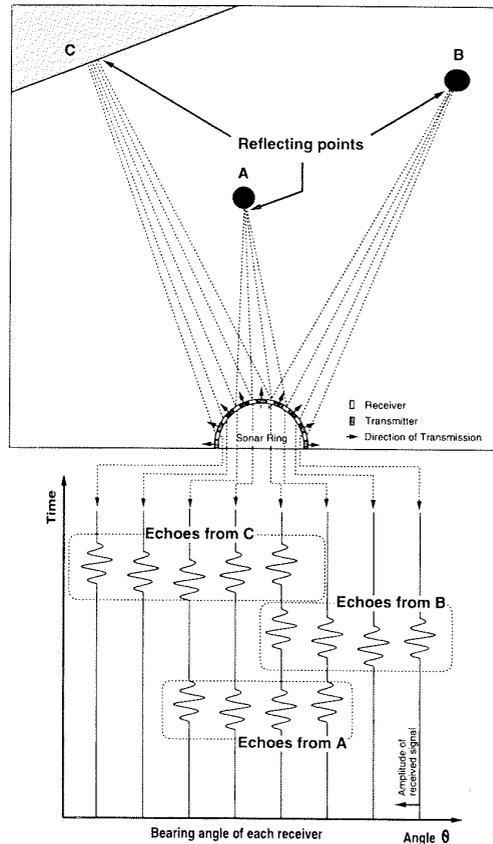


図2 環境中の反射点の位置と円周上に並んだ複数の受信器に受信されるエコー信号との関係

ものと判断された超音波伝搬時間の組から、最小自乗法を用いて上述の2次式に当てはめることにより計算できる(図3)。

4. 評価実験用試作システム

提案する手法の実現性について検討するために評価用の実験システムを試作し、図4に示すように実験用移動ロボットの上部に搭載した。まだ一部未完成ではあるが、センサシステムの構成図を図5に示す。円周上に並んだ複数の送信器から超音波を同時に照射し、同じく円周上に並んだ受信器で同時に受信する。ソナーリン

グには、指向性の広い中心周波数40kHzの圧電素子型トランスデューサを計60個使用した。送信用、受信用のトランスデューサを円周上に交互に並べ、床からの反射波の影響を避けるために製作した円環状のホーンに固定した。トランスデューサは直径22cmの円弧上に並んでおり、リングの直径はホーン部を含めて32cm、床からの高さは55cmである。全ての送信回路は電氣的に

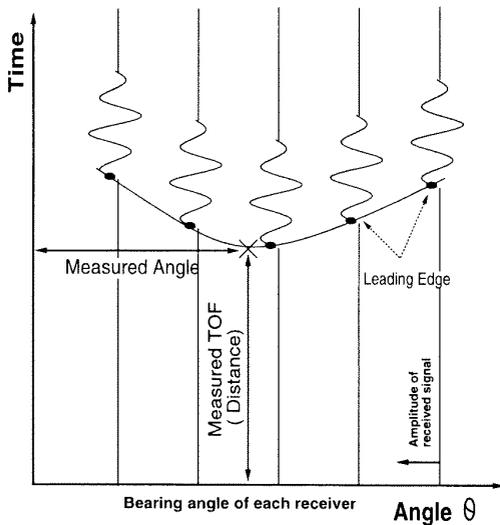


図3 各受信器で得られた超音波伝搬時間から求められる反射物体までの距離と方位

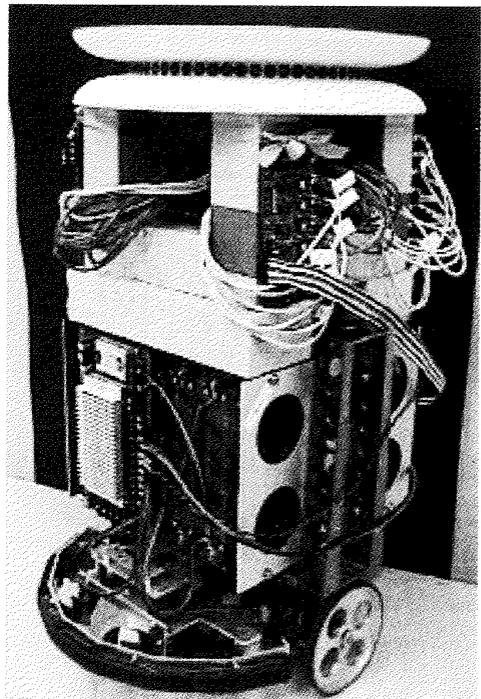


図4 開発中のソナーリングセンサを搭載した実験用移動ロボット

接続され、同時に駆動される。30個の受信器は、それぞれ独立した増幅器に接続されている。現状のシステムでは、全ての反射波の伝搬時間をロボット上で計測することはできないため、受信器で受信された信号は、増幅後にデジタルオシロスコープを通して計算機に取り込んでから処理を行っている。

5. 計測精度評価基礎実験

本センサシステムの計測精度を評価するため

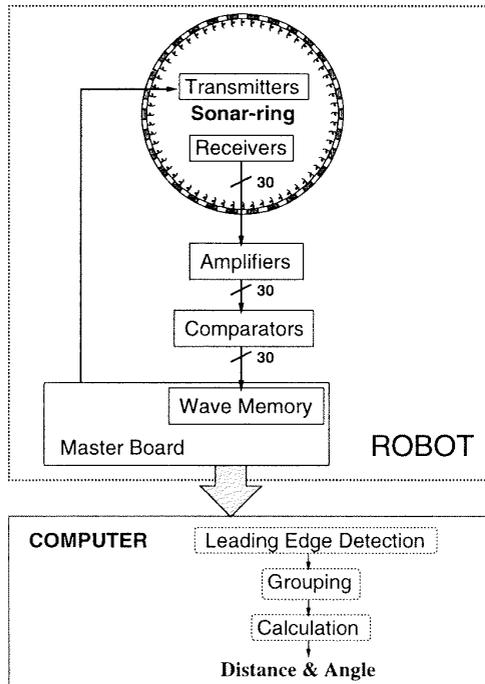


図5 センサシステムの構成図

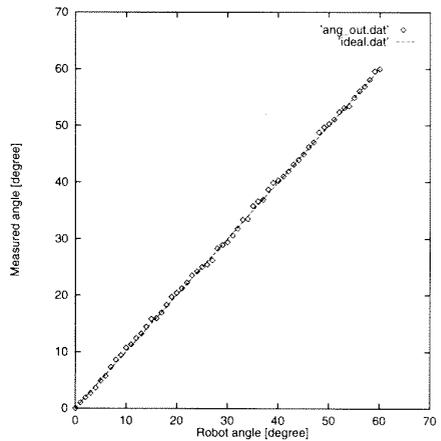


図6 反射点の方向の計測結果
(横軸はロボットの回転角度、
縦軸は計測値)

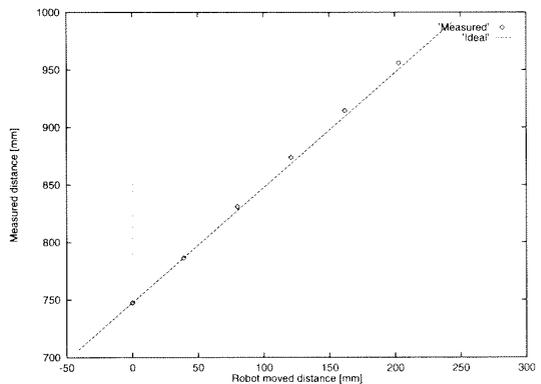


図7 反射点までの距離の計測結果
(横軸はロボットの移動距離、
縦軸は計測値)

に、基礎的な実験を行った。まず、ロボットから約1.5 m離れた所に直径50mmの棒を立て、ロボットを1度ごと回転させながら60度にわたって反射物体の方向を計測した。その結果を図6に示す。ここで横軸はロボットを物理的に回転させた角度、縦軸は計測された反射物体の方位を示す。この結果、方位の最大計測誤差は約1度であった。次に、ロボットを棒から離れて行く方向へ走行させ、ロボットの移動距離と反射物体までの距離を計測した。図7がその結果であり、距離の最大計測誤差は約5 mmであった。ここで横軸はロボットの移動距離、縦軸は計測された反射物体までの距離を示す。一回の計測でこれらの精度が得られることは、移動ロボット用センサとして十分なものである。

6. 今後の課題

これまで、センサシステム自体の基礎評価を行ってきた。次の段階としては、実環境における環境認識実験や、これを用いた自律走行実験等、ロボットを走行させた状態でのセンサシ

ステムの評価が必要である。これらの実験のためには、全ての受信器からの信号をロボット上で同時に処理する必要があるが、現状のシステムではこれにはまだ対応できない。そこで、30チャンネル分の波形データを同時にロボット上に保存して処理するための回路を製作し、反射点の位置をロボット上で計算できるように現在システムを改良中である。

また、ロボットの自律走行のためには物体の形状に関する情報も重要となるが、超音波センサだけでは形状情報まで正確に知ることは難しい。そこで、この情報を補うために視覚センサを併用することも検討している。全方位を同時に計測できる本超音波センサと、全方位同時計測可能な視覚センサによって得られるデータを融合することで、より実効性のあるセンサシステムに発展させていくことができると考えている。

最後になりますが、本研究に対してサウンド技術振興財団から多大な助成を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。