

研究概要報告書

(1/3)

研究題目	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	報告書作成者	大矢 晃久
研究従事者	大矢 晃久, 油田 信一		
研究目的	<p>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。</p> <p>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。しかし、このロボット用の普通の超音波センサでは、センサの指向角が約 20 度から 60 度位と広いために、正確な反射物体の方位を計測することはできない。一方、通常の超音波センサを利用して全方位の計測を可能とするために、複数のセンサを円形に並べたソナーリングと呼ばれるものがある。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かかるものであった。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。</p> <p>自律移動ロボットの研究は、国内外を問わず、非常に広く行われている。しかし、現実の環境で実際のロボットが動いている例は少ない。これは、実環境でロボットを動かす場合、センサから入ってくる情報の根本的な不完全さが、知的動作を実現する上での大きな障害となるからである。本研究では、情報の入口であるセンサの研究を行って環境認識能力を高め、ロボットに高度で知的な動作を実現することを目指す。超音波センサを利用した研究は、これまでも数多く行われてきたが、センサから入力される情報量そのものを増やす努力はあまり行われてこなかった。超音波センサにおいても、超音波の波動としての物理特性を考慮すれば、得られる情報量は非常に増大し、有用なセンサ情報を得られる可能性を有する。</p>		

研究内容

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、新しい超音波センサシステムを提案する。このシステムは、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。一つの受信器が計測する範囲の中に複数の反射物体が存在する場合には、個々の受信回路で各々複数の反射物体からの反射波を検出する。すなわち、一つの受信回路で複数の超音波伝搬時間を計測する。
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。

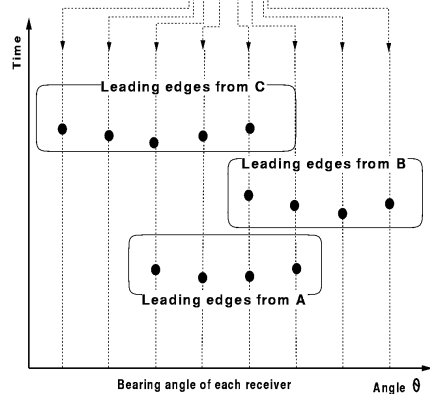
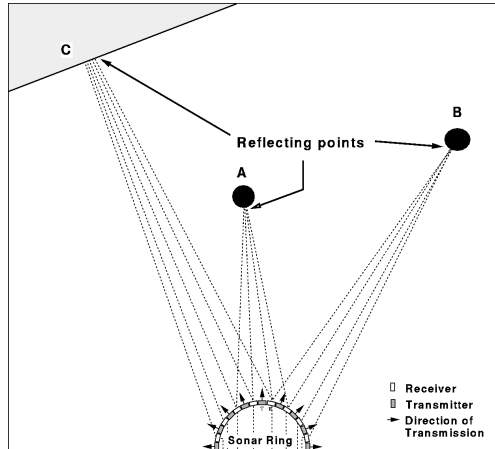
この新しい超音波センサシステムを用いることにより、周囲に存在する複数の反射点の位置を一度の計測で正確に測定でき、ロボットの環境認識に有効な情報を得ることが可能となる。

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、レイト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た。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ものと判断された超音波伝搬時間の組みから、最小自乗法を用いてその2次式に当てはめることにより計算できる。

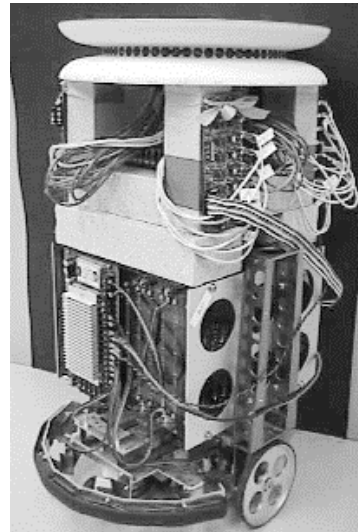
提案する手法の実現性について検討するために評価用の実験システムを試作し、実験用移動ロボットの上部に搭載した。円周上に並んだ複数の送信器から超音波を同時に照射し、同じく円周上に並んだ受信器で同時に受信する。送受信器には、指向性の広い中心周波数 40kHz の圧電素子型トランスデューサを計 60 個使用した。送信用、受信用のトランスデューサを円周上に交互に並べ、床からの反射波の影響を避けるために製作した円環状のホーンに固定した。トランスデューサは直径 22cm の円弧上に並んでおり、円環の直径はホーン部を含めて 32cm、床からの高さは 55cm である。全ての送信回路は電氣的に接続され、同時に駆動される。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。このシステムでは、全ての計測をロボット上で行うために、30 個の受信回路の出力を 1 μ 秒毎に並列にメモリに保存し、ソフトウェアにより超音波伝搬時間の計測を行う。そして、同一の物体からのものと見なされる超音波伝搬時間の組みから、反射点の方位と距離を精度の良く計算する。

このシステムの計測精度を評価するために、まず基礎実験として、反射点の方位と距離の計測精度を調べる実験を行った。また、屋内の実環境でロボットを移動させて環境の形状に関する認識実験を行い、本センサシステムの有効性の検証を行った。

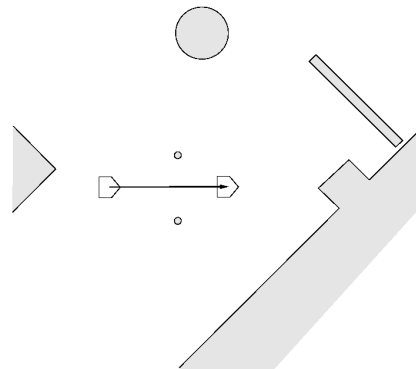
研究のポイント	<p>本研究で構築した新しい超音波センサシステムが従来のソナーリングと大きく違う点は、ソナーリングが独立したパルスエコー法の超音波センサを円弧上に複数個並べているだけなのに対して、本提案のセンサシステムでは、精度の良い方位計測を実現させるために、一つの物体からの反射波を複数の受信器で同時に受信することを目的として、複数の受信器の指向領域を積極的に重なり合わせている点である。さらに、二次元放射状に超音波を同時に送信するので、一回の送受信で全方向の計測が可能になり、高速な計測が行える。</p> <p>この方法が、ホログラフィーなどの波面合成を用いる方法などと異なるのは、波面を合成することによりシャープな指向性を作るのではなく、各々の受信器に接続された受信回路で超音波伝搬時間を測定した後、その情報を処理して反射点の方位を計算する点である。これは、「対象とする環境中に存在する多くの対象物の表面は超音波の波長に対して鏡面と仮定できる」という屋内環境における空中超音波の特徴により可能となっており、原理的には方位分解能の精度は波長とは無関係である。</p>
研究結果	<p>まず、基礎的な実験を行って本センサシステムの計測精度を評価した。その結果、方位の最大計測誤差は約1度、距離の最大計測誤差は約5mmであった。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。</p> <p>次に本センサシステムを使用して、ロボットを移動させた場合に得られるデータを記録する実験を行った。この実験では、廊下に直径50mmの棒を二本立てた環境中を、ロボットを10cmずつ動かしながら計測を繰り返し、合計2m走行させた。この実験中の、ある一回の超音波送受信によって得られた反射点位置の計測結果からは、本システムが期待したとおりに働き、一回の計測でロボットの全周方向について複数の反射物体の位置を精度良く検出・計測できることが示された。また、ロボットを動かしつつ測定した反射点の位置をまとめて表示した結果からは、本システムを用いれば、きわめて直接的に理解可能な環境データを蓄積することができ、精度の良い環境形状地図が作成できることがわかった。</p>
今後の課題	<p>これまで、センサシステムの基礎評価と、試作システムをロボットに搭載して実環境における環境認識実験を行ってきた。次の段階としては、本システム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実時間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チャンネル分の超音波伝搬時間をハードウェアにて同時計測するための回路を検討し、反射点の位置をロボット上で高速に計算できるようにシステムを改良する必要がある。また、ロボットの自律走行のためには環境全体の連続的な形状情報も重要となるが、本センサシステムにより得られる情報は空間に対して離散的なものであり、全体の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課題として挙げられる。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も可能であると考えている。</p>



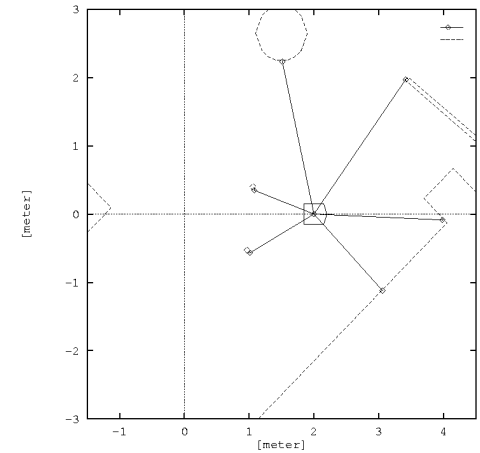
環境中の反射点の位置と、円周上に並んだ複数の受信器に受信されるエコー信号との関係。下の図は、横軸を受信器の向きとして、各受信器で得られるエコー信号を並べて表示したもの。



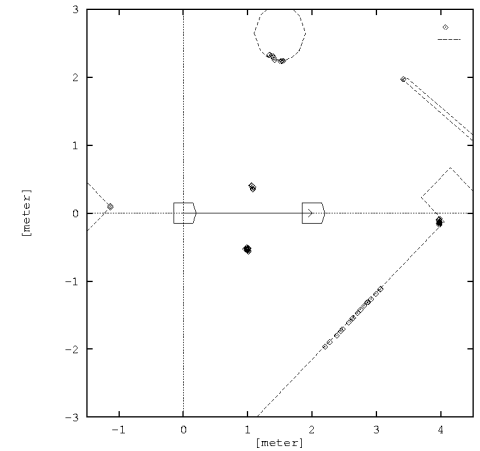
高速全方位超音波測距システムを搭載した移動ロボット



実験環境



一回の計測による実験結果



ロボットが移動しながら計測した実験結果