

超音波トランスポンダによる特定目標物の位置検出

高畑 志生 (筑波大) 大矢晃久 (科技団, さきがけ研究 21/筑波大)

Position tracking of a specific object using the ultrasonic transponder

Motoki TAKAHATA (Univ. of Tsukuba)

Akihisa OHYA (PREST, JST / Univ. of Tsukuba)

Abstract: If we consider how a mobile robot could estimate the position of a specific object by using ultrasonic sensors, it is possible to find the distance to the object thanks to the pulse echo method. The use of a sensor consisting of several receivers enables to determine the inclination angle of the object. However it is not possible with this method to recognize a specific object among several ones. We considered that it would be possible to differentiate a specific object if the ultrasonic wave emitted by the robot performing measurements can be separated from the ones emitted by a transponder carried by the object whose position is to be detected. In this paper, we describe orientation angle measurement using multiple receivers, ultrasonic waves separation using a double pulse coding and we propose a position detection method based on a transponder before giving experimental results.

Keywords: Target Tracking, Ultrasonic Transponder, Double Pulse coding, Angle Measurement

1 はじめに

近年、移動ロボットの自律走行が実現されつつあり、いよいよその応用を考える段となってきた。我々は「ロボットが移動すること自体で貢献できること」を考え、人間と共に移動し人間を支援するロボットの開発を目的として研究を行っている。具体的な支援動作としては、道案内などの誘導や情報提供、伴走による散歩・警護などの精神的補助、重量物を運搬する追従による肉体的補助などが考えられる。誘導・伴走・追従に必要な基本機能である人間の位置検出方法として画像による方法も開発を行っているが [1]、本稿では超音波を用いた方法として超音波トランスポンダによる特定の対象物の位置計測法について述べる。

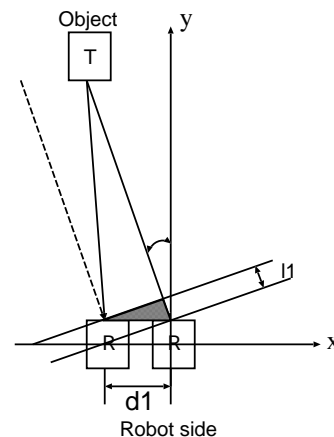


図 1: 受信器を複数用いた目標物の角度測定方法

2 超音波による対象物の位置検出方法

超音波による位置検出を考えた場合、対象物までの距離は通常のパルスエコー式超音波測距センサで測定することができる。また角度については、受信器を複数使用しその往復伝搬時間差から求めることが可能である [2]。図 1 に示すように二つの受信器 [R] を距離 d_1 の間隔で並べた場合、それぞれの受信器の受信時間の違いから、距離 Δl を求めることができ、それらを用い以下の式から、 θ を求めることができる。

$$\sin \theta = \frac{\Delta l}{d_1} \quad (1)$$

しかし、この方法では対象物が複数ある場合、それぞれの対象物の位置は求まるものの、特定の目標を識別して、その位置を求めることはできない。そこで、本研究では目標物 (=人間) に超音波トランス

ポンダを持たせ、目標物からの超音波だけを選択的に受信することで特定の目標物の位置を認識させる方法を採用した。

3 超音波トランスポンダ

超音波トランスポンダは、ある超音波を受信すると超音波を送信する、超音波送受信器である。

図 2 に、超音波トランスポンダを用いた位置検出方法の概念図を示す。目標物に取り付けた超音波トランスポンダは、ロボット側からの超音波 A の受信を認識するとロボット側に向けて超音波 B を送信する。ロボット側で超音波 B を受信した場合には、目標物からの超音波として認識し、距離と角度の計算を行う。超音波 A を受信した場合は、ロボット側から発した超音波の反射波が受信されたと認識し、障

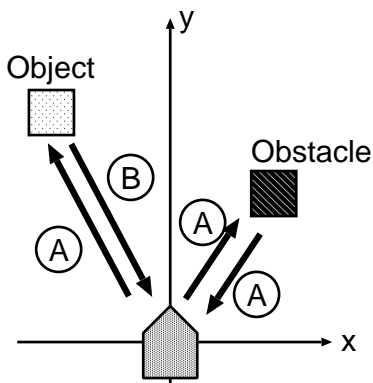


図 2: 超音波トランスポンダによる位置検出方法

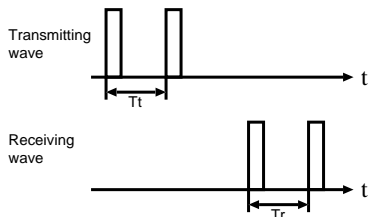


図 3: ダブルパルス法における送受信のタイミング

害物としてその位置を計算する。

このように目標物の位置を検出すると共に障害物を認識することもできるが、そのために必要なのがロボット側の発した超音波 A と目標物に取り付けた超音波トランスポンダが発した超音波 B の区別である。この方法として、超音波の周波数を変える方法やパルスをコード化する方法 [3] も考えられるが、本研究では、同一の送受信器が使える、他の「ロボット - 人間のペア」がいても同時に使えるという利点からコード化の最も簡単な実装法としてダブルパルス法 [4] を採用することとした。

4 ダブルパルス法

ダブルパルス法とは、複数台のロボットで同時に使用できる超音波センサを目的として作られたシステムである [5]。

通常の測距方法では、一回の測定は一つのパルス送信と一つのパルス受信で行われる。これに対しダブルパルス法では、図 3 に示すように二つのパルス送信と二つのパルス受信が一回の測定となる。

二つのパルスの送信間隔 T_t をあらかじめ決めておき、受信時にはその設定した間隔でパルスの受信があったかどうかの判定を行うことで、自分の発した超音波の反射波を認識する。二つのパルスの送信間隔をロボット毎に異なる値に設定することで、互いの干渉を排除することができ、簡単なシステムで複数台のロボットで同時に使用可能となる。

この方法を用い、ロボット側の発する超音波 A とトランスポンダの発する超音波 B の二つのパルスの送信間隔を異なる値に設定することで、超音波の区別を行う。

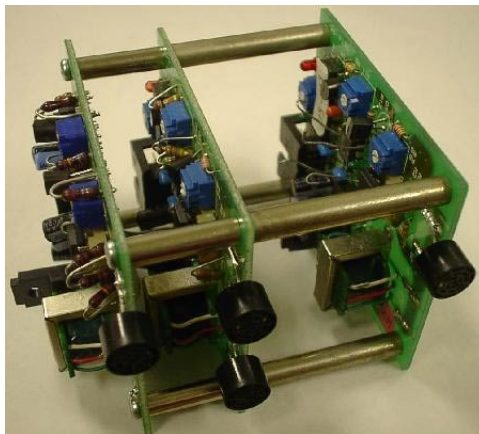


図 4: 測定側センサ

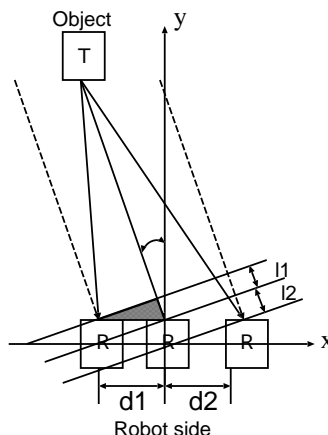


図 5: 受信器を複数用いた目標物の角度測定方法

5 システム構成

5.1 測定側センサ

測定側センサは、図 4 に示すように三枚の超音波送受信器回路基板から構成されており、上段に三つ並んでいるのが受信用トランスデューサ、下段の一つだけあるのが送信用である。三つの受信用トランスデューサを使用することによって、角度は式 (2)(3)(4) で求めることができる。 d_1 と d_2 を適当な異なる値に設定することにより、これら三つの式を用いて、後述するような「一波ずれ」の問題に対処することができる。

$$\sin \theta = \frac{\Delta l_1}{d_1} \quad (2)$$

$$= \frac{\Delta l_2}{d_2} \quad (3)$$

$$= \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{d_1 + d_2} \quad (4)$$

一波ずれというのは、本来受信されるべきタイミングで受信が行われず、超音波の波ひとつ分遅れて受信される現象のことである。これは、それぞれの受信器までの距離が異なることによる受信波の強さの違いと、図 6 に示すように受信回路の個々の閾値が異なるために起こる。この図の場合では B の閾値

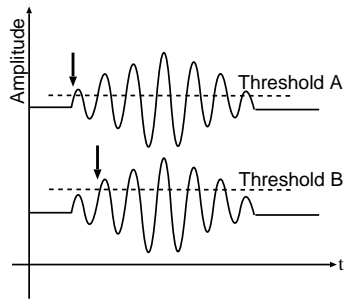


図 6: 受信器における閾値の違いによる測定時間の
変化

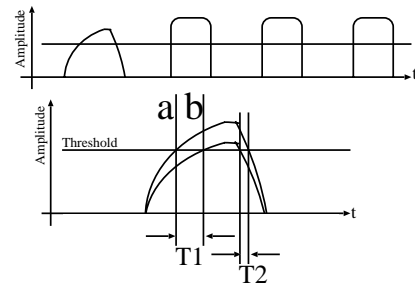


図 9: 受信波形の違いによる立ち上がり
と立ち下がりでの受信時間の違い

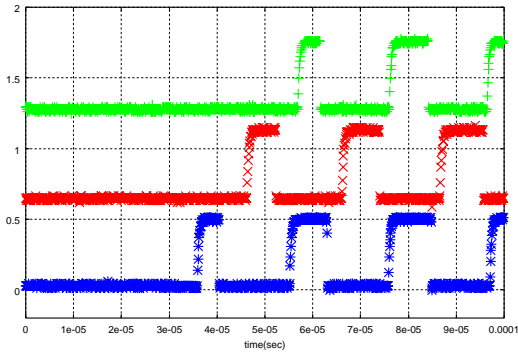


図 7: 一波ずれがない場合の受信信号の例

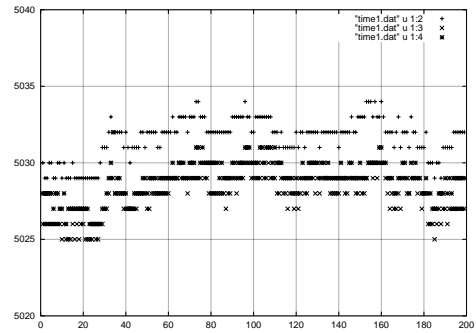


図 10: 立ち上がり検出時の受信時間のばらつき

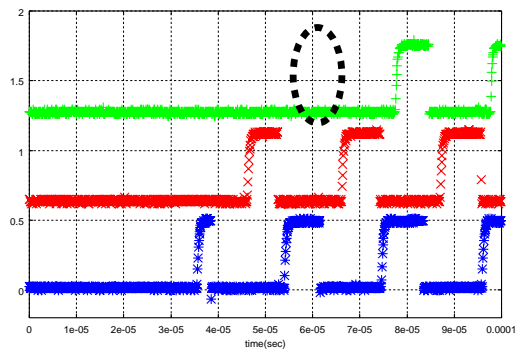


図 8: 一波ずれがある場合の受信信号の例

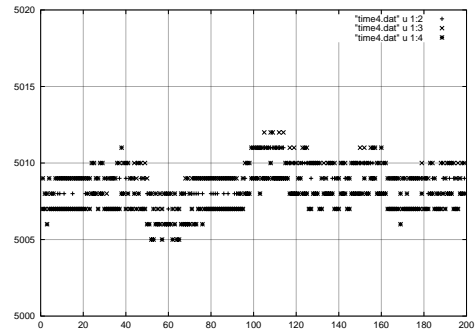


図 11: 立ち下がり検出時の受信時間のばらつき

を持つ受信回路に一波ずれが起こる。

図 7、8 は三つの受信器のそれぞれの受信波形を閾値処理したものを示している。一波ずれがなければ図 7 に示すような受信波形となるが、一波ずれがある場合は、図 8 に点線で囲んだ受信が行われるはずのタイミングで受信が行われない。この問題に対しては、式 (2)(3)(4) で計算した三つの角度がほぼ等しい値でなかったら一波ずれがあったと検出できる。その場合、どこかの受信器で一波、あるいは二波のずれがあったと仮定してすべての場合について計算し、三つの角度がほぼ等しい値になる場合の値を採用することで対応する。

さらに図 7 に示すように、各受信回路における一波目の受信波形は、その持続時間について異なった形となる場合がある。これは、受信波の一波目は強度がとくに弱く、その波形が図 9 に示すように左側がなだらかで右側がやや急峻な山型になっていることが多いため、受信回路の閾値を超えるタイミング

が異なるからである。そのため、測定ごとの微妙な信号強度の変化により、ある測定時の受信は a のタイミングで受信と判定され、別のある測定時には b のタイミングで受信と判定されることが起こる。このようなずれが図 7 に示すような各センサの受信波形の違いを生み、結果としてこの違いが受信時間のばらつきをもたらす。図 10 は、対象物までの距離を固定して連続 200 回測定した時の、各受信器における受信時間を、測定回数を横軸にとって示したものである。距離が一定であるにもかかわらず、受信時間がばらついていることがわかる。ここで、図 9 の下図をみるとわかるように、立ち上がりで閾値を超える時間の差 $T1$ と立ち下がりでの閾値を超える時間の差 $T2$ を比べてみると $T2$ の方が小さい。そこで、受信の判定を立ち上がりではなく、立ち下がりで行うように変更した。その結果、図 11 に示すように、ばらつきを多少低減することができた。

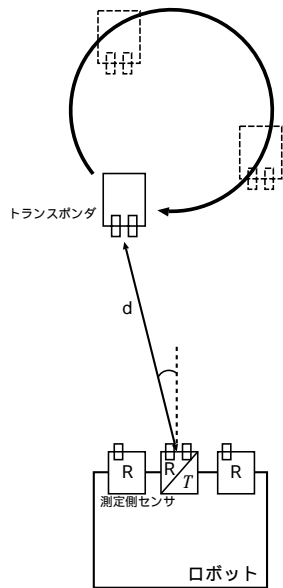


図 12: 目標物のトラッキング実験

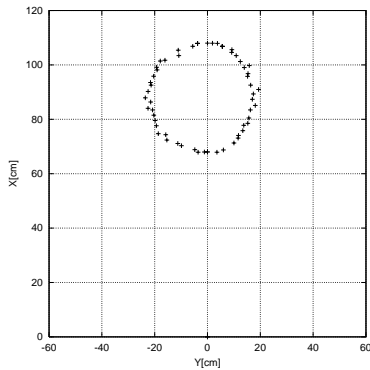


図 13: 目標物のトラッキング結果

5.2 目標物側トランスポンダ

目標物側のトランスポンダは、受信した超音波の受信間隔が送信側の設定した値だった場合、測定側とは異なる間隔でダブルパルスを送信する。受信したら送信するという反射的な動作なのでハードウェアのみで構成する。

具体的には、超音波送受信回路基板 1 枚と、受信した超音波が送信側から発せられた 5.0[msec] 間隔のダブルパルスかを判定するための CPLD(内部の回路記述が変更可能な IC) で構成した。トランスポンダから送信するダブルパルスの送信間隔は 5.1[msec] とした。

6 実験結果

図 12 に示すように、測定側センサの前方でトランスポンダを手で円周上を動かし、その位置をトラッキングする実験を行った結果を図 13 に示す。同図において、ロボットの位置を原点としている。実験結果より、トランスポンダが円周上を移動した軌跡

が描かれており、本システムにより目標物の位置が正しく検出されていることがわかる。

次に測定側センサの前方でトランスポンダを二次元的に走査して、測定可能範囲を求めてみた。この実験の結果を表 1 に示す。ただし、ここではトランスポンダは常に測定側センサの方向を向くようにして計測を行った。 $\theta=0$ 度での最大測定可能距離 d は 210cm であった。測定角度は比較的広いと言えるが、実際の応用場面においては送受信器の複数化が必要になる可能性もある。

表 1: 測定距離と測定可能角度の関係

距離 d [cm]	角度 θ [deg]
150	50
190	50
200	45

7 まとめと今後の課題

本稿では、人と共に移動するロボットに必要な人間の位置検出方法として、超音波トランスポンダによる特定目標物の位置検出方法の手法について述べた。複数受信器を用いた角度測定方法、ダブルパルス法による超音波の区別の方法を説明し、角度測定で問題となる一波ずれについては対応アルゴリズムを示し実験によりその有効性を確認した。受信回路の特性によるずれに対しては、受信判定を立ち下がりによって、若干の精度向上を見た。

今後は、測定位置の精度を検証するとともに、画像などを用いた他手法との比較を行う予定である。さらに、ロボットの人間への追従動作を実現していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 南雲陽介、大矢晃久「発光器をガイドとした自律移動ロボットの人間追従」ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集 2P1-H6(2001)
- [2] 永島良昭、大矢晃久、油田信一「移動ロボットのための壁面計測用超音波センサ」日本音響学会誌 51 巻 1 号 pp.39-42 (1995)
- [3] 丹沢勉、清弘智昭、森英雄「屋外移動ロボットのための雑音に強い超音波センサ」日本ロボット学会誌 Vol.15 No.4,pp.542-549 (1997)
- [4] Lindsay Kleeman "Fast and accurate sonar trackers using double pulse coding" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Kyongju, Korea, pp.1185-1190 (1999)
- [5] 高畑志生、大矢晃久「人間と共に移動するロボット-超音波トランスポンダによるターゲットイメージング-」日本音響学会 2001 年秋季研究発表会講演論文集 pp.1259-1260 (2001)