

DA
2364 (HG)
1999

Direction Measurable Ultrasonic Sensing Systems for Mobile Robots

Teruko Yata
March 2000

Doctral Program in Engineering
University of Tsukuba

寄贈
矢田晃子氏

00301859

Abstract

It is becoming reality that robots act in our living life environment in recent years. Not only in special environment as like factory but also in our daily living office buildings, robots are working without disturbing us. It is important for robot to know environment around itself, in order to move around us safely especially at such conditions. Ultrasonic sensor is one of the most popular external sensor among various external sensors for mobile robots.

A pulse-echo method which transmit a pulse and measure distance using time-of-flight is often used for mobile robot ultrasonic sensor. However, it is difficult to measure accurate bearing angle because of its wide beam width. On the other hand, the reflecting objects in indoor environment can be considered as specular in regard to an ultrasonic wave length in the air. When ultrasound reflect specularly, an area corresponding to a leading edge of an echo is assumed as a point. Consequently, if it is possible to improve bearing measurement accuracy, the ultrasonic sensor can measure the reflecting point. The reflecting point shows special feature of the environment, for example position of corner or bearing angle of wall, which are quantitative information. It is very useful for environment recognition of mobile robots to detect those reflecting points which show such information accurately. In a word, it is really important to develop accurate direction measurable ultrasonic sensor for mobile robots. Moreover, simplicity and real-time operation are also important to use it for moving mobile robots.

Purpose of this research is the development of highly efficient ultrasonic sensors for indoor mobile robots environment recognition. Especially, it emphasized to improve a weak point of ultrasonic sensor, bad bearing accuracy, without injuring merit, fast measurement speed. For this purpose, fast and accurate reflecting points measurement method are proposed, and their usefulness are confirmed by actual proofs on mobile robots in this research.

Two fast and accurate reflecting point measurable methods are concretely investigated and studied:

- Fast and accurate bearing measurement by a single transducer using frequency directional dependency.
- Fast and accurate reflecting points measurement of all around the robot based on sonar-ring by using multiple transducers and time-of-flight difference.

These methods were implemented on real mobile robots, and investigation of fundamental efficiency are done to confirm its usefulness. In applications of mobile robots motion, wall-following and environment map generation, it gets excellent results that mobile robot can earn good environment information using those direction measurable ultrasonic sensors.

移動ロボットのための方位計測超音波センシングシステム

筑波大学 工学研究科 矢田晃子

論文概要

近年、ロボットが私たちの生活する環境の中で一緒に活動していく、ということが現実となりだしている。工場などの特殊な環境だけでなく、私たちが普通に生活している建物の中でも、私たちの邪魔をすることなく動き回り自分の仕事をしているロボットたちがすでに存在している。このように、ロボットが私たちの身近で安全に動き回るためには、ロボット自身が自分の周りの環境を知るための外界センサが重要である。この数ある外界センサの中で、超音波センサは移動ロボットにもっとも良く使われている外界センサの一つである。

移動ロボット用の超音波センサでは、パルス波を送信してその超音波伝搬時間を使い距離を計測する、パルスエコー方法が広く利用されている。この方法では、超音波の指向性が広いために方向精度の高い計測をすることが難しい。一方、室内環境に存在する物体の多くが空中で使用される超音波の波長に対して鏡面である。超音波が鏡面反射をするならば、反射波のリーディングエッジをあたえる反射領域はほぼ点になる。したがって、方位計測精度を向上させることができれば、超音波センサはその反射点を計測することになる。この反射点は環境中の特徴、例えば角の位置や壁の傾きなどを定量的に表す情報となる。このような情報を示すこの反射点を、精度良く検出することは移動ロボットの環境認識に大変有用である。つまり、方位精度の良い超音波センサを開発することは、移動ロボットのための超音波センシングではもっとも重要である。さらに、実際にロボットが動きながら使用するには、簡素であることと実時間性があることもまた重要となる。

本研究は、室内用の移動ロボットに使用する超音波センサシステムの性能を向上させることを目的としている。特に、超音波センサの長所とされる計測速度を損なうことなく、従来より超音波センサの弱点とされていた方位精度を向上させることに重点をおく。本研究ではこの目的に対して、高速・高精度に反射点の方位を計測する手法を提案し、その手法を実証して、有用性を確認している。

具体的に本論文では、二つの高速・高方位精度超音波センシング手法が提案されている：

- 単一トランスデューサによる周波数方位依存性を利用して、高速に精度良く反射点位置の計測を行なう方法
- ソナーリングを基礎として、複数のトランスデューサを同時に用い、超音波伝搬時間の差を使用することにより、ロボットの全周方向にわたり高速に精度良く複数の反射点位置を計測する手法

これらの提案を実際に、ロボットに搭載して評価した結果、これらの手法を用いた超音波センサにて方位精度良く反射点位置の計測が行なえた。この結果を実際の移動ロボットの壁沿い走行や環境地図作成に適用したところ、これら方位精度の良い超音波センサを用いることにより、移動ロボットに有用な環境情報を実際に獲得できることを実証できたという成果がえられた。

Contents

I	Introduction	1
1	Introduction	2
1.1	Mobile robots and sensors	2
1.2	Ultrasonic sensing	3
1.2.1	Pulse-echo method	3
1.2.2	Improved pulse-echo methods – previous research	6
1.3	Indoor environment	11
1.3.1	Specularity	11
1.3.2	Reflecting points	11
1.4	Requirements for mobile robots ultrasonic sensors	14
1.5	Purpose of this research	15
1.6	Results of this research	16
1.6.1	Bearing measurement by a single transducer	16
1.6.2	Direction measurable sonar-ring	17
1.7	Thesis outline	18
II	Bearing measurement by a single transducer	19
2	Introduction to bearing measurement by a transducer	20
2.1	Theoretical back-ground	20
2.1.1	Signal transformations in pulse-echo method	21
2.1.2	Modeling the direction dependency of an echo signal	21
2.1.3	Direction Dependency Model in Frequency Domain	22
2.2	Main idea	24
2.3	Overview of Part II	24
3	Proposal of bearing measurement using frequency	25
3.1	Bearing measurement by frequency difference	25
3.2	Measuring method	25
3.2.1	Use of zero crossing	26
3.2.2	Use of a look-up table	26
3.3	Summary	26

4	Experiments on bearing measurement by a transducer	28
4.1	Frequency characteristics	28
4.1.1	Experimental setup	28
4.1.2	Direction dependency	29
4.1.3	Target dependency	31
4.1.4	Distance dependency	32
4.1.5	Comparison with the mathematical model	37
4.1.6	Discussion on frequency characteristics	37
4.2	Evaluations	37
4.2.1	Setup	39
4.2.2	Results	41
4.3	Application to the mobile robot	49
4.3.1	Robot	49
4.3.2	Processing flow	49
4.3.3	Experimental environment	52
4.3.4	Experimental result	52
4.4	Discussion on the experiment	56
5	Conclusion to bearing measurement by a transducer	57
5.1	Discussion	57
5.1.1	Merits	57
5.1.2	Limitations	58
5.1.3	Applications	58
5.2	Conclusion	58
III	Direction measurable sonar-ring	60
6	Introduction to direction measurable sonar-ring	61
6.1	Background	61
6.1.1	Conventional pulse-echo ultrasonic sensors	61
6.1.2	Sonar-ring	62
6.1.3	Accurate reflecting point measurement	62
6.1.4	Multiple objects detection	63
6.2	New sonar-ring	63
6.3	Overview of part III	67
7	Fast and accurate direction measurable sonar-ring	68
7.1	Basic ideas	68
7.2	Difference from previous methods	69
7.3	Summary	71

8	Direction measurable sonar-ring system design	72
8.1	System architecture	72
8.2	Hardware	73
8.2.1	Robot	73
8.2.2	Piezo-electric transducer	73
8.2.3	Omni-directional transmission	76
8.2.4	Receivers	76
8.2.5	Omni-directional horn	80
8.2.6	Time-of-flight measurement	80
8.2.7	30 channel 1bit wave memory	80
8.3	Software	85
8.3.1	Multiple echoes detection	85
8.3.2	Correspondence to objects	85
8.3.3	Calculation : distance and angle	89
8.3.4	One wave length error	91
8.4	Summary	94
9	Experiments of direction measurable sonar-ring	97
9.1	Evaluation experiments	97
9.1.1	Omni-directional horn	97
9.1.2	Omni-directional transmission	100
9.1.3	Accuracy	100
9.1.4	Processing speed	100
9.1.5	Discussion	100
9.2	Environment recognizing experiments	109
9.2.1	Experiments at Environment I	109
9.2.2	Experiments at Environment II	109
9.2.3	Discussion	110
9.3	Conclusive discussion on the experiments	110
10	Conclusion to direction measurable sonar-ring	120
10.1	Discussion	120
10.1.1	Merits	120
10.1.2	Limitation	120
10.1.3	Future works	121
10.2	Conclusion	121

IV Conclusion 122

11 Conclusion	123
11.1 Discussion	123
11.1.1 Bearing measurement by a single transducer	124
11.1.2 Direction measurable sonar-ring	124
11.2 Conclusion	125
 Bibliography	 127