

# 人間追従ロボットのための超音波トランスポンダによる距離計測

## Distance Measurement for Human Following Robot Using a Ultrasonic Transponder

○椎名 誠 (筑波大)      正 大矢 晃久 (筑波大)  
正 油田 信一 (筑波大)

Makoto SHIINA, Univ. of Tsukuba  
Akihisa OHYA, Univ. of Tsukuba  
Shin'ichi YUTA, Univ. of Tsukuba

We are developing a mobile robot which can follow the target person using ultrasonic transponder. The ultrasonic transponder can extend the measurable distance. Also, it can measure the distance only to a specific object. In report, we show the sensor system and some experimental results using the system. First, accuracy of the measurement using the ultrasonic transducers which have different center frequency is tested. Second, measurable distance is investigated in several height conditions between the sensor and the floor.

**Key Words:** Mobile Robot, Ultrasonic, Distance Measurement, Transponder

### 1. はじめに

近年、自律移動ロボットに人間を追従させる研究が盛んにおこなわれている。また、それらのロボットはレーザスキャナを用いて人物の足を検出しそれを追尾するものや、ステレオカメラで人物を識別しその人物までの距離を視差から求めて追尾するものなど挙げればきりが無い[1, 2]。しかし、これらのロボットに搭載されているセンサは高価であることや計算コストが高いことが問題となる。より安価に、低計算コストで実現したいという要求も多く存在する。そこで、より安価な測距センサである超音波センサと超音波トランスポンダを用いることで、人間追従をより安価に低計算コストで実現できるセンサシステムを開発することを目標とする(図 1)。

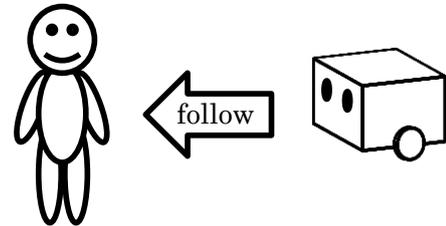


Fig.1 Human following robot

### 2. センサの構成

#### 2.1 超音波センサモジュール「HiSonic」

HiSonic の外観を図 2 に示す。HiSonic は図中右に示す電源回路と左に示す超音波センサ回路の 2 つからなる超音波センサモジュールである。この超音波センサは筆者の研究室で過去に開発されたものである。電源回路で 100V 以上の高電圧を作り出し、その後さらに超音波センサ回路に実装されたコイルにより 600V 以上に昇圧し、数十 ns という非常に短い間で放電することでインパルス駆動を実現している。さらに、受信回路にタイムスレッシュドコントロール回路を用いることで、近距離から長距離まで非常に精度よく測距することができるモジュールとなっている。詳細については参考文献を参照されたい[4]。

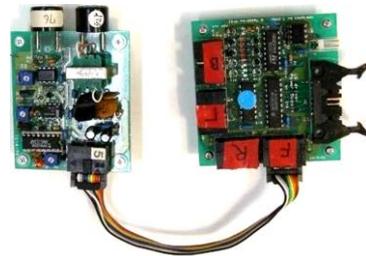


Fig.2 Ultrasonic sensor "HiSonic"

#### 2.2 PIC マイコン

筆者が所属している研究室では、移動ロボットプラットフォーム「山彦」を用いて研究を行っている。「山彦」は汎用ノート型 PC を利用して行動制御を行っている。したがって「山彦」で超音波センサを利用するためには、ノート PC に接続できる必要がある。ノート PC との接続は、簡単に接続できて広く利用されているプラットフォームである USB(Universal Serial bus)を利用することを考えている。これは、USB 機器はバスパワーによる動作ができ、5V 500mA までの電力であればポートから供給することができるからである。また、ホットプラグに対応しているためユーザーは使用したいときに特に意識をせずに抜き差しすることができるといった利点がある。これらを踏まえ、本センサシステムでは制御用マイコンに

MICROCHIP 製の PIC マイコンを利用することとした[5]。PIC はワンチップマイコンであり少ない回路素子で動作するだけでなく、USB2.0 モジュールを内蔵しているモデルもあるので、構成をシンプルかつ安価に実現することができる。

今回は本センサシステムの特性を調べることを目標としているのでセンサデータを小型の液晶ですぐに見ることができるようにとした。また、マイコンは PIC16F877A を使用した。

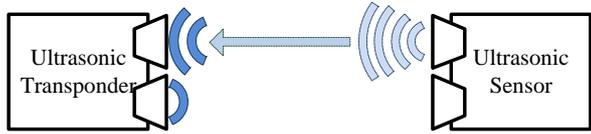
#### 2.3 超音波トランスポンダ

超音波センサは指向角が広く、その検出エリア内にあるものすべてが測距対象になってしまう。そのため、複数の対象物がある場合その位置を検出することはできるがどの物体がどの位置にあるのかを把握することができない。そこで、追従する対象に超音波トランスポンダを持たせ、追従対象からの超音波のみを選択的に受信することで人間の位置を認識させる手法を採用した。

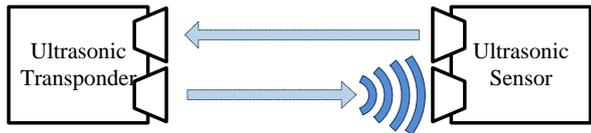
ここで、超音波トランスポンダを利用した測距について説明する。概念図を図 3 に示す。図に示したように次の流れで



(a) Ultrasonic sensor emit ultrasonic wave



(b) When transponder receive ultrasonic, it responds with sending ultrasonic



(c) Distance measurement by TOF (time-of-flight) method

Fig.3 Ultrasonic transponder

距離を測定する。

- (a) 超音波センサから超音波を放射する
- (b) 超音波トランスポンダは超音波を受信したら、超音波を送り返す
- (c) TOF を利用して距離を求める

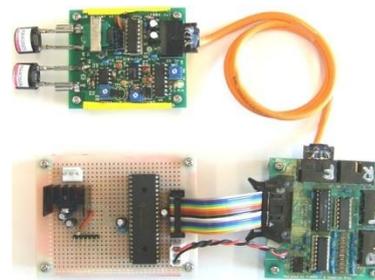
また、この手法を実現するには、障害物等に反射した超音波とトランスポンダによって送信された超音波とを区別する必要がある。これらの判別が可能であれば、対象人物を追尾しながら障害物回避をすることが可能となる。判別の手法には、センサごとに超音波の周波数を変える方法と送信パターンを複数用意する方法、そして時間で分離する方法等が考えられる。現時点では、本システムの特徴を実験的に求めることが目的であるのもっとも簡単に実装できる時間分離を採用することとした。また、時間で分離するために応答性が犠牲になるので人間を追随する上でさらに応答性を高める必要があると判断された場合、もしくは、より安定した測距が必要になった場合には送信パターンを複数用意する手法に変更する予定である。また、その中でも実装が容易であるダブルパルス法を利用する予定である。ダブルパルス法を用いた超音波トランスポンダによる位置検出についての詳細は参考文献を参考されたい[5]。

## 2.4 本センサシステム

図 4 に今回作製したセンサシステムを示す。本センサシステムは(a)超音波センサによる測距部と(b)超音波トランスポンダの二つで構成される。また、超音波センサによる測距部は図(a)中の上にある超音波センサモジュールと下にある測距部の二つで構成され、測距部は HiSonic 用電源回路と制御用 PIC マイコン、そして測距データ表示用の LCD で構成される。そして、トランスポンダは図(b)中の上にある超音波センサモジュールと右下にある HiSonic 用電源回路と左下にある制御用 PIC マイコンの三つで構成される。超音波センサによる測距部と超音波トランスポンダを向い合せて置くことで、それぞれの超音波トランスデューサ間の距離を TOF(time-of-flight)を用いて測距する。

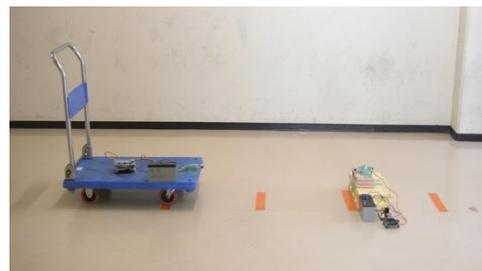


(a) Measurement unit

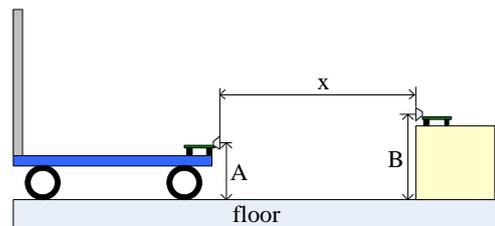


(b) Ultrasonic transponder

Fig.4 Sensor system



(a) Experimental environment



(b) Experimental condition

Fig.5 Experimental methodology

## 3. 超音波トランスポンダによる測距実験

### 3.1 実験方法

実験環境と実験条件を図 5 に示す。超音波センサを台車に固定し、発泡スチロール製のブロックの上に超音波トランスポンダを固定した。また、台車に固定した超音波センサの床からの高さを A、超音波トランスポンダの床からの高さを B、センサ間の水平距離を x とした。それぞれの超音波センサの高さは発泡スチロール製のブロックを利用して変化させた。

これらの条件で二つの実験を行った。一つ目は、25kHz と 40kHz の二種類の周波数の超音波トランスデューサを用い、センサの床からの高さを 18cm、28cm に変化させて測距したときの最大測距距離と精度を調べる実験。二つ目は、40kHz の超音波トランスデューサを用いて A、B の高さを変化させたとき、安定して測距ができるエリアを調べる実験である。

### 3.2 実験1

#### 実験結果

実験結果を表1に示す。実験から、40kHzのトランスデューサを床から18cm離れたときに1m~2mの範囲で1%を大きく上回った誤差が発生したほかは、おおむね誤差1%以内に収まっていることが分かった。

25kHzのトランスデューサを用いた場合最大およそ11.5mまで測距でき、40kHzのトランスデューサを用いた場合最大およそ8mまで測距できることが分かった。

40kHzのトランスデューサを用いた場合5m付近で不安定な挙動を示し、まったく測距できない場所が存在した。今回の実験では不安定な挙動を示しても測距できるときがあればそのときの値を記録した。

#### 考察

不安定な挙動を示した原因は、超音波センサとトランスポンダとの最短距離(直線距離)と床に反射してたどり着く経路長との距離の差が40kHzの超音波の1.5波長分の長さであり、互いに位相が $\pi$ radずれているために打ち消し合っていることが原因であると考えられる。同様に25kHzのトランスデューサの場合にも7m以降不安定な動作を示すことがあった。これらの挙動はHiSonicの受信回路のGainによって変化するため個体差があるほか、実験時の環境にも多少左右される。

### 3.3 実験2

#### 実験結果

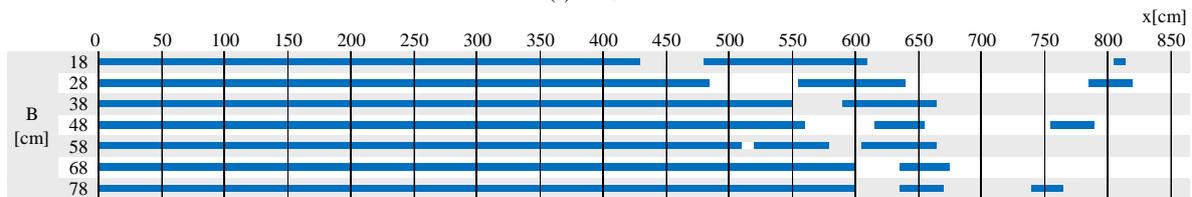
実験結果を図6に示す。安定して測距できるエリアを塗りつぶした。実験2では90%以上の確率で安定して測距できたエリアのみを記録した。したがって、実験1では測距できると判定したエリアで今回は除外されている部分もある。

Table 1 Experimental result 1

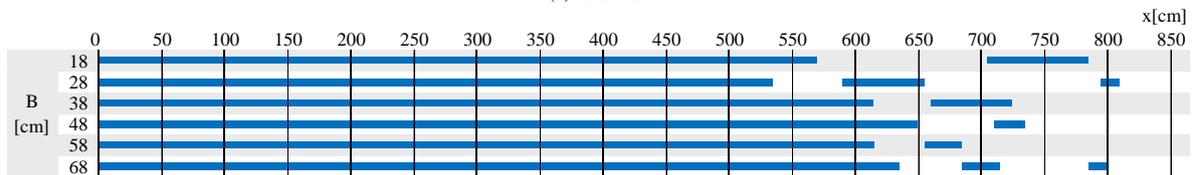
			Actual distance x[mm]																
			1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	7000	8000	9000	10000	11000	11500
Measurement distance [mm]	25 kHz	A,B=18 cm	1002	1511	2009	2511	3007	3508	4003	4502	5004	5508	6012	7019	8032	9030	10006	11001	11497
		A,B=28 cm	1013	1512	2024	2512	3010	3520	4023	4520	5009	5516	6020	7009	8029	9008	9989	10986	11493
	40 kHz	A,B=18 cm	962	1458	1965	2469	2981	3474	3973	4493	—	5492	6014	6997	8051	—	—	—	—
		A,B=28 cm	991	1496	1994	2498	2990	3497	3997	4495	5002	—	6008	7008	—	—	—	—	—



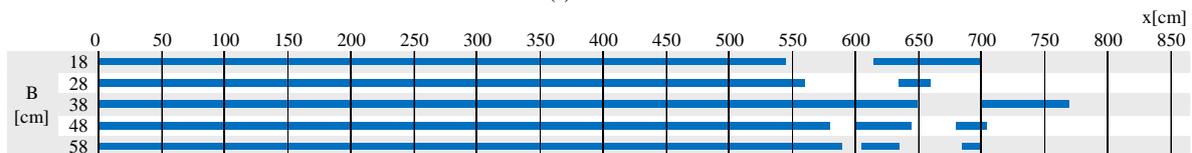
(a) A=18cm



(b) A=28cm



(c) A=38cm



(d) A=48cm

Fig.6 Experimental result 2

## 考察

実験結果から床からある程度離れたほうがより安定して測距できることがわかる。これは、床から離すことで床から反射した超音波による影響が少なくなったためだと考えられる。実際に人間追従に用いるシーンを考えると、人間に取り付けるトランスポンダの床からの高さ  $B$  はおよそ 80~100cm であり、ロボットに搭載するセンサの床からの高さは 20cm 以上であると考えられることから、実験結果より 5~6m 程度まで安定して測距できると考えられる。これは、人間追従用測距センサとしては十分な距離と考えている。また、さらに長距離の測距を行いたい場合には 25kHz のトランスデューサを利用することで距離を伸ばすことができる。

## 4. おわりに

著者らは、人間を追従する移動ロボットのための超音波センサを開発することを目標としている。本稿では、超音波トランスポンダを利用した測距システムを構成し、複数の周波数で高さを変化させ最大測距距離と精度を調べた結果について述べた。また、床からの反射の影響がどの程度あるか調べるために超音波センサと超音波トランスポンダの高さを変化させて測距実験をおこない、安定して測距できるエリアを調べた。これらの結果から、人間追従に耐えうる性能を有することを示した。

今後、人間追従を行うために対象人物の方向を求められるようシステムを改良する予定である。また、実際にロボットに搭載して人間追従実験を行う予定である。

## 文 献

- [1] 岡本球夫, 後藤孝周, 姉崎隆, 足達勇治, 杉ノ内剛彦: "人追従荷物搬送ロボットの開発—第2報:技術内容—", 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1122, 2005.
- [2] 船田純一, 西沢俊広, 長田純一, 大中慎一, 藤田善弘: "チャイルドケアロボット PaPeRo における超音波タグの利用", 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1113, 2005.
- [3] 大野孝之, 大矢晃久, 油田信一: "送受信回路の改良による超音波センサの測距性能の向上", 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1093-1094, 1994.
- [4] Microchip Technology Inc.  
<http://www.microchip.com/>
- [5] 高畑志生, 大矢晃久: "超音波トランスポンダによる特定目標物の位置検出", 第7回ロボティクス・シンポジウム予稿集, 22A2, pp.275-278, 2002.