

超音波パルス反射法による近傍場空間情報の可視化

Visualization of Spatial Information in Near-field by Supersonic Pulse Echo Technique

平田 克己*・橋本 泰治**

Katsumi HIRATA* and Yasuharu HASHIMOTO**

Abstract: Toward development of useful environmental sensing system by using supersonic pulse echo technique, we construct a simple system to visualize the positions of objects in near-field. In this bulletin, after the outline of principles of supersonic pulse echo technique and visual localization of objects is given, we mention about constructed 2D-visualization system and result of experiments by the system, and the feature and effectiveness of proposed method and system are made clear.

1 はじめに

周囲の障害物などの有無やその位置、動き、さらには形状といった3次元空間情報を自動検出するシステムの開発は、様々な応用の可能性を秘めた重要な課題である。このようなシステムとしては、カメラを用いた画像情報の解析による方法やマイクロ波レーダによる方法などがよく用いられるが、暗中や水中においても有効であるのは、やはり、古くから用いられている超音波を用いるものである。潜水艦で用いられるソナーや魚群探知機、さらには医療現場で用いられる超音波診断装置など様々な用途に応用されているが、いずれも大がかりであったり高価であったりする。

そこで、我々はより簡素な装置で簡便に近傍場の空間情報を計測し、コンピュータ画面上に可視化するシステムの構築を目的とし、超音波パルス反射法を用いた手法について実験的に検討する。以下本稿では、超音波パルス反射法を含めて提案手法の基本原理を概説した後、実際に構築した実験系の構成とそれによる実験結果

の評価を通して、提案手法の可能性を明らかにする。

2 原理

2.1 超音波パルス反射法

元々、超音波とは人間が聞くことのできないような高い周波数の音波のことを指しており、主に計測の用途で使われてきた。しかし近年では低い帯域の音波も用いられることがあるため、特に周波数の高低にはかかわらず、「人が聞くことを目的としないような音波」のことを広く超音波と呼ぶようになってきた。

実際、超音波も普通の音波と同じ性質を有しており、ある音源で発生した超音波は伝搬距離の逆数で減衰しながら常温で約340 [m/sec] の速さで伝搬する。この性質を用いて、ある物体に向けて放射したパルス状の超音波が反射して返ってくるまでの時間から、その物体までの距離を推定する手法が超音波パルス反射法である。この方法を用いれば、物体の有無とそこまでの距離の推定が可能である。

2.2 空間情報計測

超音波パルス送信器と受信器を1組用いて、ある物体で反射した超音波の伝搬時間を測定すると、送信器と受信器それぞれから物体までの距離の和が求まる。すなわち、その物体が存在する楕円面が定まる。したがって、3組の送受信器を用いることで、3楕円面の交点から、物

* 小山工業高等専門学校電子制御工学科
** 筑波大学図書館情報専門学群 (平成17年3月小山工業高等専門学校電子制御工学科卒業)
* Department of Electronic Control Engineering, Oyama National College of Technology
** School of Library and Information Science, University of Tsukuba (Graduated from Department of Electronic Control Engineering, Oyama National College of Technology in March, 2005)

体の3次元位置が定まることになる。

以降、この考えによる空間情報計測法に関して、それを簡略化した、特定の2次元平面内計測の的を絞って実験を通して検討する。

3 空間情報可視化実験 I

図1に、今回構築した2次元平面内空間情報可視化システムのハードウェア構成を示す。前述の通り、3組の送受信器を用いる必要があるが、ここでは、3受信器 $R_1 \sim R_3$ に対し、1送信器 T を共有して用いることとした。PCからD/A変換器を通して T からパルスを出力すると、 $R_1 \sim R_3$ では、直接伝搬してきた直達波と、ある物体で反射してきた反射波を受信することができる。これをA/D変換器を通してPCに取り込む。この内、反射波の時間遅れの情報を用いて、近傍場に存在する物体をPCのモニタに可視化しようとするものである。

図2に、本システムでのデータ処理フローチャートを示す。受信信号に移動平均処理を施してパルス包絡線を得て、指定した閾値以上の部分を反射パルスとする。この反射パルスの遅れ時間から、物体の存在する可能性のある楕円を描画する。これを各受信信号に対して行い、そ

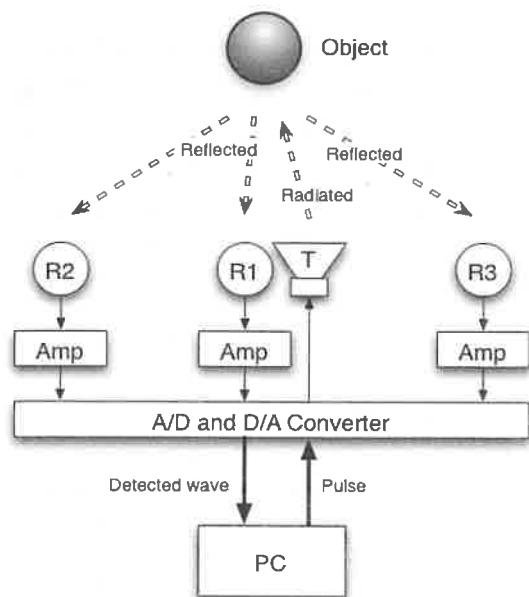


図1：ハードウェア構成

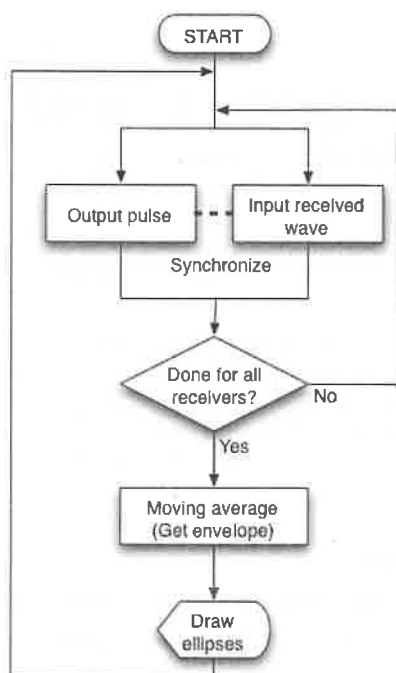


図2：空間情報可視化アルゴリズム

れらの交点から物体の位置を推定しようとするわけであるが、この時、各楕円はその元となった受信信号によって、赤、緑、青のいずれかの色で描く。例えば、 R_1 で受信した信号による楕円は赤で、 R_2 での受信信号によるものは緑で、残りは青でといった具合である。また、その濃度は反射パルスの振幅に比例させる。このことによって、全受信器で受信した反射パルスの振幅がいずれも大きいときに、楕円交点はより黒に近づき、物体が存在する確率が高い場所をより強調する効果が期待できる。

研究室に以上のようなシステムを構築し、物体の可視化実験を行った。なお、3受信器は35cm間隔で並べ、送信器は中央の受信器に隣接させた。また、物体としては内部を水で満たしたプラスチック製の球（直径約6cm）を3つ用い、互いに約15～50cm程度離して、送受信器列から70～120cm位前方に設置した。今回用いた送受信器は、中心周波数が40kHzの狭帯域型で、出力パルスの時間幅は0.075msecとした。

図3がその可視化結果の一例である。“□”

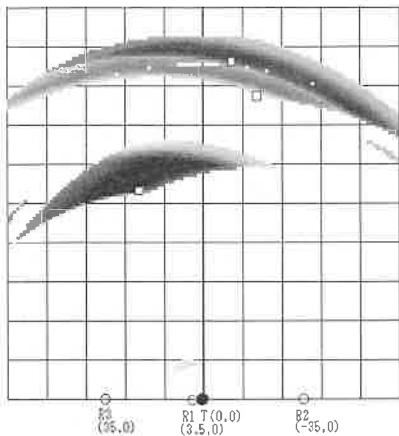


図3：3物体の可視化結果

印が実際の物体位置を示している。下の○印と●印はそれぞれ送信機と受信器であり、マス目は1マス約14cmである。何らかの色が付いている領域（以下、色付き領域と呼ぶ。）が、各反射パルスの時間遅れに対応する楕円が重なったところである。（印刷の都合上、本稿ではグレースケールで表しているが、実際にはカラーで表示される。以降の図も同様。）つまり物体が存在すると推測される場所に色が付くことになる。送受信器列に最も近い物体に対しては、その位置の色が黒くなっており、前述の期待通りに表示できている。どの色付き領域も実際の位置を含む形にはなっているが、物体の直径6cmに比べて、非常に大きく広がってしまっている。さらに、互いに近接している上方の2つに至っては、色付き領域が1つに合わさってしまい、上手く分離できていない。これらはどちらも、もともとの送信パルスにある程度の時間幅があるためと考えられる。前述の通り、PCから出力したパルスの時間幅は0.075msecであり、距離にして約2.6cmであるが、実際には送信器の性質上、パルス幅はもっと大きくなることが予想される。この問題に対処するために、受信信号に対して次節で述べるような操作を施した。

4 空間情報可視化実験Ⅱ

反射波形を観察したところ、本実験で用いたような球状の物体に対する反射パルスはほぼ同

じ幅を持っており、その形状もよく似ている。さらにこれらは、送信パルスの直達波によるものと思われる受信パルスとも似ていた。このことを利用して、反射波を直達パルスが減衰して遅れ時間がかかったものの和として近似し、その遅れ時間と振幅減衰の情報だけを上手く取り出す方法を考案した。

まず、受信信号 $r(t)$ の先頭に必ず現れる直達パルス $d(t)$ とその立ち上がりからピークまでの時間 t_0 を測定する。次に $r(t)$ の直達パルスに後続して現れる反射パルスに対して、その立ち上がり時刻から t_0 後の振幅を n_k とする。つまり、

$$n_k = r(t_k + t_0), \quad k=1,2,3,\dots \quad (1)$$

ただし、 t_k は k 番目の反射パルスの立ち上がり時刻である。このようにして求めた減衰係数 n_k と時間遅れ t_k と基準とする直達パルス $d(t)$ を用いて、受信信号は次式のように近似する。

$$\hat{r}(t) = \sum_k n_k d(t - t_k) \quad (2)$$

これをここでは予測受信信号と呼ぶ。以上の操作を、予測誤差 $e(t)$ 、すなわち、

$$e(t) = \hat{r}(t) - r(t) \quad (3)$$

のパワーが十分小さくなるまで繰り返し行う。このような処理を施すことによって、パルス時間幅の影響を軽減することができ、ひいては物体が互いに近接したような場合でも、それぞれの反射パルスを分離することが可能となる。図

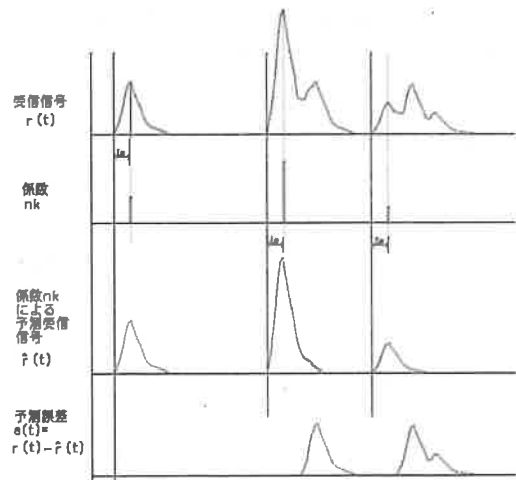


図4：受信信号の直達パルス和による近似

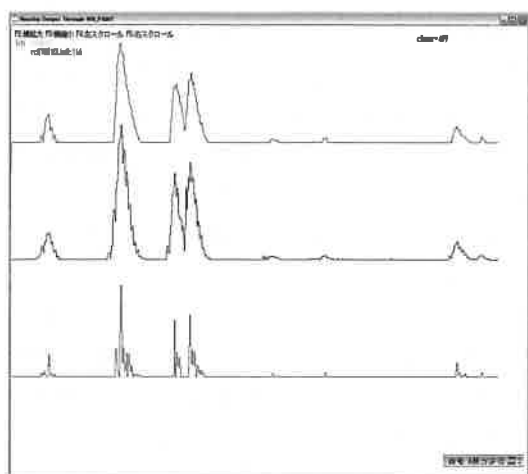


図5：減衰時間遅れ係数列の予測結果

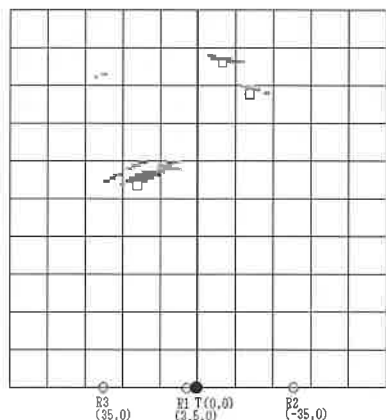
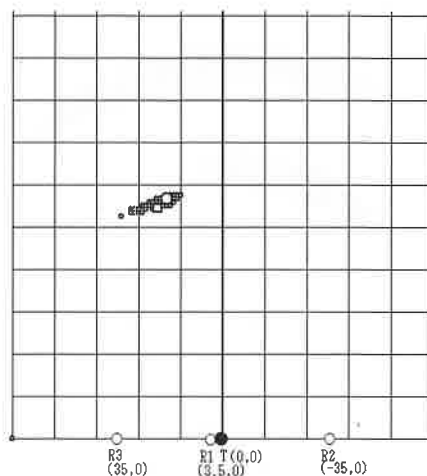


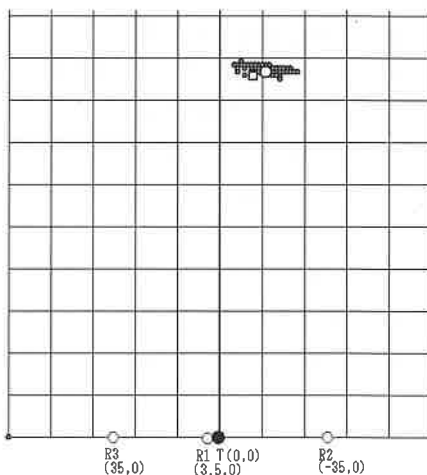
図6：3物体の可視化結果（改良版）

4に以上の操作における各波形のイメージ図を示す。上段からそれぞれ受信信号 $r(t)$ 、各パルスに対応する減衰係数 $n_k(t_k)$ の列、予測受信信号 $\hat{r}(t)$ 、予測誤差 $e(t)$ を表している。

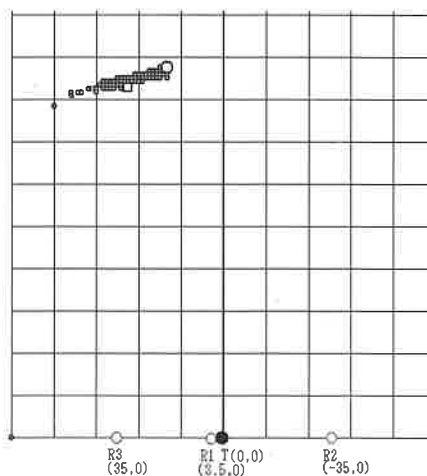
この処理を実際の受信信号に対して行った結果の一例を図5に示す。上段が受信信号、中段が予測受信信号、下段が減衰時間遅れ係数列 $n_k(t_k)$ である。元の受信信号の各反射パルスに含まれる時間遅れと振幅減衰の情報はそのまま、パルス幅を狭くすることができている。特に近接していたパルスは上手く分離できていることが分かる。可視化において受信信号の代わりに、この係数列 $n_k(t_k)$ の波形を用いることによって、物体の表示をより局所化することができるものとする。



(a) パターン1



(b) パターン2



(c) パターン3

図7：推定位置の分布図

図6が、この方法により物体の可視化を行った一例である。物体の位置をはじめとするその他の条件は図3に示したものと全く同じである。実際の物体位置のところに小さくまとまって色付き領域を表示することができ、物体が近接していても上手く分離できている。このことから直達パルス波形の和で反射波形を表して、各反射パルスの振幅減衰と時間遅れ情報を抽出すれば、パルス時間幅の影響を軽減できることが確認できた。

次に、色付き領域として表示された物体の推定位置について、その正確さを簡便に評価した。ここでは、色付き領域中の最も黒い部分を推定位置とする。対象物体の位置は、送受信器の近くにある場合（パターン1）、遠くで送信器のほぼ正面にある場合（パターン2）、遠くで送信器の正面から少し外れたところにある場合（パターン3）の3通りとし、各パターンについて250回位置推定を行った。なお、送信器からの距離は近いものが77cm、遠いものが118cmである。

図7に推定位置の分布図を示す。□印が実際の位置、○印が各回の推定位置を表している。ただし大きな○印は250回目の推定位置である。1マスのスケールは約14cmである。いずれも送受信器列に対して距離方向にはばらつきが非常に小さく、それと直交する角度方向にはばらついていることが分かる。また、実際の位置よりも送受信器から遠い側に偏っている。前者は物体までの距離に対して送受信器の設置間隔が小さいために角度方向の分解能が悪くなっているからであると考えられる。後者の偏りについては、送信パルスの出し始めを遅れ時間計測の基準としているにも関わらず、推定位置は反射パルスのほぼピークの部分を用いているためであると考えられる。これに対しては、送信パルスのピーク時刻を遅れ時間計測の基準とするなどの措置が今後必要である。

物体の大きさや材質等のその他の条件によって様々であると考えられるが、今回の実験結果

から、1m先にある直径約6cmの球状物体に対して、7cm程度のズレと3cm程度のばらつきでその位置を推定可能であることや、物体が送受信器に近い程ズレやばらつきが小さいことが確認できた

5 おわりに

1点の送信器から超音波パルスを放射して、3点の受信器で検出した反射波に含まれるパルスの時間遅れの情報を用いて、近傍場に存在する物体の位置をコンピュータのディスプレイ上に可視化する簡便なシステムを構築し、実験を通してその有効性を検討した。その結果、送信パルスの時間幅が物体の位置の局所化に悪影響を及ぼしていると推察した。そこで、直達パルス波形を用いてパルス時間幅の影響を極力抑えて反射パルスから振幅減衰と時間遅れの情報のみを抽出する方法を考案した。この手法を適用したところ、物体の位置を効果的に局所化することができた。

今後、物体の大きさや材質を変えた場合についての検討も必要である。

参考文献

- 1) デジタル信号処理ハンドブック、電子情報通信学会編（1993）。

「受理年月日 2005年9月26日」

