

超音波トランスミッタの PWM 駆動法に関する研究

PWM Driving Method for Ultrasonic Transmitters

○ 桧山 昌之, 江村 超, 熊谷 正朗

○ Masayuki Hiyama, Takashi Emura and Masaaki Kumagai

東北大学 工学部

Faculty of Engineering, Tohoku Univ.

キーワード: 超音波トランスミッタ (Ultrasonic Transmitter), 指向性 (Directivity),
パルス幅変調 (PWM), デューティ比 (Duty Ratio)

連絡先: 〒 980 - 77 東北大学工学部 機械電子工学科 メカトロニクス設計学
桧山昌之, Tel. : (022) 217-6969, Fax. : (022) 217-7027,
E-mail : hiyama@emura.mech.tohoku.ac.jp

1. はじめに

超音波センサは, ロボットの距離センサとして幅広く利用されている. 現在では障害物までの距離計測ばかりでなく, 反射物体の方向検出¹⁾や, 様々な方法による指向性制御²⁾なども行われている. 筆者らはこれまでに, より遠距離の障害物検出を目指し, 2次元平面における指向性の向上を実現してきた^{3,4)}. この時, 超音波トランスミッタは汎用の OP アンプを介して, 約 26 Vp-p, 40 kHz の正弦波の電圧で駆動されていた.

しかしながら, 遠距離に存在する物体の検出には, 超音波出力のさらなる増大が必要となる. すなわち, 駆動電圧の増大, あるいは個数の増加が不可欠となる. ここで, 個数増加はセンサのコンパクト性や調整の容易さなどから制限が存在するため, 駆動電圧の増大が妥当な方法となる. しかし, 著者らがこれまで行っ

てきた方法では, より高出力の OP アンプを複数個使用する必要が生じコストがかかってしまう.

そこで今回, 正弦波ではなく矩形波を用いてトランスミッタを駆動することとした. これまでと同様に, 異なる駆動電圧を加えて指向性を向上することも可能であるが, 複数の電源が必要となってしまう. それ故, 駆動電圧の大きさではなくパルスの幅を変化させることにより, 超音波の指向性を制御することを試みた. 本報告ではパルス幅と超音波出力の関係, 複数のトランスミッタの駆動法, ならびに測定結果について述べる.

2. PWM 駆動

2.1 Duty ratio の定義

今回用いた超音波センサはユニモルフ型であり, 正弦波ではなく矩形波を用いるので,

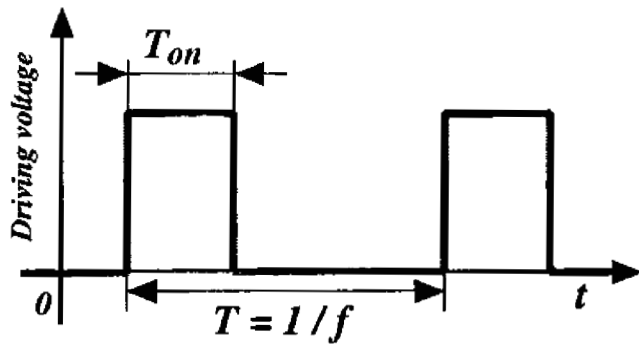


Fig. 1 Definition of Duty ratio

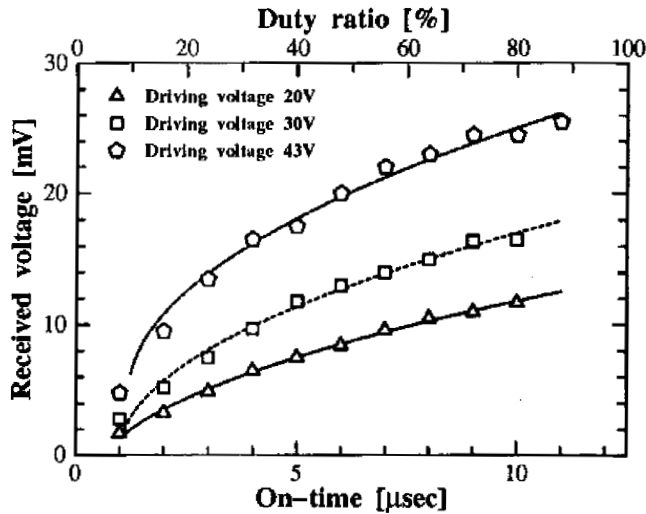


Fig. 2 Effect on output power by Duty ratio

トランスミッタの駆動は片振りとする。次に、Fig.1 に示される矩形波を用いて、本論文で用いる Duty ratio D_R を定義する。

$$D_R = T_{on} / (T / 2) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

ここで、 T は周期、 T_{on} はパルス幅である。つまり、 D_R は通常用いられるデューティ比の2倍の値を有する。40kHz の公称周波数のトランスミッタを用いる場合、パルス幅 $T_{on} = 12.5 \mu\text{sec}$ が $D_R = 100\%$ に相当する。

2.2 Duty ratio と超音波出力

Fig.2 に Duty ratio と超音波出力との関係を示す。これは、トランスミッタとレシーバを 2m の距離だけ隔てて対面させ、受信電圧を測定した結果である。なお、できるだけ反射などの影響を抑えるために、測定は屋外で行っ

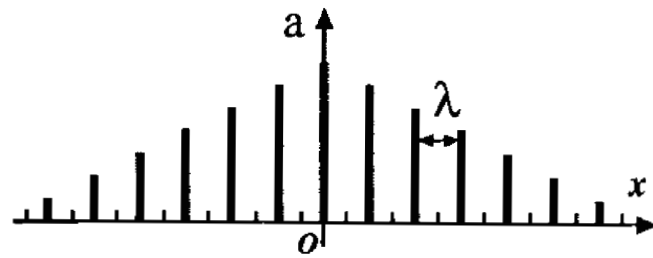


Fig. 3 Design of transmitters array

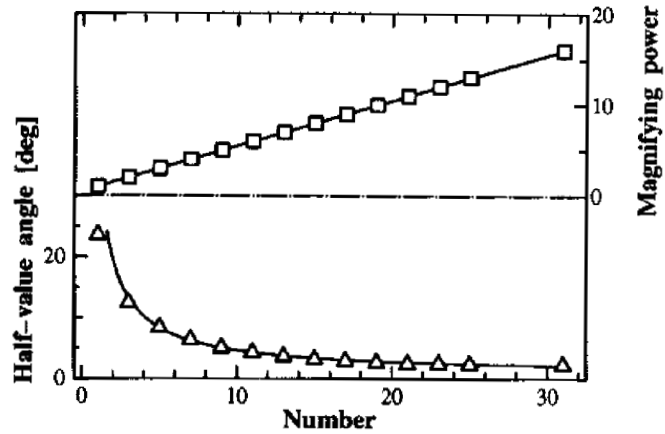


Fig. 4 Improving by multiple transmitters

た。ここで、Fig.2 は Duty ratio の平方根の形で近似される。これは、 T_{on} が長くなるにつれて共振現象が生じてくるためと考えられる。この傾向は駆動電圧を変化させた場合にも生じているが、駆動電圧と超音波出力の関係はほぼ比例関係にあることがわかる。

3. トランスミッタアレイの駆動法

基本的には、正弦波の場合と同様、指向性係数と各トランスミッタの配置ならびに超音波出力比との関係³⁾を利用する。Fig.3 に設計の一例を示す。トランスミッタは1波長 λ の等間隔に配置され、超音波出力の比は二等辺三角形形状である。この例では、中央の比が7でそこから1波長につき1ずつ小さな値をとり、両端で1となる。この設計手法を用いた場合の個数と超音波出力ならびに指向性との関係を Fig.4 に示す。

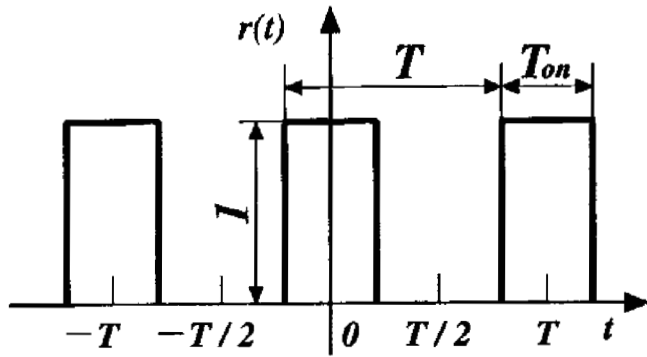


Fig. 5 Rectangle wave

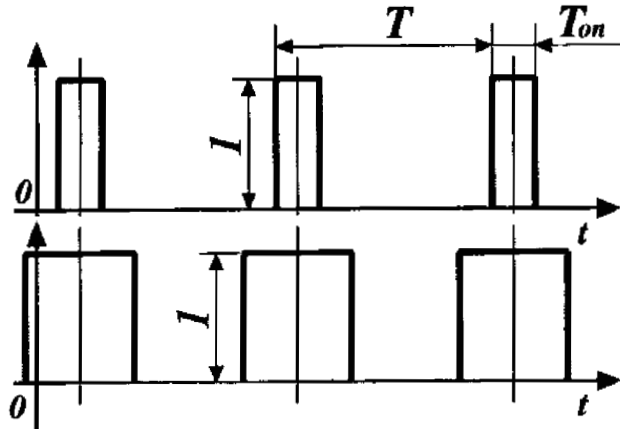


Fig. 6 Phase shift of rectangle waves

3.1 Duty ratio の与え方

各トランスミッタの Duty ratio は Fig.2 の Duty ratio と超音波受信電圧の関係から決定される. 具体的にトランスミッタを3個用いる場合を考える. この時, 超音波出力は 1:2:1 の比とすればよい. ここで中央のトランスミッタを駆動電圧 43 V, オン時間 11 μsec すなわち 88% の Duty ratio で駆動させると, Fig.2 より受信電圧は約 26 mV となる. 故に, 受信電圧がこの半分である 13 mV となる オン時間を同図より求めると, 約 3 μsec , つまり, 24% の Duty ratio となる.

3.2 位相差の与え方

Fig.5 で示される矩形波は次式で表される.

$$r(t) = \begin{cases} 1 & (T_m - T_h) < t < (T_m + T_h) \\ 0 & (T_{m-1} + T_h) < t < (T_m - T_h) \end{cases} \quad (2)$$

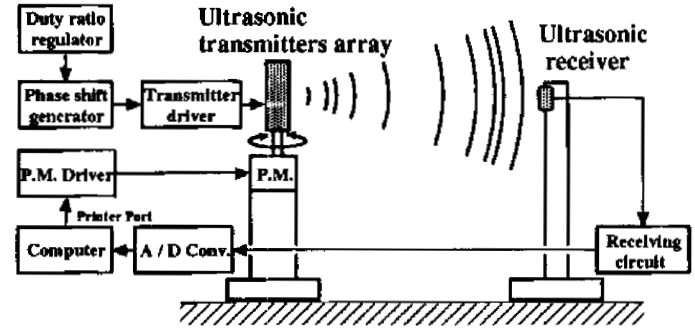


Fig. 7 Outline of measurement system

ただし, m は $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ であり, $T_m = mT, T_{m-1} = (m-1)T, T_h = T/2$ である. 周波数を f として, 式 (2) をフーリエ級数展開すると,

$$r(t) = \frac{T_{on}}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{2}{n\pi} \sin \left(n\pi \frac{T_{on}}{T} \right) \right\} \cos 2n\pi ft. \quad (3)$$

故に, 周波数スペクトルは, sin 関数で表現される. これより, Duty ratio の異なる矩形波は Fig.6 に示すように, 位相をシフトし T_{on} 時間の中央を一致させる.

4. トランスミッタアレイの指向性

4.1 実験装置

Fig.7 に実験装置の概略図を示す. トランスミッタアレイと1個のレーバとを対面させ, 送信側をパルスモータで回転させながら受信電圧を測定し, これを指向性特性とみなす. ここで, Duty ratio ならびに位相シフトの調整は, 入力パルス幅の影響を受けないワンショット・マルチバイブレータを2段用いて行っている. また, 駆動は片振幅であるので, 駆動は単なるプッシュプル回路で行われる.

4.2 測定結果

トランスミッタを3個用いた場合について, 超音波出力の比を 1:1:1, 1:2:1 と設定した

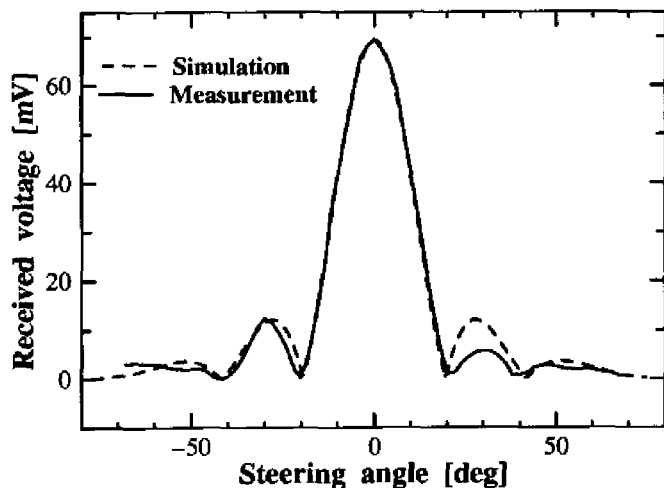


Fig. 8 Measurement result (1)

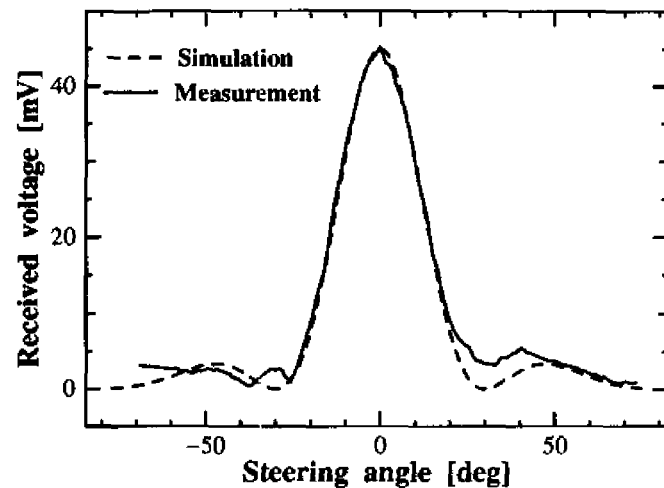


Fig. 9 Measurement result (2)

時の測定結果をそれぞれ Fig.8, 9 に示す。ここで, Duty ratio はそれぞれ, 3 個すべて 88 %, 中央が 88 % 両端が 24 % である。また, これらの図に破線で示されているシミュレーション結果は, 駆動電圧が正弦波とした場合のものである。これらの結果より, 指向角はほぼ測定結果と一致しているが, サイドローブの生じる角度付近で少々一致していない箇所が存在する。これは, 各トランスミッタの個体差や Duty ratio の設定誤差の影響と考えられる。

5. おわりに

より遠距離に存在する物体検出を実現するため, 超音波出力の増大を行う一手法を提案した。トランスミッタを正弦波ではなく矩形波で駆動し, コストを抑えることを試みた。さらに, 異なる電圧の矩形波を加えるのではなく, それぞれに加える Duty ratio と位相差を変化させて超音波出力を制御した。

トランスミッタを 3 個使用した場合について実測を行い, 測定結果がほぼシミュレーション結果と一致することを示し, この手法の有効性を示した。

しかしながら, 今回の手法では正弦波のように滑らかな駆動をしないためか, トランス

ミッタの個体差が大きく生じてしまい, 各トランスミッタに加える Duty ratio の調整がやや困難となってしまった。さらに, Fig.2 より明らかのように, 比較的小さな Duty ratio での駆動は超音波出力に対する感度が高くなるため, この付近での Duty ratio の調整が微妙となってしまった。

今後は, Fig.2 の理論的な解析を行うこと, 電源を 1 種類ではなく何種類か用意し電圧の比と Duty ratio の両方を利用すること, 自動的にキャリブレーションが可能なシステムを考慮すること, レシーバ側も複数利用し指向性を制御することを行う予定である。

参考文献

- 1) 矢田, 油田: 複数の送受波器を同時に用いて反射物体の方向を得る移動ロボット用ソナーリング, 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 515/516 (1996)
- 2) 篠田, 中野, 本多: ステップ・アレイ型空中超音波センサ, 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 655/656 (1996)
- 3) 松山, 江村, 三神: 複数の超音波トランスミッタを利用した指向性の向上, 計測自動制御学会東北支部 第 162 回研究集会, 資料番号 162-8
- 4) 松山, 江村, 三神: 超音波トランスミッタアレイを用いた距離センサの性能向上, 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1087/1088 (1996)