

複数の超音波信号による同時距離計測システムに関する研究

評価技術課 佐々木克浩, 加工技術課 岩坪 聡

材料技術課 塚本 吉俊, 機械電子研究所 機械システム課 釣谷 浩之

1. 緒言

空気中の超音波を用いた距離計測は、簡便・安価な特徴があり、ロボット用障害物検知センサなど広く用いられている。その応用で広領域を測定する場合には多くの超音波センサを時分割で動作させるため、センサ数の増加に伴い測定時間が長くなってしまふ。その対策に関して複数センサを同時に利用するため、送波用センサごとに異なる変調を駆動信号に施し、受波側でそれらを識別する方法が提案されている^{1,2)}。変調を施す際には広帯域のセンサが求められるが、低感度かつ高価である。一方、汎用センサは高感度で安価の特徴を持つが、狭帯域特性であるため上記提案手法の適用が簡単ではない。

そこで本報では、汎用の超音波センサを用いた同時距離計測に適した変調信号に関して検討した。

2. システムと2値位相偏移変調信号の特性

空中超音波システムを Fig. 1(a)に示す。送波用センサに汎用センサ(日本セラミック社, T/R40-16)を用いる。受波用センサは、周波数帯域を広げるため、近年安価に市販され感度も高いシリコンマイク(Knowles Electronics, SPM0404UD5)を用いる。任意波形発生装置からの信号(40kHz)により送波用センサを駆動し、受波信号はオシロスコープでA/D変換(サンプリング周波数1MHz)される。そのデータをパソコンに取り込み、相関演算などを行う。

駆動信号に符号系列の情報を与え、駆動信号と受波信号の相関演算から各信号を識別する。0と1の符号を位相の0と π にそれぞれ対応させる2値位相偏移変調信号が主に広帯域のセンサを用いてよく検討されている^{1,2)}。2値位相偏移変調信号(Fig. 1(b))により汎用センサを駆動した場合の受波信号を Fig. 1(c)に示す。同図より、汎用センサの狭帯域特性により受波信号は駆動信号と異なり、これにより両信号間の相関特性が低下する。符号系列のビット数を増やせば、相関特性を改善できるが、超音波距離計測では、測定可能範囲・計算量などの観点から駆動信号のパルス幅を長くできない制約がある。以上を考慮し、4ビットの少ない符号系列による2値位相偏移変調信号を設定し、以下検討した。

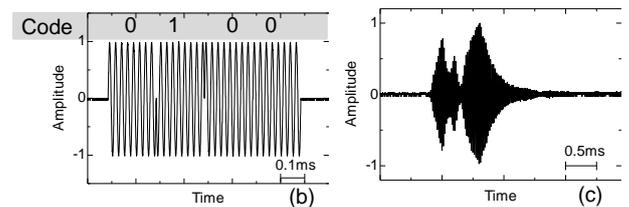
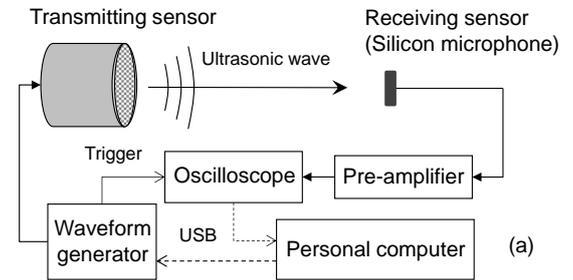


Fig. 1 (a) System. (b) Binary coded phase shift keying signal (Driving signal) and (c) its received wave signal.

3. 変調信号の検討実験

3.1 振幅変調の導入

4ビットの符号系列の中で、3ビット以上同様の符号系列が生じない“0100”と“0001”を選択し(それぞれ Code1, Code2と定義)、1ビットあたり8波の正弦波を割り当てた。Code1のときの駆動信号と受波信号はそれぞれ Fig. 1(b)および(c)と同様である。Code1の駆動信号と受波信号の自己相関関数を Fig. 2(a)に、Code1の駆動信号とCode2の受波信号の相互相関関数を Fig. 2(b)に示す(自己相関関数の最大値で正規化)。自己相関関数が最大の時刻から超音波の伝搬距離が求められる。また、自己相関関数と相互相関関数の最大値間で閾値を設定することで、異なる2信号の識別が可能となる。同図より、相互相関関数は約0.8であり、2信号の識別が困難である。これは、同じ符号が続くときに送波用センサの狭帯域特性により波形が大きく立ち上がり、その際に相互相関関数が大きくなったためと考えられる。この対策のため、相関演算に用いる駆動信号は変えず、センサを駆動する信号について、Fig. 3に示すように同じ符号が続く時間帯の振幅を小さくすることとした。その振幅の変調率をCode1の場合は k_1 、Code2の場合は k_2 と定義した。Code1の駆動信号とCode2の受波信号の相互相関関数の最大値を M_{12} 、Code2の駆動

信号と Code1 の受波信号の場合のそれを M_{21} と定義し、 $M_{12} + M_{21}$ が最小となる k_1 と k_2 を検討した結果を Fig.4 に示す。同図より、 $k_1=0.6$ 、 $k_2=0.5$ のとき $M_{12} + M_{21}$ が最小となり、 M_{12} 、 M_{21} とともに 0.6 未満に低減できた。Fig. 2(a) と Fig. 4 (b) より、自己相関関数のサイドローブの最大値は振幅変調を導入したほうが大きい、その値は 0.6 未満であるため 2 信号の識別には影響が少ないと考えられる。

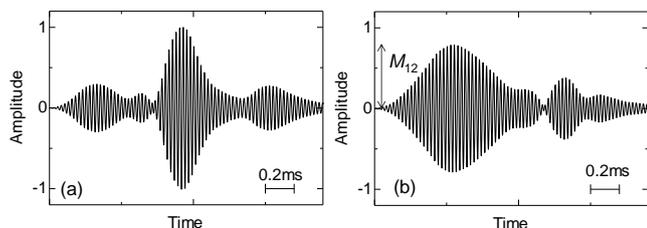


Fig. 2 (a) Auto-correlation of Code1. (b) Cross-correlation between Code1 (driving signal) and Code2 (received wave).

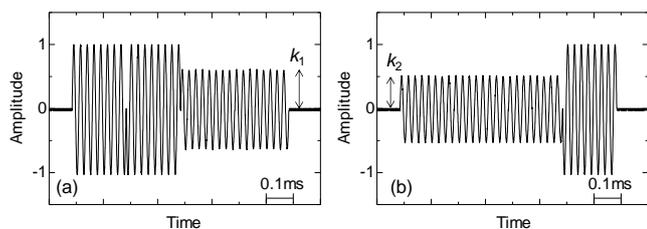


Fig. 3 Driving signal with amplitude modulation for (a) Code1 and (b) Code2.

3.2 二周波数の導入例

超音波センサは利用可能な周波数が限られるが、上記手法と相補的に 50kHz の周波数も利用することを試みた。50kHz の場合も同様に k_1 および k_2 を設定し、40kHz の Code1 の駆動信号と 50kHz の各受波信号との相関演算を行った結果を Fig. 5 に示す。同図より、相互相関関数を最良で 0.2 程度まで低減できている。実環境では、相互相関関数が高い信号の組み合わせはセンサを離して設置するなど、設置位置を考慮するとより効果的と考えられる。

キーワード：複数超音波、2 値位相偏移変調、振幅変調、相関関数、距離計測

A System for Simultaneous Measurement of Distance Using Multiple Ultrasonic Wave Signals

Katsuhiro SASAKI, Satoshi IWATSUBO, Yoshitoshi TSUKAMOTO and Hiroyuki TSURITANI

To improve ability to identify different ultrasonic wave signals, an amplitude-modulation was newly introduced into binary coded phase shift keying signals. In addition, double frequencies of ultrasonic waves were also introduced. As a result, we demonstrated a possibility that four different ultrasonic wave signals can be used simultaneously with signals modulated by small number of code sequences of 4-bits.

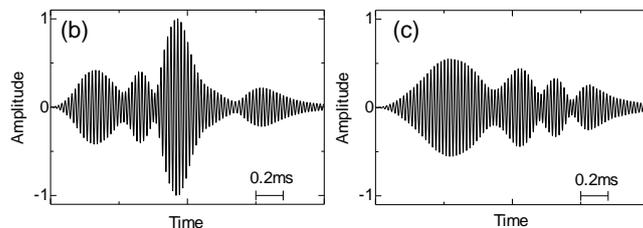
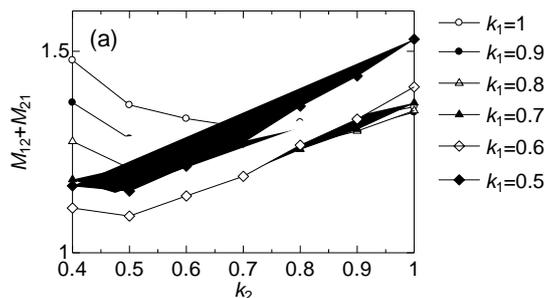


Fig. 4 (a) $M_{12} + M_{21}$ for various k_1 and k_2 values. (b) Auto-correlation of Code1 and (c) Cross-correlation between Code1 and Code2 for $k_1=0.6$, $k_2=0.5$.

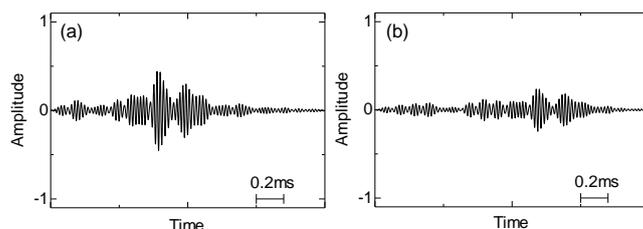


Fig. 5 (a) Cross-correlation between Code1 for 40 kHz and Code1 for 50 kHz. (b) Cross-correlation between Code1 for 40 kHz and Code2 for 50kHz.

4. 結言

4ビットと少ない符号系列の2値位相偏移変調信号を用いながらも、4つの超音波信号を同時に利用できる可能性が得られた。今後は、反射型のシステムにおいて同時距離計測を検討することが課題である。

「参考文献」

- 1) 橋爪他, 電子情報通信学会論文誌, **AJ93-A**, 5 (2010) 341.
- 2) 犬伏他, 電子情報通信学会論文誌, **AJ90-A**, 6 (2007) 517.