

空中超音波を用いた位置計測システムに関する研究

評価技術課 佐々木 克浩

材料技術課 塚本 吉俊

機械電子研究所 浅田 峯夫

1. はじめに

超音波を用いた位置測定技術は、生産工程における位置決めやロボット関連計測などへの応用が期待できる。そこで、平成 19 年度から超音波を用いた簡便・安価な高精度距離計測システムに関して研究を行ってきた。本報では、これまで開発したシステム¹⁾の詳細な性能評価を行い²⁾、2次元位置計測への応用化も検討した。

2. システムの構成と本駆動信号の効果

Fig.1(a)に示す開発システムにおいて、汎用狭帯域センサ (MURATA、MA40B8S/R) により超音波が送受波される時、超音波伝搬距離 d_u は音速と伝搬時間の積で求められる。超音波の振幅変動の影響を受け難い伝搬時間の決定法として、包絡線のピーク時刻を用いる方法があるが、Fig.1(c)に示すような従来の駆動信号を用いた場合、受波波形 (Fig.1(d)) の包絡線ピークは不明確である。そこで、従来波形に対して逆位相であり、 n 個の波数を持つ信号 (Fig.1(e)) を加えることで、従来波形の包絡線ピーク付近以降の不要成分を打ち消す。さらに、逆位相と正位相の信号の振幅比 $k = a_2/a_1$ を大きくすることで、打ち消し効果を高める。以上より、Fig.1(f)に示す鋭い包絡線が得られる。Fig.1(b)に示すように、包絡線の微分がゼロとなる時刻を T_{peak} とする。

Fig.1(e)の波形を任意波形発生装置で作成し、受信信号を増幅器で増幅した後、オシロスコープで観測した。はじめに、 n と k を変化させ、受波波形の包絡線の 3dB 幅 W ($n=0$ の 3dB 幅で正規化) を評価した結果を Fig.2(a) に示す。同図より、 n を多くするだけでは W の改善は飽和するが、 k を大きくすることでさらに W を短くできた。次に、 T_{peak} の測定の標準偏差 σ_u を評価した結果、 $n=0$ の従来法の場合は $\sigma_u = T_w/4$ 程度あったが、 $n=3$ 、 $k=2$ の条件では $\sigma_u = T_w/18$ 程度に向上させることができた。更なる精度向上のため、包絡線ピーク時刻と位相測定とを組み合わせる方法への適用を検討した。具体的には T_{peak} に最も近いゼロクロス時刻 T_{zero} の決定を試みた結果、Fig.2(b)に示すように $n=0$ の従来法では T_{peak} の測定誤差が $T_w/2$ 以上となる場合があり、このとき T_{zero} が誤検出された。一方、Fig.2(c)に示すように、 $n=3$ 、 $k=2$ の条件では T_{zero} を正確に決定でき、 T_w 以上の広範囲な時刻変化を T_w 以下の高精度で測定可能となった。

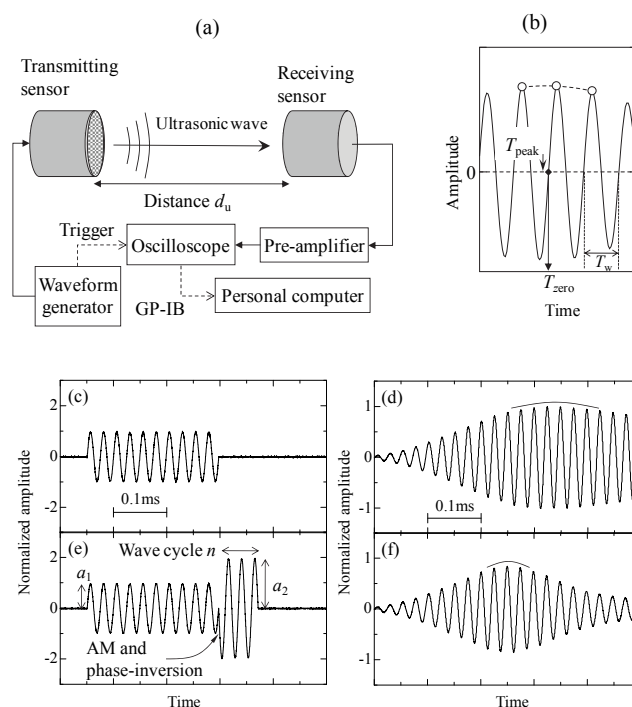


Fig. 1 (a) Measurement system. (b) Detection of T_{peak} and T_{zero} (c) Conventional driving signal and (d) its received waveform. (e) Proposed driving signal and (f) its received waveform.

3. システムの性能評価

3-1 距離測定精度

移動ステージにより変化させた送受波用センサ間の距離 d_s を計測した結果を Fig.3 に示す (駆動信号は $n=3$ 、 $k=2$)。同図では、各距離において 100 回測定を行ったときの平均値 d_m と標準偏差 σ_m を示している。各 d_s と d_m の差は 0.2mm 以下であり、これは移動ステージの真直精度に相当する。同図より、0.5 m までの d_s に対して、 σ_m は 0.02 mm 以下の高精度が得られた。

3-2 測定可能距離

本実験で用いた移動ステージの可動範囲より、0.5m 以上の距離計測には至っていない。測定可能範囲を検討するため、本駆動信号の振幅を低下させ、測定精度の評価を行った。本実験で用いている増幅器の増幅率の上限から減衰量は 20dB とし、これは超音波の伝搬距離 4m 程度のときの減衰量に相当する³⁾。 T_{peak} と T_{zero} の測定結果例を Fig.4 に示す。同図より、 T_{peak} の誤差は $T_w/2$

より小さいことがわかる。100回の測定に対しても T_{zero} は正確に決定でき、 T_{zero} の測定の標準偏差は 0.02mm 以下であった。以上より、0.02mm の高精度を有しながら 4m 程度までの距離を計測できる可能性を示した。

4. 2次元位置計測への応用例

2次元位置を計測するために、3dB ビーム幅が 60° 程度（公称値）と比較的広い超音波センサ（MURATA、MA40S4S/R）を用いた。受波側は2個のみのセンサ（センサ間距離は 20.5mm）で簡易に構成した（Fig.5(a)）。それぞれの受波用センサで受波した信号の伝搬時刻情報を用いて送波用センサの距離と方位を算出した（数式は文献4）参照）結果例を Fig.5(b)に示す（駆動信号は $n=3$ 、 $k=4$ ）。同図より、 T_{zero} を正確に決定して距離 0.1–0.5m、方位-30°–30°を計測可能であった。設定値

と測定値の差は距離 1mm、角度 0.5° 以下であった。

5. おわりに

0.1–0.5 m の距離変化を計測する評価実験において 0.02mm 程度の高精度が得られ、測定範囲は 4m 程度まで拡張できる可能性を示した。さらに、本システムの2次元位置計測への応用結果例を示した。本システムは多様な応用が期待でき、具体的な応用化に関する検討が今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 佐々木他, 富山県工技センター研究報告, 23 (2009) II-44.
- 2) K. Sasaki et al., *IEICE Electronics Express*, 6, 21 (2009) 1516.
- 3) M. Parrilla et al., *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 40, 4, (1991) 759.
- 4) 橋爪他, 電子情報通信学会論文誌, A J91-A, 4 (2008) 435.

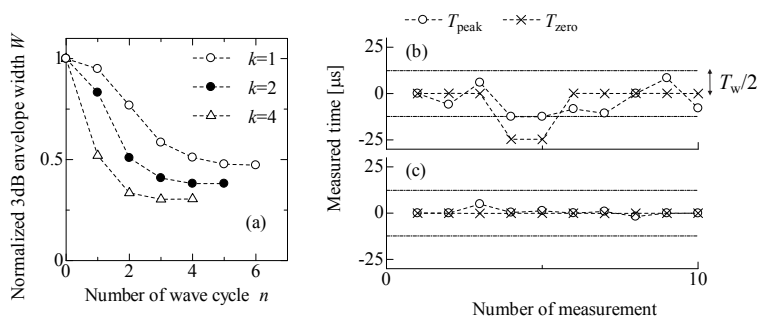


Fig. 2 Experimental results to show effect of AMPI driving signal. (a) The n and k dependence of 3dB envelope width of received waveform. Measured T_{peak} and T_{zero} at (b) $n=0$ and (c) $n=3$, $k=2$.

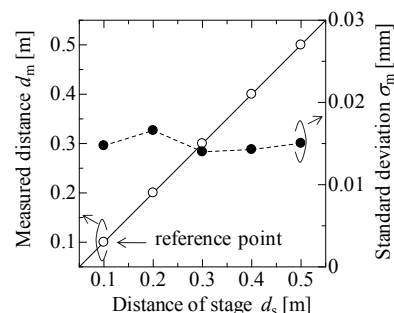


Fig. 3 Experimental results of relative distance measurements.

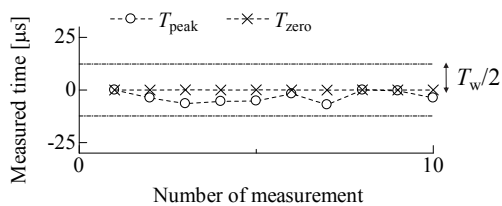


Fig. 4 Measured T_{peak} and T_{zero} at $n=3$ and $k=2$ when attenuation is 20 dB.

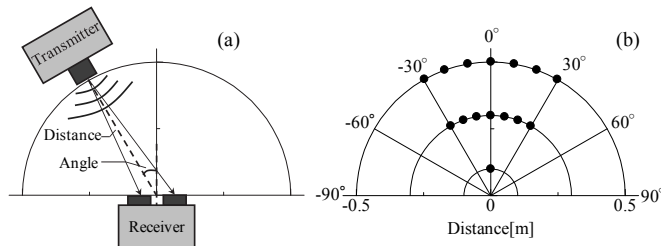


Fig. 5 Two-dimensional position measurement. Experimental (a) arrangement and (b) result.

キーワード: 空中超音波、逆位相、包絡線ピーク、距離計測、2次元位置計測

Positioning System Using Air-Coupled Ultrasonic Waves

Katsuhiko SASAKI, Yoshitoshi TSUKAMOTO and Mineo ASADA

This paper proposes an amplitude-modulated and phase-inverted (AMPI) ultrasonic driving signal for accurate distance measurements. The sharp envelope generated by the AMPI signal determined a zero-crossing time without any uncertainty. As a result, an accuracy better than 0.02 mm was achieved in the range of 0.1–0.5 m. Furthermore, we demonstrated a possibility that long distances of up to about 4 m can be measured with its achieved high-accuracy. As an application of the system using the AMPI signal, two-dimensional position was measured.