

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

生活工学研究所 塚本吉俊*

機械電子研究所 浅田峯夫

1. はじめに

位置測定技術は、人および物を対象とした位置情報管理システムや、位置決めが必要な生産工程などで利用され、その重要性が増している。位置測定法としては、GPS (Global Positioning System) 等で電波が広く利用されているが、しかし屋内では利用が制限され、十分な精度が得られない。そこで、これを解決する方法として、超音波を用いた方式が試みられている¹⁾。本研究では、実用的かつ高精度な位置計測を行うことを目的として、汎用超音波センサを用いた簡易なシステムを開発する。本報では、超音波の包絡線ピーク時刻を高精度に検出する手法を提案し、その結果、3mの長い距離において0.1mm以下の高精度を有する距離計測システムを開発したので報告する。

2. 距離測定方法

2-1. 従来技術

超音波の伝搬距離 d は、超音波の音速 c を既知として、伝搬時間 T を測定することで、次式により求められる。

$$d=cT \quad (1)$$

一般的には、受波信号の電圧閾値に対応する時刻から伝搬時間 T を測定する。しかし、汎用超音波センサは狭帯域のため Fig.1(a) のように発生する波形の立ち上がりが遅く、超音波の伝搬過程で振幅が減衰すると、閾値に対応する時刻が変動し、正確な受波時刻の測定が困難となる(問題①)。この改善策として、超音波の位相情報¹⁾を用いる方法があるが、測定可能な範囲が波長程度までとなる(問題②)。また相関法に基づいた計測や波形解析する方法も挙げられるが、パルス継続時間の長い超音波が必要であり、計算量が多く複雑である(問題③)。さらに、パルス継続時間が長くなると直接到達波と障害物からの反射波との干渉の影響を受け易い(問題④)。

2-2. 提案手法

前述の問題①および②を解決する方法として、Fig.1(a)の従来波形における包絡線のピーク点を用いる方法²⁾があるが、ピーク点は不明瞭である。そこで、従来波形と逆位相でかつ振幅が大きい波形(Fig.1(b))を加えることによって、振動を抑制し、Fig.1(c)に示すよう

に、パルス継続時間が短く、包絡線ピーク点が明確な波形を作り出す。このピーク時刻を超音波の半周期 $T_{\text{period}}/2$ 以下の精度で検出できれば、ピーク時刻に最も近いゼロクロス点を決定でき、位相レベルでのより高精度な測定が波長以上の測定範囲で可能となる(Fig.1(d))。よって、本手法は問題②も解決している。さらに、本手法ではピーク付近の情報のみにより受波時刻を検出できるため、問題③の対策となっている。また、着目するパルスの継続時間が短いため、問題④にも有効と考える。

3. 開発システム

3-1. システム構成

前述の測定法を検討するために構築したシステムを Fig.2 に示す。発振器により発振した信号を増幅した後、送波用センサに印加することで、空気中に 40kHz の超音波を送波する。空気中を伝搬した超音波は受波用センサにより受波し、増幅した後、オシロスコープで観測する。波形データは GPIB インターフェースを介してパソコンに取り込む。

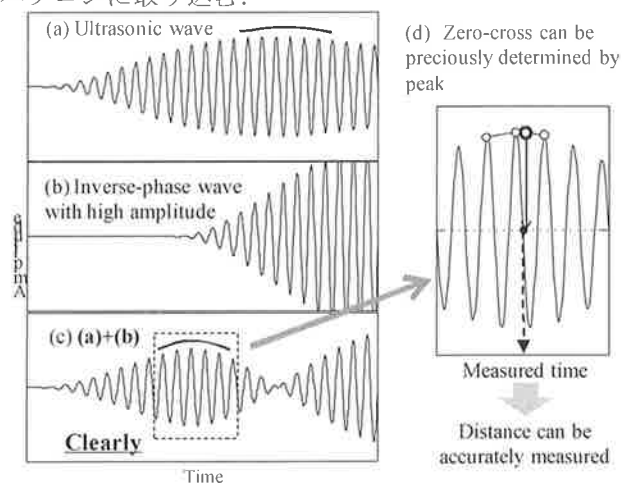


Fig.1 Basic concept of our method.

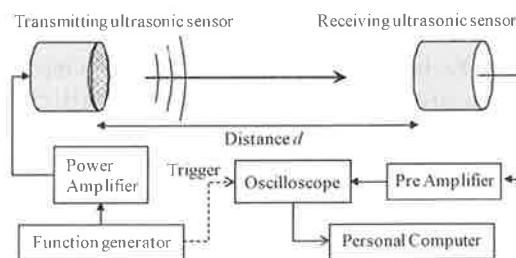


Fig.2 Schematic / block diagram of our system.

*現 材料技術課

3-2. 提案駆動信号

本研究で提案する駆動信号とその受波波形例をそれぞれ Fig.3(a)および(b)に示す. この駆動信号は, Fig.3(c)に示す駆動信号と, それに対して逆位相の信号とそれらを振幅変調した信号で構成される. Fig.3(a)に示す振幅比 $k = a_2/a_1$ と波数 n を変化させ, 包絡線の鋭さの指標として Fig.3(b)または(d)のような受波波形の包絡線の 3dB 幅 W を求めた結果を Fig.4 に示す. 同図より, k を大きくすることで W を短くでき, 例えば $k=2$ では $n=4$ 程度の少ない波数で十分であることがわかった. ピーク時刻の検出法は, 包絡線の微分がゼロとなる点をピーク時刻とする簡素な方法を用いた. この方法で $k=0$ とした場合はピーク時刻測定の標準偏差 σ_u は $T_{\text{period}}/2$ 程度であったが, $k=2$ ($n=4$) では $\sigma_u = T_{\text{period}}/8$ と余裕を持ってゼロクロス点を決定できるピーク検出精度にまで向上させることができた.

4. システムの性能評価

基準距離において求めた伝搬時間に, 距離 d が変化したときのピーク時刻変化量を加えることで時間 T を求め, 式(1)より距離 d_u を算出した. 文献 1) に基づいた方法で送受信用センサ間の距離を 3m まで変化させ, 各距離において 20 回測定を行った結果を Fig.5 に示す ($k=2, n=4$). 同図の横軸は, レーザ距離計で測定した距離 d_l である (1m を基準とした変化量). 測定値の平均値 d_u と d_l の差は 2mm 以下であったが, 本実験系における d_l の測定精度は数 mm 以上であると考えられるため距離差は参考程度とし, 精度の評価は σ_u で行える¹⁾. σ_u はピーク時刻検出のみでも 1mm 以下と高い精度が得られたが, 更に位相検出を加えることで 0.1mm 以下にすることができた. Fig.5(b)の σ_u の要因として, 気流 ($d=3\text{m}$ で 9m/m/s) や温度変化 ($d=3\text{m}$ で $5\text{mm}^\circ\text{C}$) の影響が考えられる.

5. おわりに

本システムにより鋭いピークを実現することで, 3m

キーワード: 空中超音波, 逆位相, 包絡線ピーク, 位相, 距離計測

Positioning system using air-coupled ultrasonic waves

Katsuhiro SASAKI, Yoshitoshi TSUKAMOTO and Mineo ASADA

This study has developed a precious distance measurement system using a time for a peak of an envelope of a burst ultrasonic wave signal of 40 kHz. We proposed the new driving signal having high ratio of the amplitude and the inverse-phase over that of first burst wave signal. The higher ratio of the amplitude narrows 3dB width of the received wave signal. Accuracies better than 1mm and 0.1mm have been achieved using peak detection time alone and phase correction, respectively, in the distance measurements of up to 3m.

の長い距離において 0.1mm 以下の精度が得られた. 本システムの 2-2 で述べた特徴から, 障害物が多い環境下やリアルタイム性が要求される応用でより効果を発揮することが期待できる. 今後は, 距離計測の直線性の詳細な評価と 2次元位置認識への応用を予定している.

参考文献

- 1) 橋爪他, 電子情報通信学会論文誌, **A J91-A**, 4 (2008) 435.
- 2) C-C. Tong *et al.*, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 50, 5, (2001) 1324.

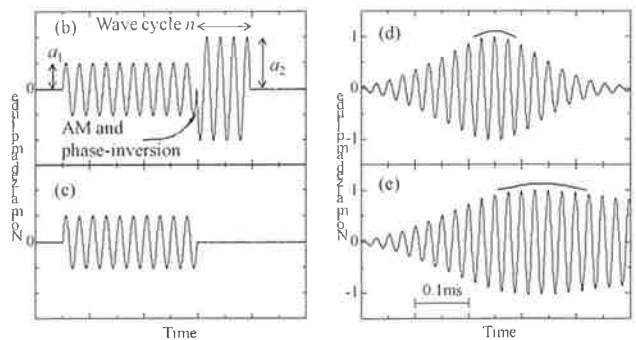


Fig. 3. (a) Driving signal and (b) Received waveform of our method. (c), (d) Those of conventional method, respectively.

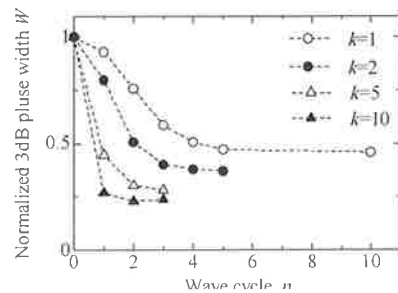


Fig.4 k and n dependence of 3dB pulse width.

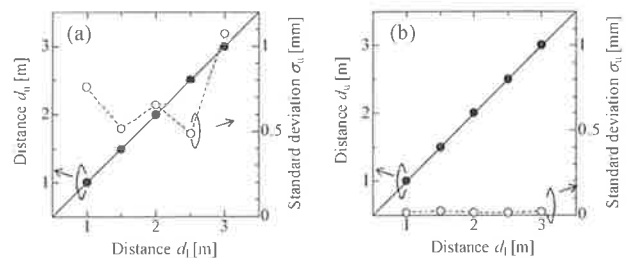


Fig.5 Experimental results using (a) peak-detection time alone and (b) using phase correction.