

## LPM 超音波と受波子アレイを用いた人の行動計測システムの開発

## Monitoring System of Human Behavior Using LPM Ultrasonic Signal and Receiver Array

○ 宮澤一八（職業大） 玉井瑞又（職業大） 池田知純（職業大）  
 不破輝彦（職業大） 花房昭彦（芝浦工大） 塩田泰仁（職業大）

Kazuya MIYAZAWA, Mizuyasu TAMAI, Tomozumi IKEDA, Teruhiko FUWA, and Yasuhito SHIOTA  
 Polytechnic University

Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology

Key Words: LPM, Ultrasonic Signal, Human Behavior

## 1. はじめに

少子高齢化の進展とともに、高齢者福祉施設や病院では、身体能力の低下した高齢者の転倒・転落事故や、認知能力の低下した患者の徘徊などさまざまな問題が生じている<sup>(1)</sup>。特に中小規模の高齢者福祉施設や一般家庭では、介護者の人手が不足し、高齢者の安否や行動を自動で無拘束かつ定量的に計測できるシステムが求められている。

実際に介護の現場で適応されている行動監視システムには、CCDカメラを使ったシステムや重力センサを利用してベッドからの離床を検知するシステムがある。しかし、これらは高価であり、特に CCD カメラを用いた場合はプライバシーを侵害する恐れがあるため中小規模の福祉施設や一般家庭では導入することができない<sup>(2)</sup>。

超音波はプライバシーを侵害せずに人の行動を計測するシステムに利用でき、無拘束で人の位置や速度の計測が可能である。また、安価で利用上の制約も比較的少ない。

そこで本研究では超音波センサを用いた受波子アレイを構築し、高齢者がベッドから離れようとした場合や居室から出ようとした場合を検知できるシステムの開発を目的とする。本報告では、超音波アレイセンサを試作し、二次元の位置・速度推定による静止物体と移動物体の弁別評価実験について述べる。

## 2. LPM 超音波による距離・速度推定の原理

超音波を用いた距離・速度推定の手法の一つとして線形周期変調(Linear-Period Modulation : LPM)波がある。LPM波を時間軸で反転させたダブルパルスに構成することで、標的の距離と速度を独立で推定できる<sup>(3), (4)</sup>。Fig.1はLPMダブルパルスの例である。

距離・速度推定モデルを Fig.2 に示す。LPM 波  $U(t)$  は、波動の瞬時周期  $T$  が時間  $t$  に比例する波動であり、次式で表される。

$$U(t) = \cos(b \log t) : t > 0 \quad (1)$$

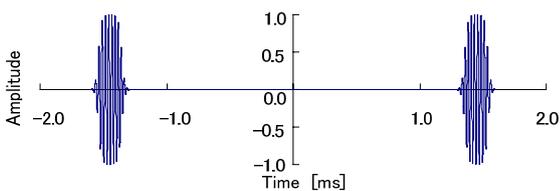


Fig.1 LPM double pulse

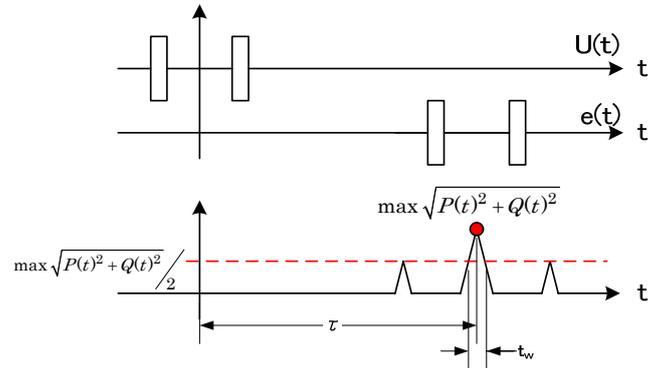


Fig.2 Distance and speed estimation

ここで、 $b$  は周期変調率であり、最大計測速度  $V_{\max}$ 、波動の伝搬速度  $c$  より、 $b = c\pi/2V_{\max}$  となるよう設定する。送波  $U(t)$  と受波  $e(t)$  を相関検波器に入力し、このときの相関検波出力  $P(t)$ 、 $Q(t)$  と伝搬遅延時間  $\tau$  を式(2)、(3)に代入することにより距離  $R(\tau)$  および速度  $V(\tau)$  を推定できる。

$$R(\tau) = \frac{c\tau}{2} \quad (2)$$

$$V(\tau) = \tan^{-1} \left( \frac{Q(\tau)}{P(\tau)} \right) \cdot \frac{V_{\max}}{\pi} \quad (3)$$

二次元平面にある物体の位置や速度は受波子アレイを構築することで計測できる。位置推定では、各センサの距離推定結果を用い遅延和法によって像再生をおこなった。速度推定では、相関検波器最大値の半値以上となる伝搬遅延時間幅  $t_w$  に標的があるとみなし、その範囲内の速度を算出した。

## 3. 位置・速度計測システムの構成

位置・速度計測システムの構成を Fig.3 に示す。送波子(FOSTEX 社, FT17H)を中央とし、4個の受波子(KNOWLEDS ACOUSTIC 社, SPM0204UD5)を直線上 150[mm]間隔で並べた。

送波する LPM ダブルパルスは、中心周波数 40[kHz]、帯域幅 8[kHz]、最大計測速度 1.5[m/s]で設計した。PIC マイコンに書き込まれた送波データを増幅回路およびプッシュプルエミッタフォロア回路に通し LPM ダブルパルスを送波した。送波子には 21.0[V<sub>p-p</sub>]を加えた。

各受波子で観測されるエコーは、増幅回路によって 100倍に増幅した。送受波をディジタルスコープ(横河電

機,WE7000)に取り込み,計算技術用ソフトウェアMATLABを用いて送波子の指向性や伝播距離による振幅の減衰を考慮して標的の位置・速度推定を行った。

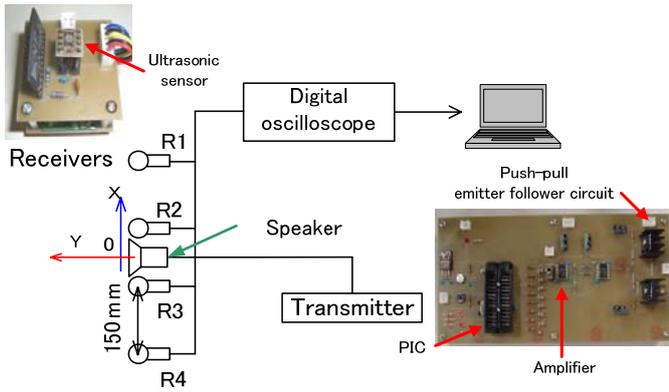


Fig. 3 Ultrasonic array system

4. 位置・速度計測実験

対象とする物体空間と観測系の配置を Fig.4 に示す. 計測範囲は, 送受波子の指向性や信号の増幅率等を考慮し, X -1.0~1.0[m], Y 0.5~1.5[m]とした。

X方向の空間分解能は, アレイ全長 L [m], LPM波の中心周波数より求めた波長 λ[mm], Y [m]とすれば式(4)で与えられる. 本実験では, λ=8.8[mm], Y=1.5[m], L=0.45[m]であり δX=29[mm]である。

$$\delta X = \lambda_0 \cdot \frac{Y}{L} \tag{4}$$

計測対象は Y 軸上を V=0.6[m/s]で移動する物体と, Y = 1.0[m], X = -0.3[m]に配置した静止物体とした. 計測対象の形状は直径 47[mm], 高さ 500[mm]の塩ビパイプを 4本組み合わせさせたものとした。

移動物体が Y=1.5[m]を通過したときの位置計測結果を Fig.5(a), Y=0.5[m]の場合を Fig.5(b)に示す. 相関検波出力の振幅が大きい箇所を赤く表示する. Fig.5より位置計測結果では, 静止物体は計測時間によらず, Y=約 1.0[m]の位置に観測され, 移動物体は時間経過によって Y=1.5[m]から Y=0.5[m]に移動していることがわかった。

Fig.6 に速度計測結果を示す. 接近する速度を正とし, V=0を緑色に表示した. Fig.6より瞬時速度は静止物体の存在する位置において V=約 0.0[m/s]となり, 移動物体の存在する位置では V=約 0.5[m/s]であった。

以上の結果より, 移動物体と静止物体を識別できることがわかった. しかしながら, 位置計測結果において, グレーティングローブが生じ, X軸方向の位置計測結果はあいまいに表示された. これは, センサの数が少なかったことや受波子間の距離が広がったことが影響したものと考えられる. 推定速度の誤差は 約 0.1[m/s]となった. 誤差の原因として, 白色ノイズや静止物体が近接していたことが影響し, エコーを汚染されたことが考えられる。

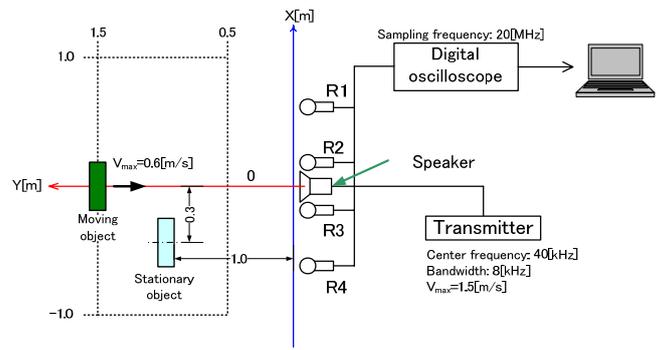
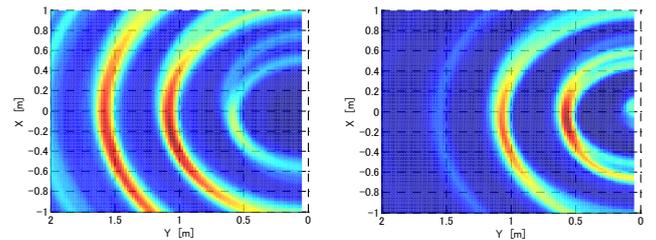
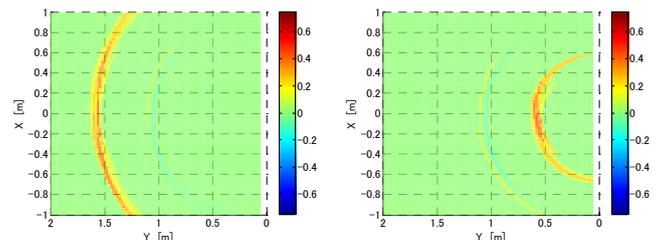


Fig. 4 Position and speed measurement experiment



(a) Y=1.5[m] (b) Y=0.5[m]

Fig. 5 Position estimation results



(a) Y=1.5[m] (b) Y=0.5[m]

Fig. 6 Instantaneous velocity estimation results

5. まとめ

本報告では, 受波子アレイを用いた二次元位置・速度計測システムを試作し, 推定結果を像再生した. その結果, 二次元位置・速度計測することができた. また静止物体と移動物体の弁別することができた。

今後の課題は以下の通りである。

- ・ リアルタイムに信号処理を行うこと.
- ・ 人の行動計測を行うこと.

参考文献

- (1) 鈴木浩明, 快適さを測る—その心理・行動・生理的影響の評価, 日本出版サービス, pp.19-23, 1999.
- (2) 田中幹也, 春山和男, 山田陽, 岩佐祐治, 明石卓也, 超音波レーダーと電灯線通信を用いた高齢者用移動確認システム, ITヘルスケア, vol.2, no.2, pp95-103, 2008.
- (3) 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, 坂本圭司, 大鋸朋生, 鈴川向毅, 複数のレーザーレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.88, No.7, pp.1143-1152, 2005.
- (4) 三橋渉, 望月仁, 田村安孝, 山崎弘郎, 変調超音波と受信子アレイを用いた二次元速度分布計測, 電子情報通信学会論文集E, Vol.85, No.326, pp17-24, 1986.