

超音波を用いた視覚障害者交差点ナビゲーションシステム

A Blind-Guidance System on Intersections Based on Ultrasonic Sensors

○ 山田翔 (東京工科大) 橋野賢 (東京工科大)

Sho YAMADA, Tokyo University of Technology
Satoshi HASHINO, Tokyo University of Technology

Key Words: Blind-Guidance system, Ultrasonic sensor, Cross-correlation, Intersection

1. はじめに

最近、障害者の自立と社会進出拡大が世界的に叫ばれているが、彼らにとって交差点は日常生活の中で最も危険な場所の一つであり、交差点の安全な歩行が社会進出を進める上での大きな課題となっている。

我々は視覚障害者が交差点を安全に渡れるように交差点内での自己位置を認識し、歩行軌道を修正しながら横断歩道の中心線上を歩けるシステムの開発を目指している。

現在は使用者が携帯した超音波発信器から横断歩道奥に設置された3台の受信器に向けて超音波を間欠的に発信し、受信時間差を用いて使用者の位置を特定、無線で中心線上に誘導する方式(使用者発信方式)の開発を主に行っている。この方式は使用者が簡単な送信器を携帯するだけで利用できるメリットがある一方、マルチユーザへの対応が難しいというデメリットがある。本報告ではそのデメリットを解決するシステムとして、交差点に設置された送信器から発せられた超音波が使用者が受信し、誘導する新しい方式(使用者受信方式)の検討も行う。

2. 位置計測手法

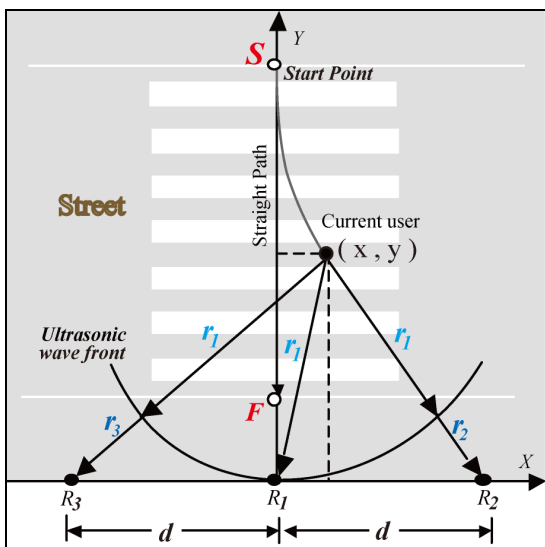


Fig. 1 Concept of the system: The guidance path is the straight line starting from point $S(0, y)$ to xy coordinate origin $O(0, 0)$. Three ultrasonic receivers are placed on an axis perpendicular to SE line. The distance between sensors are equal to d . User carries the ultrasonic transmitter at point $T(x, y)$.

本システムは横断歩道という2次元のフィールドでの使用を想定しており、 x (横断歩道幅方向)、 y (横断歩道歩行方向)の2変数を算出する。図1に使用者発信方式の座標系を示す。横断歩道上にいる使用者の位置を $T(x, y)$ とし、横断歩道奥には3台の受信器 R_1, R_2, R_3 が距離 d だけ間隔を空けて設置されている。使用者から発せられた超音波は同心円状に広がると考えると、式(1)で示す円の連立方程式が成り立つ。式(2)はこの方程式の解である。

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r_1^2 \\ (x-d)^2 + y^2 = (r_1 + r_2)^2 \\ (x+d)^2 + y^2 = (r_1 + r_3)^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{(r_3 - r_2)(r_2 r_3 + d^2)}{2d(r_2 + r_3)} \\ y &= \frac{\sqrt{(r_3^2 - d^2)(d^2 - r_2^2)\{(r_3 - r_2)^2 - 4d^2\}}}{2d(r_2 + r_3)} \end{aligned} \quad (2)$$

このシステムの特長上、受信器は送信器が超音波を発した時刻は分からず、受信時間差のみ計測することができる。そのため2変数を算出するために3台の受信器が必要である。

3. 基礎実験

3-1 実験手法

基礎実験として送信器を固定してその位置を検出した結果を図2(b)に示す。実験では受信器の間隔を5mに設定し、送信器を受信器前方10m、20m、30mの計9ヶ所に順に設置して1ヶ所につき50回計測を行った。

3-2 実験解析

実験結果より受信器から遠くなるにつれ誤差が大きくなるのがわかる。これは超音波の空中伝搬時間が長いほど外部ノイズや減衰の影響を強く受けるためである。また、 x 方向よりも y 方向の誤差が大きくなる傾向が示された。実際に横断歩道で使用する場合、渡り始める遠方での y 方向の精度はそれほど必要なく、渡り終わり付近での精度が重要となる。そのため、この傾向は許容できるものとする。

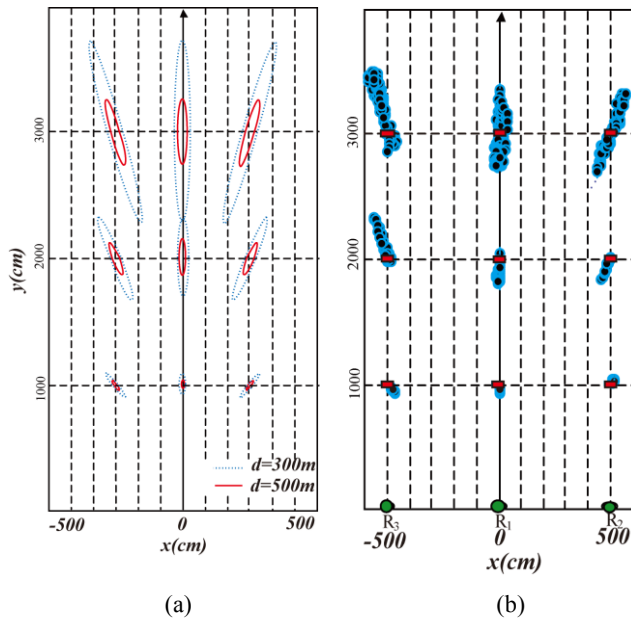


Fig.2 (a) These Ellipse are transformed to radius 5cm circle on the receiver site. (b) The results for T(x,y) and sensor. The point clusters around each test location represent calculated position by the system.

3-3 ヤコビアンによる誤差解析

実験結果を見ると、誤差がランダムに広がるのではなく、原点位置を中心とした放射状に広がるのが分かる。この原因を探るため式(3)に示すヤコビアンを用いた解析を行った。ヤコビアンは変数の変化による面積や体積の変化を表わし、受信場所での誤差分布をヤコビアン倍すると送信位置での誤差分布として表れる。

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial r_2} & \frac{\partial x}{\partial r_3} \\ \frac{\partial y}{\partial r_2} & \frac{\partial y}{\partial r_3} \end{pmatrix} \dots\dots (3)$$

ここでは誤差の原因を相対受信時間差に関係する r_2 、 r_3 の変動によるものと考え、受信場所での誤差が $\delta x^2 + \delta y^2 = r^2$ で表わせる半径 r の円に分布したときの計測誤差を図 2(a) に示す。図は受信器の間隔をそれぞれ 5m と 3m に設定した時の誤差分布である。受信器の間隔を 3m に設定した時は 5m に設定した時よりも誤差分布が大きくなる。これは送信器と受信器の角度が小さくなるためであると考えられる。図 2 の(a)と(b)を見比べると、ほぼ同様の傾向が再現できており、誤差解析が正しいことが示される。

この誤差解析から位置測定の精度をより向上させるためには受信時間差 r_2 、 r_3 の検出精度を向上させる必要がある。

4. 計測精度の向上策

4-1 相関処理

超音波は空中を伝搬してくる間に外部ノイズや減衰による影響を大きく受けるため、10m 以上の長距離になるとそのままでは信号を検出できない。図 3(b)に受信器が受信した超音波の波形を示す。ノイズに埋もれ、人間の目でも正確な受信時間を特定できない。

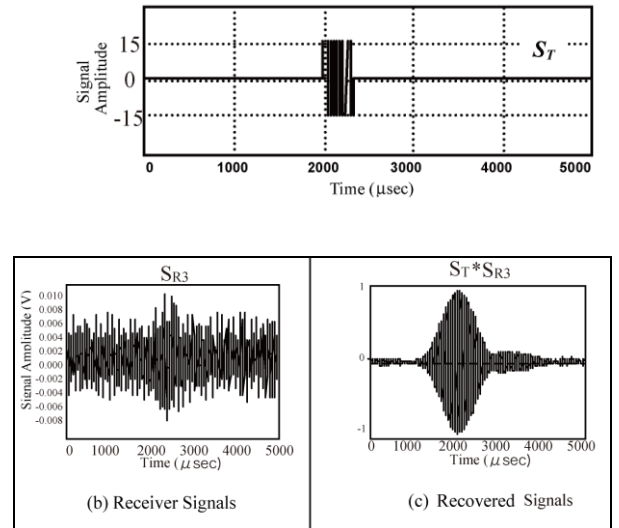


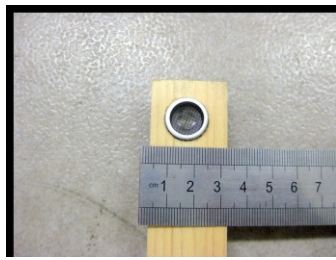
Fig.3 (a) Transmitter Signal S_T (b) signals received at ultrasonic receivers R_1, R_2 and R_3 labeled as S_{R1} and S_{R3} respectively, (c) improved signal to noise (S/N) ratio after cross-correlation of S_{R1} , S_{R2} and S_{R3} with S_T (values are normalization to lie in range[-1..1]).

そこで本システムではソフトウェアによる相関処理を行うことによりノイズから信号を抽出し、正確な伝搬時間を検出している。相関処理とは未知の信号から既知の信号を強調し、それ以外の信号を減衰させる信号処理手法である。図(c)は(b)の受信信号と既知の送信信号(a)による相関処理結果である。ノイズがキャンセルされピーク値がはっきりと特定できる。相関処理結果のピークは超音波到達時間にそのまま対応するため、ノイズに埋もれやすい立ち上がりを検出する方式より原理的に優れている。

4-2 送受信器の組合せ

現在、本システムの送受信器には市場に広く出回っている安価に入手できる共振型ピエゾ送受信器を採用している。図 4 は使用中の送受信器である。共振型送信器はインピーダンスが高く比較的簡単な回路で高出力の超音波を送出することができる一方、共振を利用しているため、立ち上がりが遅く、減衰時間が長い特性がある。これは共振型受信器にも言えることであり、信号を正確に抽出するには不利な特性である。

そこで、波形をより忠実に再現できる図 6 に示すシリコンマイクロフォンの可能性を検討している。約 30cm の距離から共振型受信器とシリコンマイクロフォンに向けて超音波を発信した時の受信波形の比較を図 5 に示す。

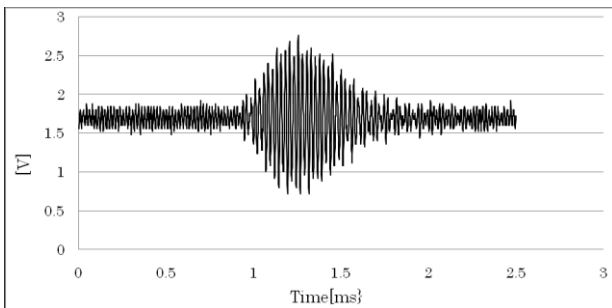


(a)

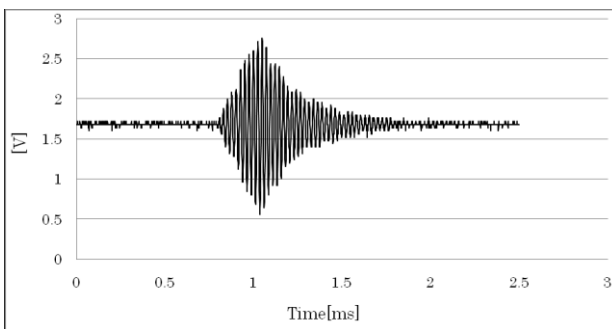


(b)

Fig.4 Piezoelectric (a) Receiver and (b)Transmitter



(a) Received waveform of Piezoelectric receiver



(b)Received waveform of Silicon microphone

Fig.5 Waveform Comparison of Piezoelectric receiver and Ultrasonic silicon microphone.

図 5(b)のシリコンマイクロフォンでは約 0.8ms 付近で既に立ち上がり始めているが、図 5(a)の共振型ではまだ立ち上がっていない。減衰もシリコンマイクロフォンの方がシャープな結果となった。

送信側も信号の再現性の改善策として図 7 に示す高音域

スピーカ（ツイータ）を検討している。しかし、ツイータは再現性に優れるが、信号以外の周波数も送出するため「ジー」という不快音を発する。それぞれの素子には一長一短の特性があり、実際に本システムを使用する状況に応じた最適な組み合わせを提案できることを目指す。

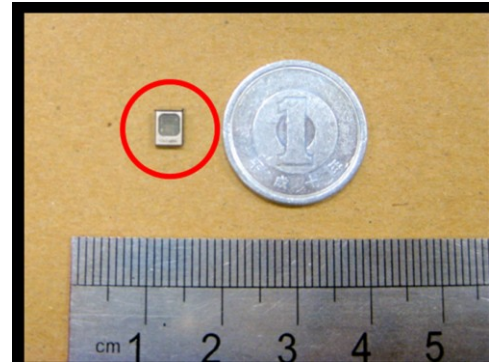


Fig.6 Ultrasonic silicon microphone



Fig.7 High frequency sound speaker

5. 実証実験

本システムが実際に横断歩道で使用されることを想定した実証実験を行った。

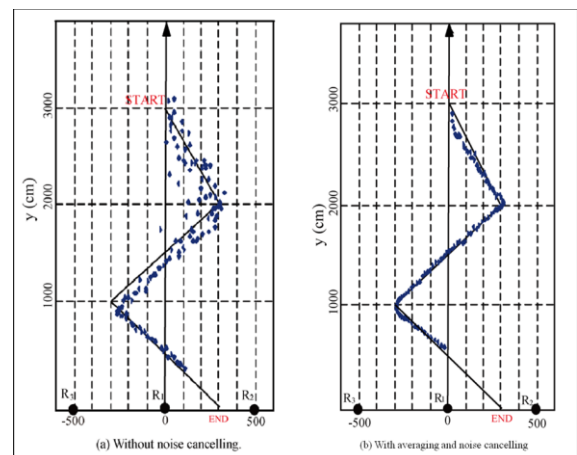


Fig.8 Motion test results: A zigzag test path starting from(0, 3000)and ending to(300,0). Position obtained by the system is shown as dot lines. Each dot shown in this figure is the average of 10 calculated positions. For y less than 500 centimeters, user position is out of receiver's viewing angle.

使用者は受信器前方 30m からゆっくりとジグザグに歩き、本システムでその位置を測定した。図 7 にその結果を示す。実験では共振型送受信器を用いた。

図 8(a)は測定結果の無加工データである。遠方のデータはばらつきが大きく、近づくにつれて誤差が収束することは 3 節で説明した通りである。図 8(b)は(a)のデータを直近 10 個のデータで順に平均するスムージング処理を施した結果である。スムージング処理を施せば軌跡をほぼ追従できることが示せた。

6. 新方式の検討

現在、主に開発している使用者発信方式ではフィールド内に使用者が 1 人しか存在しないことを前提としており、複数人存在すると受信側で誰からの信号なのか判別できず、位置を特定できない。開発当初、25KHz の超音波を高速 AD 変換でき開発が容易な小型コンピュータが見当たらなかったため、使用者発信方式を採用した。しかし、最近では自動車や家電などのコンピュータ化に伴い安価で開発も容易な高性能組み込みマイコンが世の中に登場してきている。これらを用いて複数人使用の課題を根本的に解決する使用者受信方式の実現の可能性が出てきた。図 9 は使用者受信方式の概要図である。

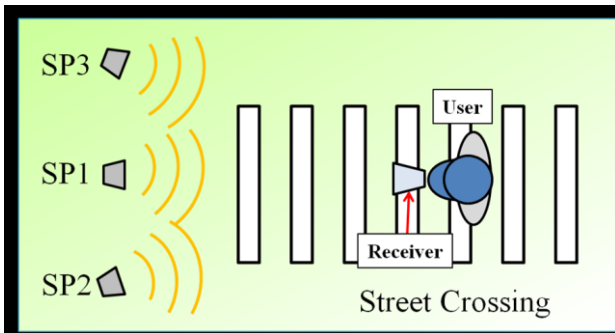


Fig.9 New system concept

新方式では横断歩道に設置された 3 台の送信器から 20ms 間隔で 25kHz の超音波を送出する。

間隔を空けて送することで、どのスピーカからの信号なのかを順番で判断する。また、順番の区切りを検出するために何も送信しないタイミングを入れ、 $4 \times 20\text{ms} = 80\text{ms}$ を 1 サイクルとする。送信するタイミングの 1 サイクルを図 10 に示す。

精度を上げるため AD 変換は 500KHz でのサンプリングを予定しているが、そのような高速サンプリングとリアルタイムでの相関処理ができ、使用者が負担無く携帯できる大きさのハードウェアを現在選定中である。

7. 考察

5 節での実証実験は晴天無風の理想的環境での測定ではあるが、実際の使用を想定した精度を出せることを示せた。2m ほどの近距離ではツイータとシリコンマイクロフォンとの組合せで 1 波長 (約 1.4cm) の誤差に収まる実験結果を得ている。

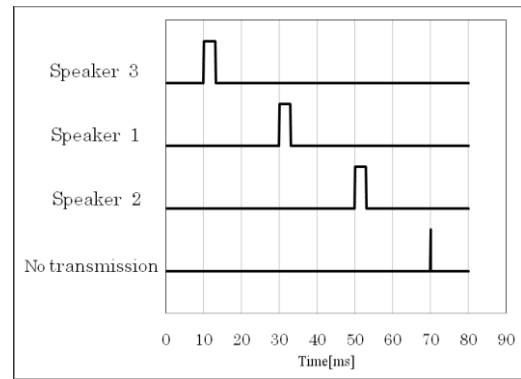


Fig.10 Timing chart of transmitting ultrasonic signal by speaker

しかし、これをそのまま長距離に適用すると思うように精度が上がらない。長距離における特性を考慮したシステム構築が必要である。

新たな使用者受信方式は GPS の電波を超音波に置き換えたような方式であり、従来の使用者発信方式を上回る実用的なシステムだと考えている。早急にシステム構築と実証実験を進めている。

8. 参考文献

- [1] John A. Brabyn, "New Developments in Mobility and Orientation Aids for the Blind", IEEE Trans. Biomedical Engineering, vol.29, no.4, pp.285-289, April 1982.
- [2] R.S. Wall, D.H. Ashmead, B.L. Bentzen, J. Barlow, "Directional guidance from audible pedestrian signals for street crossing", Ergonomics, vol.47, no.12, pp. 1318-1338, October 2004.
- [3] D.C. Witt, P.J. Stannard, "An ultrasonic mobility aid for blind persons in wheelchairs", Journal of Medical Engineering & Technology, vol.1, Issue 5, pp.290 - 291, September 1977.
- [4] T. Aoki, Y. Yonezawa, K. Itoh, M. Hashimoto, "Intelligent guide system by parametric sound beam for the visually impaired", Proceedings of the 5th International Conference on Computers Helping People (ICCHP) with special needs, pp. 637-643, 1996.
- [5] H. Petrie and V. Johnson, "Evaluation methodologies for navigational aids for blind people", Proceedings of 5th International Conference on Computers Helping People (ICCHP), pp.637-644, Wien, 1996.
- [6] M.B. Salah, M. Fezari, "A Navigation Tool for Blind People", Innovations and Advanced Techniques in Computer and Information Sciences and Engineering, pp.333-337, 2007 Springer Verlag.
- [7] G. Whitney, "Electronic Mobility Devices or Obstacle Detectors for Blind and Partially Sighted People", British Journal of Visual Impairment vol.12, no.2, pp.72-78, 1994.
- [8] M.M. Uslan, "AFB's Computerized Travel Aid: Two years of Research and Development", Journal of Visual Impairment and Blindness, AFB Press, pp.71-74, 1993.
- [9] L. Kay, "Electronic Aids for Blind Persons: an Interdisciplinary Subject", IEE Proceedings A vol.131, no.7, pp.559-576, September 1984.