

耳で聴く疑似視覚システム

金川浩久^{*1}, 美馬義亮^{*2}, 岩田州夫^{*2}

Pseudosight system with sensing by sound

Hirohisa Kanagawa^{*1}, Yoshiaki Mima^{*2} and Kunio Iwata^{*2}

Abstract - We have been developing a cognition supporting system which measures the distance from objects in surrounding environment. This system senses the distances from the objects and walls in the environment at a time, and then it converts the information to the sound. Multiple speakers placed around the user will provide corresponding distance information with the sound. By using this system, we will expect (1) it improves drivers' sensitivity for the objects, which exists on a hidden place from the drivers' seat in a car, with natural manner or (2) helps visually impaired people to perceive the existence of obstacles.

Keywords: Theory of ambient light array, Mobile system, Sense agency and Interaction

1. はじめに

本研究は、ギブソンの包囲光配列の理論¹⁾を音響空間に応用した研究である。観察者の周囲を取り巻く包囲光配列は、観察者の体の動きによって変化する。その変化には不変項とよばれる、常に成立する一定の関係があるとされる。これらは、可逆的な体の動きに対して、環境から返される刺激が「可逆性」を持っている場合に、環境の状況を理解できるという主張を含む身体知覚論である。包囲光配列という概念を用いることにより視知覚を説明するこの理論は、音響空間における知覚においても同様に成立するという仮定をたて、それを実証する研究を行った。

応用としては、距離センサを自動車のボディや観察者の体に固定し、視覚に頼らない環境知覚システムを構築することができると考えられる。

本研究では複数の方向に超音波センサを配置し、それらから得られた距離情報を音情報に変換して提示を行い、包囲光配列に相当する情報空間を構築した。使用者はシステムを使用することにより、自らの周囲を取り巻く環境の構造を音の情報として受け取り、情報空間の構造を直感的に

理解することが出来、知覚の代行、あるいは補助のために役立てることが可能である。

2. 関連研究

2. 1 感覚代行技術の研究動向

本研究の先行的研究として、感覚代行技術の研究がある。感覚代行とは、傷病などにより機能が損なわれた感覚を他の感覚で代行し補助することである²⁾。主な感覚代行には視覚代行、聴覚代行がある。このうちの視覚代行の研究では、1970年代に視覚の代行装置としての可能性を模索されたが、複数の装置が実用化されたにもかかわらず現在では利用されていない。これらの感覚代行装置の欠点としては、価格問題、普及度などがあるが、使用者がこの種の装置に関してかなりの熟練を要することが大きな要因だと思われる。また、近代の視覚代行のコンセプトとしては、障害物探知のような直接的な視覚支援よりもナビゲーション（案内）の機能に主眼が置かれている。

今回提案するシステムでは、この視覚代行の技術をベースにする。しかし、視覚障害者に対する視覚代行そのものを目的とするのではなく、一般に人間が対応しにくい後方からの接近物の検知などを可能にするような、よりインタラクティブ性の高い一連のシステムと位置づける。

*1: 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科

*2: 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

*1: Graduate School of Future University Hakodate, Research course of System Information Science

*2: Future University Hakodate, School of System Information Science

2. 2 ソニック・ガイド

視覚情報を音に変換する装置のひとつに、ソニック・ガイド（超音波定位装置）³⁾と呼ばれる装置がある。使用者の前面から超音波を発信し、はね返ってきた超音波を受信して、その情報を可逆性を持った情報として聞くことが出来る装置である。このシステムはコウモリのような生物の持つシステムを人間の知覚装置として応用したものであり、視覚に近い認識が聴覚によっても示されることが示されている。本装置はこの装置をさらに拡張し、全方位的なセンシングを行おうとするものである。また、今回の拡張にあたっては音響によるフィードバックを空間上に配置した音響で行うことにより、よりリアルに体験できるようにすることを目指している。

2. 3 障害物センサ

各自動車メーカー、部品メーカーなどで研究、開発が進められている自動車用距離センサが既に現在の自動車には搭載されている。これらのセンサは、主に自動車へ搭載し、後方の障害物に対する認知の補助的役割として使用されているが⁴⁾、出力に関しては、必要最低限の段階的变化をするという単純な物となっている。これは車外の障害物の存在をわかりやすく伝えるためである。しかし、場合によっては障害物の方向を直感的に捕らえることが難しいといった課題が内包されているとも考えられる。本研究でのシステムは、出力をより多段階化することにより、詳細な距離情報を取得することが出来るようなシステムを目指す。



図1 自動車の距離センサ

Fig.1 Distance sensor applied to a car

2. 4 CyARM

類似の技術の研究として、CyARM⁵⁾がある。CyARM

(サイアーム)とは、自分と障害物との距離を超音波で測定し、腰につなげたワイヤーを伸び縮みさせ腕に伝えるという視覚障害者向けの新しい「感覚代行器」である。距離に応じてワイヤーの長さが変化し、ワイヤーの伸びがそのまま距離感を表しているのが直感的に距離感を理解可能で、ものの形を非接触でトレースできることが特徴である。CyARMは空間認識のための直感的なインタフェースである。本システムでは同様に距離センサを入力としているが、このセンサを複数配置し、出力も複数のスピーカによる音情報の出力を行う。これにより、その方向に注意を向けることなく周囲の認知をすることを可能にしている。

3. システム概要

3. 1 システム概要

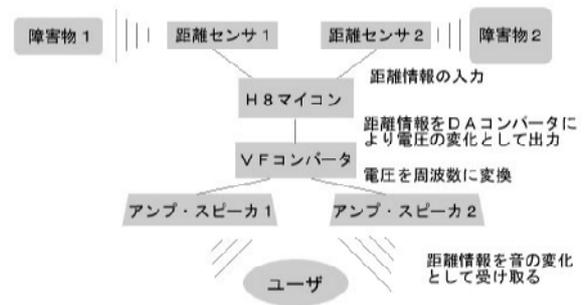


図2 システム概要図

Fig.2 System Overview

システム全体は図2のように構成されている。距離センサによって得られた距離情報を音の変化という形で出力している。これは、人間の視覚情報の一部を聴覚情報に変換することと同義であると考えており、感覚代行装置としての機能を果たしている。

3. 2 情報の入力部分

情報の入力として距離情報を得るために採用したのが超音波を利用した距離センサである。距離センサに関しては、主に音波を利用したもの、赤外線、可視レーザーを利用したものが存在している。超音波センサでは、音波などのパルスを発信し、それが対象の障害物に当たってはね返ってくるまでの時間をカウントしておき、そのカウントによって距離を割り出すという方式をとる。今回採用した超音波距離センサは、最大10mまでの計測が可能である。

3. 3 情報の出力部分

距離センサから得られた距離情報は、一度制御用マイコン(AK1-H8)に取り入れられ、そこで数値化される。この数値化された距離情報を出力の変化という形で表現する。この出力の変化には、DAコンバータ、VFコンバータの二種を組み合わせ利用した。VFコンバータは、DAコンバータを通して入力された電圧の変化を周波数の変化に変換するコンバータである。VFコンバータによって発生した周波数をアンプにより増幅、スピーカにより発信を行う。

3. 4 ユーザとのインタラクション

センサで得られた距離情報を音響情報に変換して出力する。出力される音は距離に応じて音程が変化し、その音によって距離が感覚的に把握させる。現在利用されている自動車の近接障害物距離報知システムでは、距離に応じて段階的に2、3通りの音が出るものが実用化されているのが一般的である。本研究ではソニック・ガイドに倣い距離に応じて多段階的に音に変化するものとした。距離センサの解像度は1cm程度である。このため、音の変化はなめらかな物とはならない。この多段階の音の変化パターンを複数用意しておき、随時それを変更、調節することも可能なので、状況に応じたチューニングをすることで、幅広いニーズに対応することも出来る。

また、一連の装置を複数個、ユーザの周囲に配置することで周囲をスピーカが取り巻く状況を作り出し、より周囲の知覚に役立てるものを目指す。このシステムによって作り出された音空間は、自分の周囲の距離情報を音として表現しており、使用者はその場にいるだけで周囲に存在する障害物と自分との距離を把握出来る。この空間は自分を中心として多方向に向けられているので、その方向に意志を傾けることなく継続的に環境の把握が出来る。使用者は体の向きを変えたり、自由に動き回ったり、その後元の場所に戻ってきたりすることで、環境が持つ構造を音というフィードバックで受け取る。それを繰り返しながら周囲の環境を理解出来ることが本研究の提案する環境と自身とのインタラクション性であるといえる。

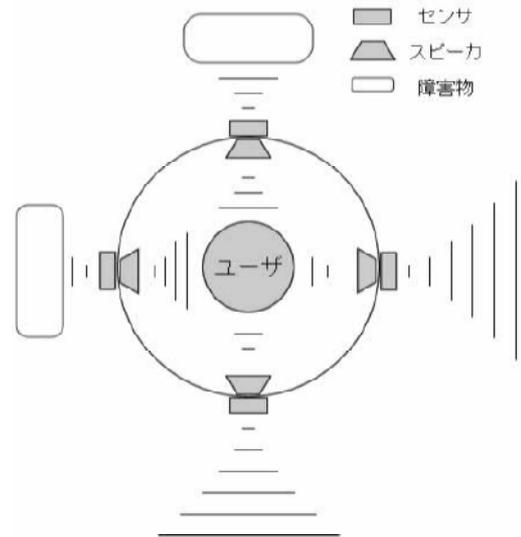


図3 使用状況略図

Fig.3 Usage condition rough sketch

4. 実装

4. 1 実装に当たっての要件

1. システムが小型であり、単体での起動、動作が可能なもの
2. ウェアラブルなシステムであり、体の周囲にセンサを配置することで、自分の体と周りの障害物との距離が十分把握できること
3. 必要な時に他のPCへの取得情報の出力がリアルタイムで可能なもの

条件1は、このシステムの特長として、車に取り付けての使用、あるいは体に身につけての使用を考慮しての条件である。システムとしての用途を考える際に、このように小型であるということが研究の思想に合致していると判断して、ハードとして独立したシステムとすることにした。

条件2は、条件1の考え方の延長上にある考え方である。本システムの用途は、自動車に取り付けての使用、体に身につけての使用を考えているため、システムを体に身につけられるような工夫が必要となった。全体的なシステムイメージとしては、センサを体の周囲を取り囲むように配置(4~8方向)し、出力装置であるスピーカは、頭部を覆う比較的大型のもの(ヘルメットのような物)の内部に配置するものである。このスピーカ部分は、このほかにも

様々な場所に配置することを考慮し、例えば自動車に実装する場合は当然車内の様々な部分に配置し、さらに、ユーザが入れるような比較的広い空間の内部に配置することも出来るので、ユーザの使用状況に応じた柔軟な配置を可能としている。

条件3に関しては、機能の拡張としてその機能を持たせることを考えた。現在想定しているシステムは、その使用状況の想定から、それ自体で完結するような、持ち運び、身体に装着できることを目指した。

4. 2 試作モデルとその外観

以上の考察を踏まえ、実際に試作モデルの作成を行った。

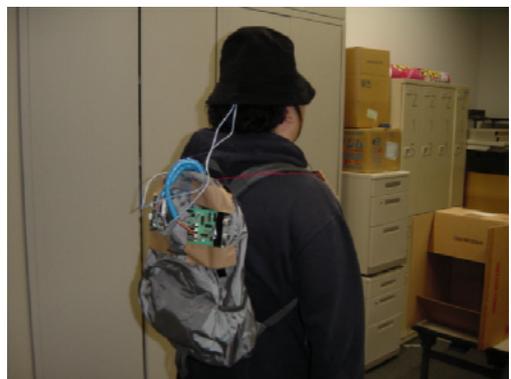
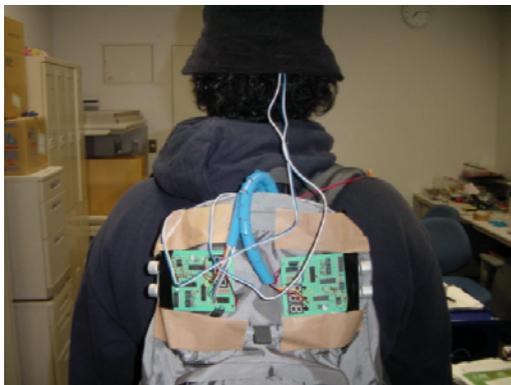


図4, 図5 試作モデル

Fig.4, Fig.5 Experimental model

この試作モデルでは、背中のリュックにシステム本体を内蔵し、出力となるスピーカは帽子の内側に配置することで上に挙げた要件を満たしている。

4. 3 システム性能

4. 3. 1 ハードウェア

本システムは、電池によって駆動する。使用する電池は単二電池6本で、9Vの電圧を発生させることによりH8

マイコン、VFコンバータ、アンプ、スピーカにそれぞれ電力を供給する。尚、H8マイコンは動作電圧5Vとなっているので、レギュレータ(電力調節装置。入力された直流電源を平滑、定電圧化して出力する。)を使用している。

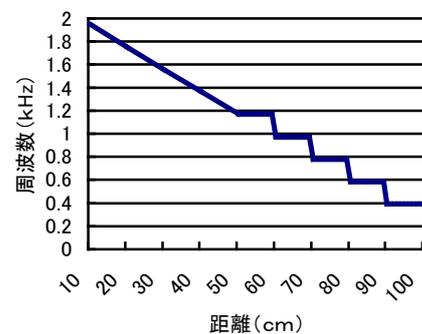
超音波センサは、単体での最大計測距離は5m、最小計測距離は10cmで、1cm単位の計測が可能となっており、マイク、スピーカ部分に収束器を取り付けることにより最大10mまでの計測が可能であるが、今回のシステムでは収束器は使用していない。また、センシング範囲は本体を中心に扇形になっており、1m先で左右30度までの平均的な大きさの物体を感知することが可能である。(60cm四方の段ボール箱を使用して計測。)このセンサを左右に、それぞれ反対方向を向くように配置することで、使用者の左右の距離を計測する。

DAコンバータは、H8マイコンに内蔵されている物を使用した。0~5Vの電圧を数値の設定により256段階に変化させることが可能である。VFコンバータには、電圧一周波数/周波数-電圧変換用のICを使用している。変換レートは1V-1kHzとなっているので、DAコンバータの最大出力5Vに対して5kHzの周波数の矩形波を発生する。

4. 3. 2 ソフトウェア

表1 計測距離と発生する音の周波数の関係

Table.1 Relation of frequency of measurement distance and generated sound



H8マイコンに組み込むプログラムの制作にはC言語を使用した。距離センサからの距離情報を読み取り、その値に対して、DAコンバータに任意の電圧を発生させることが可能であるため、様々な距離-音変換パターンを作成することが出来る。今回のシステムでは、音が発生する最大距

離を1mとし、10cm～50cmまでは1cm毎に一段階、50cm～1mまでは10cm毎に10段階音階が変化するように設定している。その相関関係図を表1に示す。

5. 評価

5.1 評価の目的

最終の目的は感覚の補助だが、ここでは基本的な性能を調べるため、視覚代行的な機能についての評価を行った。

5.2 評価の手法

制作したモデルを使用して歩行実験と認知能力実験の二種類の実験を被験者に対して行った。

歩行実験(1)では、決められた距離の通路を装置ありと装置無しの状態で行ってもらった。実際の秒数を計測すると同時に歩行の様子を観察し、装置の有効性について考察した。

認知能力実験(2)では同様の通路を複数回被験者に歩行させ、その後で通路の起伏についてスケッチをしてもらった。これは実際に形状を認知できているかどうかを調べる実験である。両実験とも同様の通路を使用し、距離は10メートルとし、5人の被験者に対して実験を行った。実験中は被験者に目隠しをしてもらい、視覚による位置、方向の把握が不可能な状態で行っている。また、装置による情報の把握を促進するため、手探りによる周囲の情報の把握も行わないという条件で実験をしてもらった。

5.3 歩行実験

実際に通路を歩行してもらったところ、全員の被験者が装置を使用した場合により早く通路を歩行することが出来た。また、単純な通過時間の短縮という結果以上に、歩行の様子に関して大きな変化が見られた。装置を使わない場合は、被験者が壁面に接触することを恐れるために歩行速度が低下し、壁面に接触して初めて通路に対する自分の位置の把握がなされていた。10メートルという距離の中で、前半部分は自分のスタート位置からの推測によっておよその位置が把握できるが、距離を進むに従って自分の現在位置している場所、方向の把握が困難になるため、視覚情報の欠如による障害物への接触することへの恐れが見受けられ、より多くの時間を要することがわかった。



図6 通路の概観

Fig.6 General view of passage

これに対し、装置を使った状態では左右の障害物への距離を装置によって積極的に把握することが可能であるため比較的通路の中央を歩行することが可能であり、通路の端に寄ってきてしまった場合でも装置からの情報の提示により方向の修正を行っている様子が確認できた。視覚情報を聴覚情報として提示することで、装置による周囲の情報の把握が行われているといえる。

表2 歩行実験結果

Table.2 Walking experiment result

	装置なし (秒)	装置あり (秒)
被験者 1	24.11	23.05
被験者 2	28.40	18.89
被験者 3	27.98	26.00
被験者 4	47.74	33.99
被験者 5	21.76	18.79

5.4 認知能力実験

実験は歩行実験と同様の通路で行った。被験者には歩行実験同様に目隠しをしてもらい、その状態で10メートルの通路を3回歩行してもらう。このとき、被験者は立ち止まったりしてもよいこととした。これは、静止した状態で装置からの出力に集中することでより周囲の把握を促進することが目的である。その後で通路の図面を被験者に描いてもらった。その結果を表2に示す。本来の通路の形状に対して、形状の詳細に関してはあまり認知できていなかったものの、通路上の大きく横に開いている場所(横への通路)の存在に関しては全員が認知出来ていた。また、装置

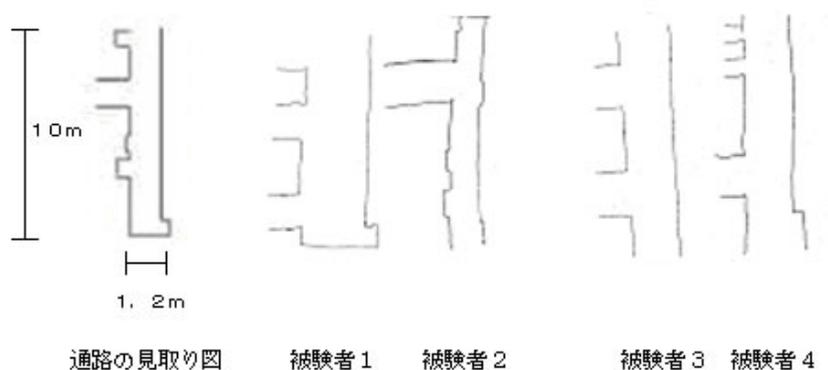


図7 認知能力実験に使用した通路の見取り図と被験者の描いた図の比較
 Fig.7 Comparison of figures that rough sketch and testee in passage depicted

の特性上, 歩行する際の肩の揺れなどによっても細かく距離が変化してしまうので, 数センチ単位の微細な起伏の認知は困難であると考えられるが, それ以上の距離の変化に対しては十分に対応が可能であり, 周囲の環境を直感的に理解できていることがわかった。

6. 考察

歩行速度実験に関しては, 使用したことにより使用しない時よりも大幅に時間が短縮された訳ではなかったが, これは装置への学習度が低かったためと推測する。装置に対する経験が増えていけば被験者の装置への信頼性が増すため, よりスムーズな歩行をすることが可能だと考える。

また, 認知能力実験では装置を使用することにより, その場所の大まかな形は十分認識出来ることがわかった。細かい起伏までは認知できないものの, 割と大きくへこんでいるような場所や, 横に伸びる通路などは十分に認知できた。また, 両実験では使用者が積極的に装置の持つ機能へ意識を傾けようとする行動が見られた。これらの結果から, 装置を使用しての空間認知という目標は達成可能であると考察する。そのためには数日程度の習熟期間が必要であるが, 装置の特性を認識した上での性能としては, 当初の目標を達成したと言える。

7. まとめ

本システムでは, 距離感をつかむためには数日程度の学習期間が必要ではあるものの, 学習を行った後は, 直感的に距離を認知できるという特徴を持っている。また, 大まかな場所の形状の認知に関しても十分な効果が得られる事が実験によりわかった。その結果として, 装置を使用することによる周囲の環境の把握は可能であるという結論を得た。今後の改善点として, 距離情報の提示のさせ方, つまり出力となる音の変化のさらなる考察が挙げられる。また, 装置の習熟の度合いについても今後の課題の一つとして検討をしていきたい。

参考文献

- 1) ギブソン:生態学的視覚論,サイエンス社, (1985).
- 2) 関 : 感覚代行技術 ; 電子情報通信学会誌 , Vol.85 No.4 pp241-244, (2002).
- 3) 高野 : 傾いた図形の謎, 東京大学出版会, pp59-69, (1987).
- 4) 末富 : 危険警報のヒューマンインターフェース ; 自動車技術 Vol. 56 No. 3 pp49-53 (2002).
- 5) Ito, K : CyARM: an Alternative Aid Device for Blind Persons ; CHI 2005 Late Breaking Results: posters pp1483-1486, (2005).