

サイン波による相対音程差を用いた 視覚障がい者のためのメンタルマップ形成支援ツール

An Assistance Tool for Visually Impaired People to Create Mental Maps Using Relative Difference in Sine-Wave Sounds

精密工学専攻 28号 塩崎寛

Hiroshi Shiozaki

1. 序論

歩行の際には歩行の妨げとなるものを避けて移動しなければならぬ。周辺物体までの距離、あるいは物体の形状を知覚することにより、移動時の周辺環境とそれに対する自分の位置を理解することが可能となり、これをメンタルマップと呼んでいる。晴眼者は視覚を用いてこれらを行うが、視覚から情報を得られない視覚障がい者には容易なことではない。視覚障がい者が壁や障害物に囲まれた屋内を安全に歩行するには、視覚以外の感覚器官を用いて障害物位置や壁面形状などの周辺環境を知覚し、メンタルマップ形成を行う必要がある⁽¹⁾。

また、Larisa Dunai らが行った調査により、視覚障がい者は近距離よりも遠距離の環境情報を欲していることが示されている⁽²⁾。視覚障がい者が歩行する際に用いる白杖が触れることにより、近距離の障害物と壁面の位置、及び足元の段差などは知覚可能である。一方、白杖で知覚できない遠距離に存在する車や人などの移動を事前に知覚することで、それらを避ける移動経路選択を接近前に行いたいという意見が得られている。

壁面形状の提示を行うことにより白杖の届かない遠距離情報の提示が可能となり、壁面に接触する前の行動決定を可能とすることから、視覚障がい者に対する環境情報提示として有意義であると考えられる。本研究では、視覚を用いずにメンタルマップを形成するための支援ツールの実現を目的とする。

視覚情報を使用せずに周辺環境状況を提示する研究は盛んに行われており、提示方法は大きく分けて触覚刺激と聴覚刺激の2種類がある。従来研究の提示方法について比較・考察し、どちらが本研究に用いる上で適切かを選択する。

触覚刺激として振動提示を行う研究では、アクティブベルト⁽³⁾や振動モータを用いた電動車いす使用者への周辺物体位置の提示⁽⁴⁾などがある。車いす使用者への情報提示の研究⁽⁴⁾では、複数の振動モータを使用し振動位置、振動の強弱のパラメータを用いて物体の位置を提示する。振動位置の知覚精度に関しては、複数の箇所振動が同時に提示された場合にそれぞれの刺激を区別することは難しいという結果が示された。これは振動が身体を伝播するため複数の振動位置の同時提示は知覚が難しいためであると考えられる。さらに振動刺激で制御できるパラメータは振動強度・振動位置・振動周期と少なく、提示の自由度が高いとはいえない。振動強度の提示はゼロ・弱・強の3段階であるが強弱の2段階判定でも判定率が低いことから、強度に関する知覚分解能も高くないと考えられる。したがって触覚に情報より提示できる情報には限界があると結論づけた。

もう1つの提示方法として聴覚刺激がある。聴覚刺激として、音声、音量、仮想音源位置を用いた方法がある。聴覚刺激として音声を用いた情報提示にはテキスト朗読システム⁽⁵⁾などがある。音声による提示では数値などの言語情報が提示されることになる。言語情報から距離感や形状を知覚するためには、言語情報と距離感や形状を対応付ける訓練が必要となり、言語情報から感覚的にかつ瞬時に距離感を獲得することは困難であると考えられる。

次に、音声以外の聴覚刺激を用いた情報提示として、物体位置を提示する研究などが挙げられる。これらのアプローチには、物体までの距離と方向を提示するアプローチ⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾と、物体の位置を仮想音源として直接提示するアプローチ⁽⁹⁾がある。

距離と方向を提示するアプローチとして、音を出す仮想オブジェクトを想定し、ステレオスピーカを利用してその位置を提示した研究⁽⁶⁾がある。仮想ユーザを中心とした仮想的3次元空間を作成し、仮想音源までの距離は音源の音量で示され、仮想音源の上下、左右の方位は左右のスピーカからの聞こえ方で示されている。また、視覚障害者のためのGUIオブジェクト検索用インタフェース⁽⁷⁾を構築した研究がある。ユーザはヘッドホンを装着し、ディスプレイ上のアイコンにそれぞれ対応した音がヘッドホンから流れる。マウスカーソルとアイコンの横座標が同じときのみ両方のスピーカから音が聞こえる。マウスカーソルとアイコンとの距離は音源の音量で表される。次に物体の位置を仮想音源として直接提示するアプローチとして、立体音響による人物誘導⁽⁹⁾などがあるが、方向の提示によるナビゲーションでは目的地へ到達することはできても、周辺環境情報は獲得できないためメンタルマップの作成を行うことは難しいと考えられる。

これらの研究事例を含め、ユーザとアクセス対象との距離を提示するインタフェースに関する研究の多くは距離感を音量で表している。ここで述べる距離感とは数値による距離情報ではなく、人が物体までの距離に対し感覚的に感じる「近い・遠い」「手が届きそう・届かない」などのイメージのことである。しかし多くの研究において音量による距離感提示は知覚分解能が低いという結果が示されている。これは音量の絶対的な量としての判別、及び増減の知覚ともに容易ではないため、音量に対応付けられた物理量を解釈するにも精度及び分解能に限界があると考えられる。

一方、音程は高低変化の知覚が比較的容易であり、音程に対応付けられた物理量の知覚精度が高い結果が示されている⁽¹⁰⁾。しかし音量の場合と同じで絶対音程を得ることは困難なため単音では距離そのものを知覚するのは難しいという問題が残る。

これらの問題点を踏まえ、先行研究では音程の判別を行う際に、絶対的な音程を特定することは困難であっても、相対的な音程差を知覚することは比較的容易であることに着目した。すなわち、周波数が一定の固定音と対象物体までの距離に応じて音程が変化する変動音階を同時に提示することによって得られる相対的な音程差を用いて距離感を提示する手法を提案した⁽¹¹⁾。

本研究では、相対音程差による距離感提示を用い壁面形状の提示を行い、メンタルマップ形成を支援するインタフェースの実現を目的とする。

2. オーディオインタフェースの提案

2.1 相対音程差

先行研究では、比較対象を用意することで音程変化の知覚精度を高め、対応付けられた距離感の知覚を容易にした⁽¹¹⁾。

変動音階は物体までの距離に応じて変化し、距離が近くなるにつれて周波数は高く変化する。一定距離まで物体が近づくと鳴りはじめ、ユーザと対象物体との距離がゼロになるときに周波数は最大値をとる。変動音階の音程の範囲は 440Hz～880Hz とする。

固定音階は常に一定の周波数を流し続け、その音程は変動音階の最大値と同じ 880Hz とする。したがって、ユーザと対象物体の距離がゼロとなったとき固定音階と変動音階の周波数は一致する。すなわち、ユーザが物体に近づくとつれて相対音程差は小さくなる。

2.2 距離感の提示

先行研究では、相対音程差を用いた距離感提示の実験を行った。空間内の一点に仮想物体を配置し、ユーザの位置は超音波式 3 次元位置計測装置を用いて測定することでユーザ - 仮想物体間の距離を計測する。仮想物体までの距離感の提示を行った実験である。

変動音階は段階的な変化を用いて、一般的に用いられるハ長調を適用し、低い「Lo A (440Hz)」から高い「Hi A (880Hz)」に変化するように設定した。固定音階は「Hi A」とする。変動音階は、仮想物体までの距離が 3.0 m より大きい場合は「Lo A」であり、距離が 3.0 m 以下になると「B」に上がる。それからは 2.5 m 以下まで近づいて「C」となるように、0.5 m ごとに音階が 1 つずつ上がっていくものとした。

実験の結果仮想物体までの距離を知覚した回答の平均誤差は 0.25m であった。また全員が 1 音階 (0.5 m) 以内の誤差で回答できていた。これより被験者は高い精度で距離感の知覚を行うことができたといえる。

2.3 壁面形状の提示

続く壁面形状の提示の際には、段階的な音程の変化では壁面の詳細な形状を提示できないと考えたため、段階的な変化を用いずに連続的な音程の変化を用いることとする。

2.3.1 周波数変動音の設計

周波数変動音の変化率は 2 つのパターンを用意して比較を行った。1 つめの変化率は十二平均律に従った音階の変化を模した二次曲線の変化率である。十二平均律に従った周波数の変化では、音程が上がるにつれて二次曲線的な変化をする (Fig. 1 参照)。これを参考に変動音階の変化を Lo A から一オクターブ高い Hi A まで二次曲線状に変化させ変動音階とした。変動音階の周波数を (1) 式で示す。f は変動音階の周波数、d は対象物体までの距離、 d_{max} は変動音階が鳴りはじめの距離を表す。

$$f = 0.0006875(d - d_{max})^2 + 440 \dots \dots \dots (1)$$

2 つめの変化率は直線的な変化率である。変化率が一定であり、知覚が容易と考えた。α は比例定数である。

$$f = -\alpha(d - d_{max})^2 + 880 \dots \dots \dots (2)$$

この 2 つの変化率を用いて壁面形状の知覚実験を行った。壁面形状は、平面と 2 種類の曲面の 3 通りを用意し、それぞれを人に対して 2 通りの傾きで設置した合計 6 通りの形状を使用した。実験内容は、被験者は一直線上を移動し、その移動直線に対し垂直に腕を伸ばし移動する。被験者が腕を向けた方向には一枚の壁面を用意し、壁面は移動方向に対し斜め

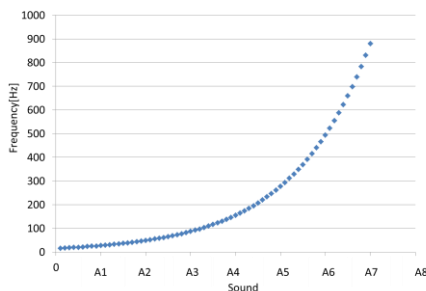


Fig. 1 Frequency of sound

に設置した。被験者に口答で壁面の形状を回答させた。壁面形状の正答率は、直線の変化率で 83%、二次曲線の変化率で 50% となった。直線の変化率で行った実験のほうが正答率は高く、二次曲線の変化率で行った実験では被験者は平面の壁面を曲面と認識する誤回答が目立った。

これは、二次曲線の変化率を用いた場合は低音側と高音側で周波数の変化率に違いがあるために起こったと考えられる。よって今回はその点を考慮し、変動音階の変化率には直線の変化率を使用することとした。

2.3.2 距離感取得方向の選択手法

物体までの距離感を連続的に提示することによりユーザ周辺の壁面形状を提示する。その際、音を生成するためには物体までの距離取得方向を選定する必要がある。本研究では二種類の距離取得方向の選択手法を提案する。提示される壁までの距離をユーザが自ら選択し指し示す手法 (アクティブセレクション) と、一定の時間間隔で壁面までの距離を順に提示していく手法 (パッシブセレクション) である。

対象物体までの距離計測には北陽電機のレーザ測域センサ UTM-30LN (LRF) を用いた。センサの計測範囲は 270°、分割数は 1081 方向である。

1) アクティブセレクション

LRF の 135° の方向をユーザの腕の指し示す方向とし、指し示された方向の物体までの距離を提示する。ユーザは探索したい方向を自ら選択することができる。

2) パッシブセレクション

同様に LRF を用いてユーザの右方向から左方向までの前方 180° のうち、あらかじめ指定した何方向かの対象物体までの距離を計測し順番に提示する。距離を計測した方向は、変動音を提示する際の左右間音差 (パン) を用いて提示する。

方向分割数が多くなればより細かな角度方向で距離が得られるため、より正確に壁面を知覚できると考えられる。しかし提示回数が多くなるにつれて角度を区別しにくくなり被験者の混乱が増すと考えられるため、方向分割数には限界があると考えられる。

被験者前方 180° の分割数を決定するにあたり、人が左右間音差により方向を知覚する際の分解能がどの程度かを調べる実験を行った。前方 180° を 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 方向に分割し、そのうち 1 方向から単音の sin 波を流しヘッドホンを用いて被験者に聞かせた (Table. 1 参照)。被験者には解答用紙の分度器の絵に印をつけることでどの方向から聞こえたかを回答させ、回答した方向に最も近い分割方向が正解であるときにその回答を正解とした。被験者は 22~25 歳の成人男性 6 人で、各分割数につき 5 回行った。

結果を Fig. 2 に示す。回答精度は 13 分割以降大きく下がっており、他方向と区別がつきにくくなっていることがわかる。このことから、角度方向の知覚の限界は 13 方向であると考えられる。よって本インタフェースのパッシブセレクションでの方向分割数は 13 方向とする (Fig. 3)。

3. オーディオインタフェースの実装

Fig. 4 に本研究で作成したオーディオインタフェースのシ

Table. 1 Result of angle detection

分割数	分割角度 [deg]	許容誤差 [±deg]
5	45	22.5
7	30	30
9	22.5	11.25
11	18	9
13	15	7.5
15	13	6.5
17	11.25	5.7
19	10	5

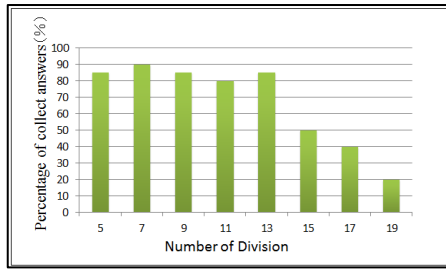


Fig. 2 Percentage of correct answers

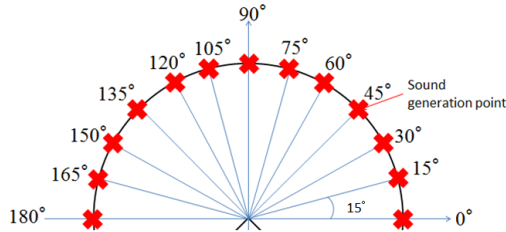


Fig. 3 Direction to sound generation points

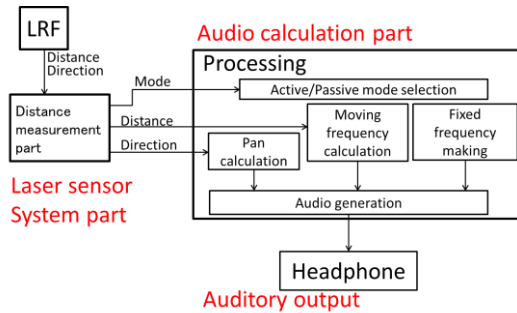


Fig. 4 Sound generation system

システム構成図を示す。システムは距離計測部、音響制御部、音響出力部の3つから構成される。音響生成のための開発言語は Processing、API は Ess r2 を使用する。

受信した対象物体までの距離情報をもとに周波数変動音を設定する。パッシブセレクションでは角度番号に応じて変動音階の左右間音量差（パン）を決定する。LRF は計測範囲の 45° から 225° までの前方 180° のデータのうち等間隔に分割された複数方向の距離データを取得し角度方向番号と共に 1 つずつ順番に音響作成部に送信する。1 方向の角度番号とその方向の距離データを送信してから次の方向のデータを送信するまでの間隔は 1s とした。パンは左から右に行くにつれて Processing 上で -1~1 の値で設定される。被験者右方向を 0°、被験者左方向を 180° とした。音響の出力にはヘッドホンを用いる。

4. 壁面形状知覚実験

相対音程差を用いて壁面形状を知覚する実験を行った。

4.1 実験環境

被験者の周囲に板で壁面を作成する。被験者はオーディオインタフェースから得られる情報をもとに壁面形状を知覚したのち、解答用紙に壁面形状を描写する。あらかじめ LRF により取得した壁面と比較し評価する。

被験者は椅子に座り移動しないものとした。被験者の前に 1.8 m × 0.9 m の机を配置し、アクティブセレクションでは LRF を乗せた台車を机上で操作する。パッシブセレクションでは机上の 1 点に LRF を置き、周辺対象物体位置を計測させる。

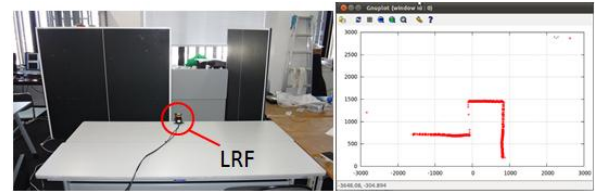


Fig. 5 Example of wall shape

壁面形状は壁となる板の位置関係を変化させた3パターンを用意した。壁面作成に用いた板は長さ 1.8 m の板が 1 枚と長さ 1.4 m の板が 2 枚である。

なお、本実験では実験環境の大きさを考慮し、変動音階が鳴りはじめる距離の閾値を 3m とした。3 つの実験環境のうち Fig. 5 に実験環境の 1 例を LRF で計測した情報と共に示す。右図の赤線が計測された壁面形状を表す。

4.2 実験手順

実験の前に被験者には以下の情報を示し、練習時間を設けた。練習にかける時間は任意とした。

- ・変動音階の変化
- ・固定音階の役割
- ・相対音程差変化による壁位置

アクティブセレクション・パッシブセレクションを用いたそれぞれの実験に必要な練習手順と実験の流れを以下に示す。

4.2.1 アクティブセレクションによる実験手順

(1) 相対音程差知覚練習

被験者前方に 1 枚の壁を用意し、被験者はアイマスクを着けずアクティブセレクションを行い、壁面までの距離に応じて変化する相対音程差を聞き取る。

(2) アクティブセレクション実験

被験者はアイマスクを着けず、実験環境の壁面を探索する。アイマスクを外したのちに、解答用紙に壁面形状を描写する。

4.2.2 パッシブセレクションによる実験手順

(1) 相対音程差知覚練習

被験者前方に 1 枚の壁を用意し、被験者はアイマスクを着けずアクティブセレクションを行い、壁面までの距離に応じて変化する相対音程差を聞き取る。

(2) パン知覚練習

画面に表示された四角の中でマウスカーソルを左右に移動させることで、その動きに対応してパンするプログラムを用いる。被験者はマウスを左右に操作し、パンする音の定位を聞き取る練習をする。この時提示される音は周波数一定の単音である。

(3) パッシブセレクション実験

被験者はアイマスクを着けず、実験環境の壁面を探索する。アイマスクを外したのちに、解答用紙に壁面形状を描写する。

4.3 実験結果

Fig. 5 に示した実験環境で被験者が壁面形状を描写した解答の一例を Fig. 6 に示す。左がアクティブセレクション、右がパッシブセレクションにより得られた回答である。角度誤差 10° 以内を正解とし、描写した壁面の正答率を求めた。

パッシブセレクションによる回答では、被験者の正面に配置された、被験者の向きに垂直な壁面を正確に知覚できた回答は 100% であり、同様の形状であるが被験者の正面以外に配置された壁面も正答率は 100% であった。さらに被験者の向きに対し平行に配置された壁面の正答率は 75% であった。

アクティブセレクションによる回答では、被験者の正面に配置された、被験者の向きに垂直な壁面の正答率は 100% であり、同様の形状であるが被験者の正面以外に配置された壁面も正答率は 100% であった。さらに被験者の向きに対し平行に配置された壁面の正答率は 50% であった。

4.4 考察

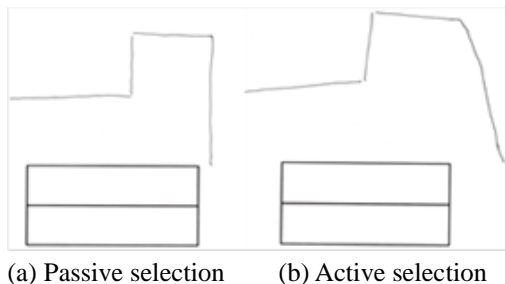


Fig. 6 Example of Subject's answer

被験者の向きに対し垂直に配置した壁面の知覚精度は、配置された位置、およびアクティブセレクション・パッシブセレクションによらず形状の知覚は良好であった。しかし向きと平行に配置した壁面の形状の描写はどちらの距離取得方向の選択方法の場合でも誤解答が見られた。これは提示方向につれて変化する距離感情報から、壁面角度の知覚を正確に行えなかったためであると考えられる。Fig. 5で被験者の右斜め前に配置した壁面の場合、提示される距離感と方向はFig. 7の(a)に示されるとおりである。被験者右方向0°側から90°側に距離感提示方向が変化するにつれて提示される周波数がFig. 7の(b)のように変化する。この変化を「角度が前方になるにつれて壁面が遠くなっている」という情報として得られても、その変化率が「向きに対して平行」であるという正確な角度知覚までは行えなかったためである。

また角度誤差の大きさに関しては、アクティブセレクションの方が大きかった。これは被験者がLRFを左右に動かしてセンシングする際に体ごと動いてしまったため、被験者は自分の向きが分からず基準となる向きがわからなくなったためであると考えられる。

5. メンタルマップ形成実験

壁面形状を複数箇所から知覚することによりメンタルマップ形成を行う実験を行った。

5.1 実験環境

実験は室内のL字路で行った。L字路のサイズは壁面形状知覚を行った通路の幅が2.2m、正面の壁面までは5.0m、曲がった先の通路幅が2.5mである。被験者は23歳男性1名である。

5.2 実験手順

被験者はまずアイマスクを装着しFig. 7(a)の点①で壁面形状の知覚を行い、解答用紙に壁面を描写する。その後、アイマスクを装着したまま②の経路を歩き点③で立ち止まり右を向く。そして点③で再度壁面形状の知覚を行い、現在解答用紙に描写した壁面上の何処にいるかを回答する。

5.3 実験結果

被験者が回答用紙に記入したものがFig. 7(b)である。被験者は、最初の点①で壁面形状と最初の自己位置を描写できている。また移動後の自己位置も壁面との位置関係を含め点①で得られた地図上に描写できていることがわかる。

5.4 考察

空間上の1点で壁面形状の知覚・描写を行い、他の1点まで歩行した後に再度壁面形状を知覚し、最初に得られた地図上の何処にいるかを理解できたかによりメンタルマップが形成できたかを評価する。壁面との位置関係を含め自己位置を正確に描写できたことから、被験者は空間のメンタルマップ形成を行えたと言える。

6. 結論

本稿では、先行研究で提案した相対音程差を用いた距離感提示手法を元に、壁面形状提示によるメンタルマップ形成支援ツールの提案を行った。

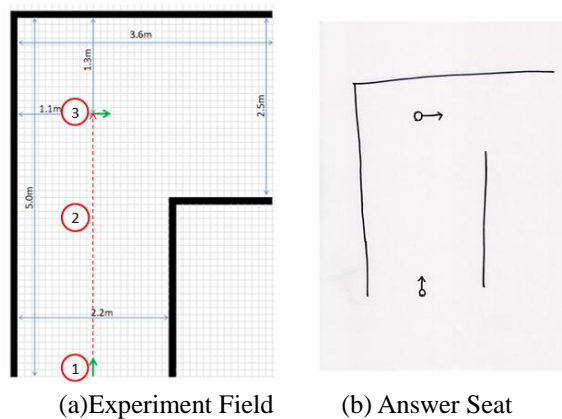


Fig. 7 Answer seat of experiment

壁面形状提示実験を行った後に、壁面形状を2箇所で見覚することにより空間内の自己位置を含むメンタルマップ形成が可能かを実験により検証した。

実験の結果、壁面知覚実験では被験者の向きに対し垂直に配置した壁面の知覚精度は、配置された位置、セレクションによらず形状の知覚は良好であったが、向きと並行に配置した壁面の形状の描写はどちらのセレクションでも距離感と角度の対応づけが不完全であったため誤解答が見られた。メンタルマップ形成実験では、自己位置を正確に描写できたことから、本ツールは空間のメンタルマップ形成支援を行うことができたといえる。

参考文献

- (1) 中島 宏樹, 鎌田 一雄, 今井 達二己, 盲人の歩行に関する実験的考察, 電子情報通信学会技術研究報告, WIT, 福祉情報工学 107-437 (2008) pp.65-70.
- (2) Larisa Dunai, Guillermo Peris Fajarnes, Victor Santiago Praderas, Beatriz Defez Garcia, Ismael Lengua Lengua, Real-Time Assistance Prototype - a new Navigation Aid for blind people., IECON 2010. (2010), pp.1173 - 1178.
- (3) M. Verbunt, C. Bartneck, Sensing Senses: Tactile Feedback for the Prevention of Decubitus Ulcers, Appl Psychophysiol Biofeedback, DOI 10.1007/s10484-009-9124-z, (2010), pp.243-250.
- (4) Mihoko Niitsuma, Terumichi Ochi, Masahiro Yamaguchi, and Hideki Hashimoto, Interaction between a User and a Smart Electric Wheelchair in Intelligent Space, in Proceedings of the 2010 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2010), (2010), pp. 465- 470.
- (5) 駒場 恵, 西沢 文範, 小林 賢治, 鎌田 一雄:, 音響メディアを用いた盲人の情報活動に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告. SITE, 技術と社会・倫理, 103-78(2003), pp.1-6.
- (6) 富長 博, 米倉 達広, 音メディアを用いた3次元空間インタフェースの提案, 電子情報通信学会論文誌, D-II, 情報・システム, II-情報処理 J81-D-2(2), (1998), pp.352-360
- (7) 海老名 毅, 猪木 誠二, 河合 隆芳, 聴覚フィードバックを用いた GUI オブジェクトの検索について, 電子情報通信学会技術研究報告, HIP, ヒューマン情報処理 95(499), (1996), pp.61-66
- (8) Hiromu Kobayashi, Mihoko Niitsuma, Hideki Hashimoto, and B. H. Lee, A User Interface of Spatial Memory Using Acoustic Information in Intelligent Space, in Proceedings of the 2010 International Symposium on Intelligent Systems, (2010), S5-7-2.
- (9) 森田 貴大, 李 周浩, 知能化空間における立体音響を用いた人物誘導(第2報)-定位認識向上のための音像運動パターンの提案-, SICE, (2011), SY0014/11/0000 - 2072
- (10) 本多 明生, 柴田 寛, 行場 次朗, 岩谷 幸雄, 鈴木 陽一, 大内, 誠三次元聴覚ディスプレイ研究の新展開: 聴覚 VR ゲームによる転移効果, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, (2007), 12-4, 487-496.
- (11) 塩崎 寛, 新妻 実保子, サイン波の音程差を用いた視覚障害者への周辺壁面形状の提示, 電気学会論文誌, (2012), pp.27-32.