

聴覚刺激を用いた感覚代替による視覚障がい者のための歩行支援

Walking Assistance for the Visually Impaired Based on Sensory Substitution Using Audio Stimuli

精密工学専攻 55号 渡部隆之
Takayuki Watabe

1. はじめに

人が安全に歩行する際には、空間内における自己位置と周辺環境を認識し、障害物を避けながら目的地へ到達することが求められる。晴眼者であれば壁の形や物体などの空間の特徴を視覚によって知覚し、メンタルマップと呼ばれる頭の中に描いた空間地図を構築する。その後、人や物体までの相対的な位置関係などを理解する。目をつぶってもある程度の距離感や何があるかを思い浮かべられるのはこのためである。しかし、視覚障害者は空間の特徴を視覚的に得ることができないため、点字や白杖などの触覚や聴覚による感覚の代替によって環境情報を取得し行動の決定を行う。障害物を避けながら目的地まで向かえたとしても、あらかじめ速くの物体を知覚し、広いメンタルマップを構築することは難しい。

視覚障がい者のための感覚代替を利用した研究として、舌の上に乗せたデバイスから電気刺激を情報として提示することで視覚障害者の歩行を支援するもの⁽¹⁾、アクティブベルトと呼ばれるデバイスによってナビゲーションするもの⁽²⁾、音の大きさを使い物体までの距離と方向を提示するもの⁽³⁾⁽⁴⁾などがある。これらの研究の多くは、感覚代替を利用し使用者を目的地まで誘導するナビゲーションを目的とするものである。ナビゲーションは、使用者が周辺環境を把握せずとも目的地へ到達できる利点がある。

しかし、使用者が点字ブロックのない場所を安心して歩いたり、長い距離を歩いたりする場合には、自己位置を正確に把握できることが重要である。そのためには、周辺環境の空間的特徴を知覚できることが必須であると考えられる。すなわち、使用者が周辺環境や自己位置を知覚し自ら歩行計画を立てて歩行するためには、周辺環境を知覚できないナビゲーション情報ではなく、その空間のメンタルマップを構築できるような空間情報の提示が有用であると考えられる。

視覚を用いず使用者に空間情報を提示する方法としては、大きく分けて触覚刺激を用いた方法と聴覚刺激を用いた手法が考えられる。まず、触覚刺激を用いた手法では振動モータ⁽⁵⁾や触覚ディスプレイ⁽⁶⁾による提示が挙げられる。振動モータでは変化させられるパラメータが振動の強度・位置・周期と少なく、複数の振動位置の同時提示は知覚が難しい。また、触覚ディスプレイの場合、環境情報の提示精度はピンアレイの数に依存するため、多くの情報を提示するにはアレイの数を多くする必要がある。そのため、デバイス自体が大きくなり、持ち運びが困難になると考えられる。続いて、聴覚刺激を用いた手法では音声による提示⁽⁷⁾や音の大きさ⁽³⁾⁽⁴⁾、音の高さが挙げられる。音声では提示された数値などの言語情報から距離感や壁面の形状などを知覚することは難しく、音の大き

さでは絶対的な量や増減の知覚が難しい。他に位相差や音圧などが考えられるが、これらに比べ音高の増減の知覚は比較的容易であるため、これを利用することが適していると考えた。

これらのことをふまえて、本研究では視覚情報を用いず聴覚情報による感覚の代替によって、使用者周辺の壁面形状の提示を行うシステムを提案する。先行研究では壁面形状を提示するため、距離に応じた二音の音高の差、方向に応じた両耳間における音量の差、壁と壁のなす角の大きさを提示する手法を提案した。実験より、使用者に壁と壁のなす角の大きさを提示することは壁面形状を認識する際に有用であること⁽⁸⁾、凸型の角度を含めた壁面形状を音の高さによって隅の凹凸を知覚できること⁽⁹⁾を示した。しかし、視覚を用いずに歩行する際、頭の中で思い描く進行方向と実際に歩行者が進む方向が必ずしも一致するとは限らず、先行研究の実験では自己位置の推定や移動方向の修正ができるかどうかは確認されていない。

本稿では聴覚刺激を用いた壁面形状の提示により、初期の位置や姿勢を知覚し、移動後の自己位置や姿勢の推定や修正ができるかどうかを実験によって明らかにする。

2章では距離に応じた二音の音高の差、方向に応じた両耳間における音量の差、壁と壁のなす角の大きさを提示する手法とシステム構成について述べる。3章では提案したシステムを用いて使用者の自己位置や方向の修正ができていないかを実験によって確認する。4章には結びとして本研究のまとめと今後の展望について述べる。

2. 聴覚刺激を用いた壁面形状の提示手法

本研究では物体までの距離、距離を計測した点への方向、壁のなす角度の3種類の情報を使用者にヘッドフォンを介して提示する。次節から各情報の提示方法について説明する。詳しくは参考文献⁽⁸⁾を参照のこと。

壁までの距離と方向情報の取得、角度算出にはレーザ測域センサ(LRF) (URG-04LX-UG01, 北陽電気株式会社)を利用する。このセンサは240°の範囲で4 mまでの距離内の物体までの距離とその方位を計測できる。

2.1 距離感の提示方法

本研究では使用者から物体までの距離を音の高さで表現する。通常一つの音だけではその音の高さを正確に判断するのは困難である。そこでセンサと物体までの距離に応じて音程が変化する変動音と距離に依存せず音程が変わらない固定音を同時に鳴らし、二つの音の相対的な音程の差によって距離感の提示を行うこととした。この音程差を相対音程差と

呼び、音を距離感提示音と呼ぶ。これらの音はサイン波として生成される。

設定された距離内に物体が存在すれば距離に応じた音高で変動音が鳴り、使用者と物体間の距離が短くなればなるほどその周波数は高くなっていく。変動音が鳴らなければ、範囲内に物体が存在しないことを示す。変動音の周波数は440~880 Hzの間で設定し、固定音の周波数は880 Hzと設定した。変動音の周波数は次式で求める。

$$f = -\left(440 \times \frac{d}{d_{max}}\right) + 880 \quad (1)$$

ここで、 f [Hz]は変動音の周波数、 d_{max} [m]は閾値となるユークリッド距離、 d [m]は使用者と物体間のユークリッド距離を示す。

2.2 距離感方向の選択手法

使用者周辺の壁面形状を提示する際、物体までの距離取得方向を選定する必要がある。距離取得方向の選択手法として次の二つがある。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(パッシブセクション)と、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(アクティブセクション)である。

2.2.1 パッシブセクション

パッシブセクションでは使用者前方180°の範囲であらかじめ決められた方向の物体までの距離を測定し、一定の時間間隔(1s)で反時計回りに距離感提示音を提示する。その方向をFig. 1に示す。測定された方向は両耳の音量差(パンニング)によって表現する。たとえば、使用者の右手方向に物体がある場合は右耳から変動音が鳴る。また、固定音は常に同じ音量で鳴る。ただし、先行研究の実験結果⁽⁹⁾から提示音が一周する始めと終わりを提示することの必要性がわかったため、0°と180°方向の固定音のみ変動音と同じ音量差で出力される。提示方向は現在、13方向としている。これは任意の方向に音を提示して方向の識別精度を評価する実験を通し決定したものである⁽¹⁰⁾。

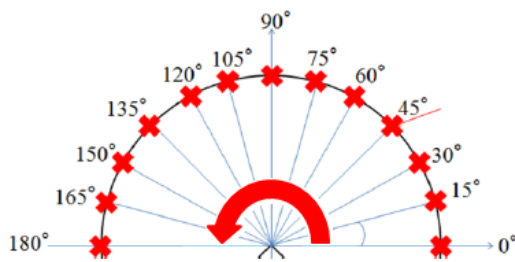


Fig. 1 Direction to sound generation points

2.2.2 アクティブセクション

アクティブセクションではLRFの135°の方向を使用者の正面と考え、使用者はセンサを自在に動かし、探索したい方向の距離を知ることができる。両耳の間で音量の変化はなく、常に同じ音量で提示される。

2.3 壁面間の角度の提示方法

先行研究における実験を通じて、距離と方向情報のみでは壁面形状を提示することは難しいことがわかった。そのため、

壁と壁のなす角の大きさを使用者に提示することを考えた。これは使用者の位置や姿勢に依存しないため、空間の構造を示す有用な情報の一つと考えられるためである。角度情報を示す音を角度提示音と呼ぶこととし、距離感提示音と差別化するためパルス音で表現する。角度提示音では、壁と壁のなす角の大きさをパルス音の回数、距離を相対音程差、方向をパンニングで表現する。角度提示音は距離感提示音の間に提示される。そのタイミングの例をFig. 2に示す。

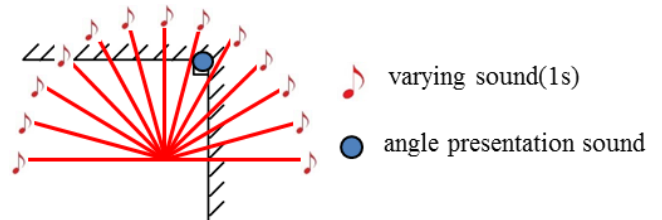


Fig. 2 Example of timing of angle presentation sound

2.4 システム構成

Fig. 3は、本システムの構成を示す。距離/角度測定部、音響制御部、音響出力部の三つから成る。

まず、距離/角度測定部では、LRFによって距離と距離を測定した方位のデータを取得する。その後、取得したデータからパッシブセクションにおける13方向に対応した距離と方向情報を抽出する。また範囲内に壁の凹凸を検出した場合、そのなす角の大きさと凹凸の位置の算出を行う。次の音響制御部では算出された距離・方向・角度情報を基に変動音の周波数、両耳間の音量差、パルス音の回数が決定される。音響出力部では空間情報を示す音がヘッドフォンを介し出力される。

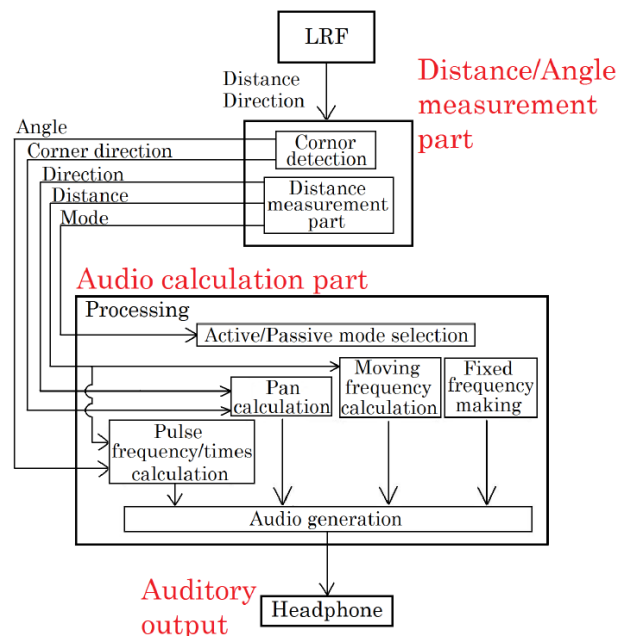


Fig. 3 Sound generation system

3. 自己位置・勢知覚実験

提案したシステムを用いて使用者の自己位置や方向の修正ができていないかを実験によって確認、評価を行う。

3.1 実験条件

被験者は20~25歳までの晴眼者8人で実験を行い、Fig. 4のような壁環境を二種類と各壁環境に位置、姿勢が変化する二種類を用意した。Fig. 4において初期の位置と姿勢を濃い色、変化後の位置と姿勢を薄い色で表す。

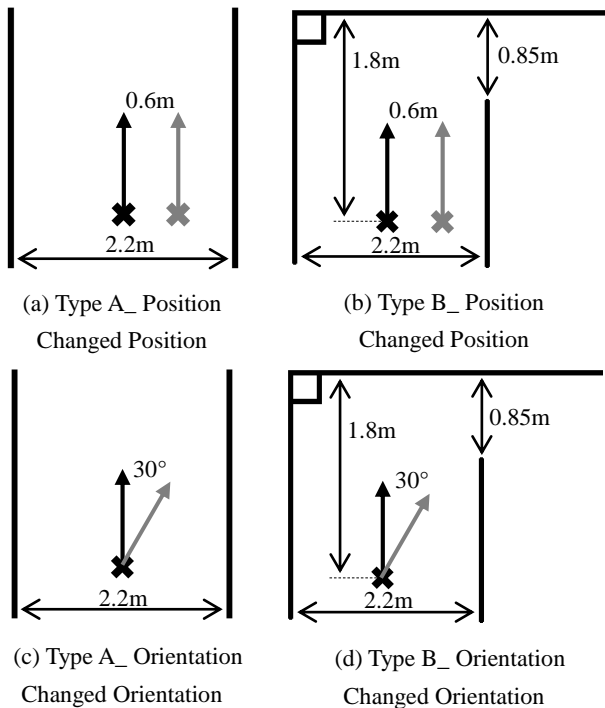


Fig. 4 Wall arrangement in experiments

実験では、一点の情報ではなく複数の点からできる面の情報によって壁面形状を認識できているかを確認するため、パッシュセレクションのみを使用する。また、提示音は変動音が間断なく鳴る「連続」、変動音と変動音の間で音の鳴らないインターバルのある「不連続」の二つの提示タイプを用いる。

3.2 実験手順

各情報の提示手法について説明後、アイマスクを着けずに二種類の提示音全てで実験者が指定した位置、姿勢で提示音を聞いた後、被験者は自由に姿勢を変えながら満足するまで練習を行う。その後本実験となり、まず初期の位置でアイマスクを着け提示された壁面形状の認識を提示音によって行う。壁面形状を知覚できたらアイマスクをしたまま被験者の位置や向きを変え、変化した位置で壁面形状を知覚する。このとき、どのように変化したかはわからないようにする。

その後、被験者は提示音を聞きながら移動し、初期の位置に戻る。実験中、被験者はキャスター付きの椅子に座り、LRFは被験者のもの上に動かないように固定される。また、被験者の移動軌跡と姿勢を測定するため超音波三次元位置計測システム(ZPS, 古河機械金属株式会社)を使用する。そして、被験者は認識できたと判断したらアイマスクをはずし、解答用紙に認識した形状と初期と変化後の自己位置と姿勢を描き入れる。

3.3 評価方法

本実験では被験者が解答用紙に描いた変化後の自己位置、姿勢と対応する正解の位置への移動方向、姿勢の角度誤差に

応じた点数をつけ、各壁環境における最大点数との割合によって変化後の自己位置推定の正答率を算出する。また、初期位置に戻ったときの位置、姿勢の差を端までの距離(1.1m)、被験者の正面方向(90°)との割合によって自己位置・姿勢を修正する際の誤差として算出する。Type Aは長い廊下を模した形状であるため縦方向への移動変化は考慮しない。そして、被験者が描き入れた壁面形状や描き終えるまでの時間について評価する。また、描き入れた壁までの距離や壁の長さは評価には入れない。実際に使用した練習用の壁を用いて、点数の計算例をFig. 5に示す。

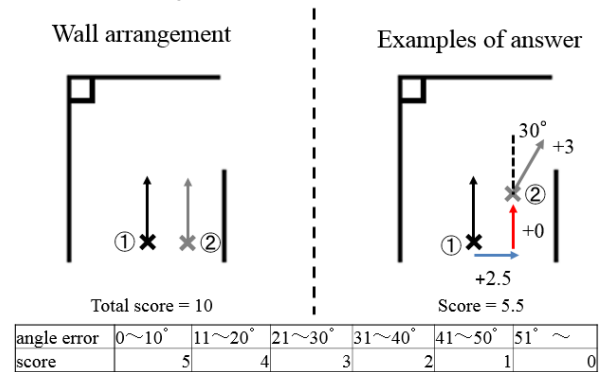


Fig. 5 Example of score calculation

3.4 実験結果と考察

Fig. 4に示した実験環境において被験者が提示音に基づき描き入れた壁面形状と自己位置の解答例をFig. 6に示す。また、Table 1に被験者が知覚し終えるまでの平均時間(描画時間は含まない)とその標準偏差を示す。Table 2に各実験環境における正答率と自己位置・姿勢の誤差を示す。また、被験者が提示音を聞くため止まっていた停留回数はType Aは約8回、Type Bでは約15回であった。連続と不連続の提示音では差は見られなかったため、これらはまとめて表記する。Defaultは変化前、Changedは変化後を示す。

実験結果から約3分程度の練習を行い、実験環境によらず被験者は90%以上の正答率で壁面の形状を知覚可能であることが確認された。そして、提示音をもとに被験者が壁面形状を知覚し、解答用紙に形状や自己位置を描いたことから、被験者は視覚を使わずメンタルマップを構築しおおよその自己位置を推定できたといえる。また、空間の約15%以下の誤差の範囲で初期の位置・姿勢に戻ることができたことから、自己位置や方向の修正は可能であることがわかった。

Table 1 Average time to complete each task

	Average tasking time [s]			
	Default		Changed	
	AVE	SD	AVE	SD
Type A_ Position (Changed Position)	120.1	51.9	409.5	169.9
Type A_ Orientation (Changed Orientation)			327.8	256.9
Type B_ Position (Changed Position)	130.9	71.2	870.0	633.8
Type B_ Orientation (Changed Orientation)			703.8	448.4

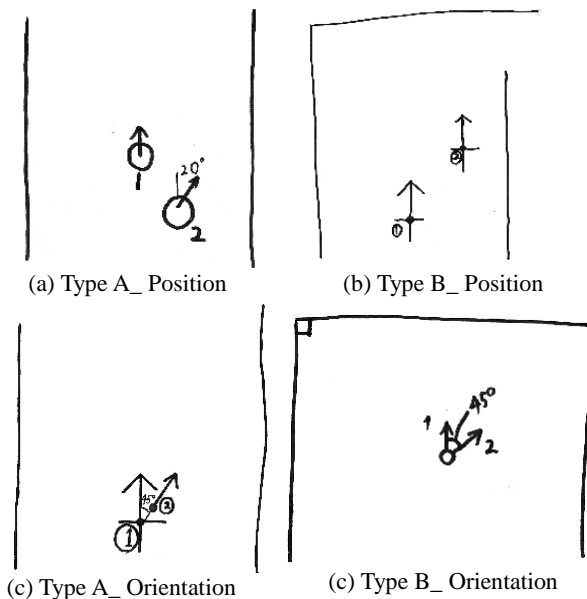


Fig. 6 Wall arrangement in experiments

Table 2 Result of Self-Localization

	Percentage of correct answer [%]	Error	
		Position [%]	Orientation [%]
Type A_ Position (Changed Position)	76.7	15.4	12.8
Type A_ Orientation (Changed Orientation)	65.0	7.4	6.5
Type B_ Position (Changed Position)	60.0	17.2	7.7
Type B_ Orientation (Changed Orientation)	65.0	15.1	11.8

被験者の解答結果を見ると、環境によらず位置が変化した場合、位置だけではなく姿勢も変化したと Fig. 6(a)のように誤解答する傾向があった。初期の位置では 60°, 75°, 90°, 105°, 130° の方向において範囲 d_{max} 以内に壁は存在しないが、位置が横に変化したことで 60°, 75° 方向の d_{max} 以内に壁が現れ提示音が出力される。これにより、自己位置が変化しただけではなく姿勢も変化したと誤って知覚してしまったことが正答率の低下につながったと考えられる。

また、Type B での停留回数と知覚時間が Type A の約 2 倍という結果となった。これは単純に壁面形状が Type A より若干複雑であること、Type B の目印となる角度提示音を探すため、試行回数が多くなったことが要因として考えられる。しかし、Type A と Type B での知覚時間と停留回数がほとんど変わらないというケースも見られた。そのため、提示音とイメージの紐付け、つまりメンタルマップの構築スピード(個人差)も関係していると考えられる。これらの自己位置、姿勢の誤知覚や知覚時間は本システムの特徴を理解し慣れることで改善、向上していくものと考えられる。

そして、約 20 分以上かけて初期位置に戻ることができた

被験者が複数人いた。初期位置に戻るのに約 20 分以上かかることは、実際に歩行することを考えるとスムーズに修正できたとは言えない。しかし、その被験者らは誤差 15% 未満の範囲で初期位置に戻ることができていた。これは初期の位置と姿勢を提示音によってメンタルマップを構築し、その情報を長い時間記憶することができていると考えられる。

4. 終わりに

本稿では、先行研究で提案した壁面の提示手法を用いて、移動後の自己位置や姿勢の推定や修正ができるか実験を行い、その結果から自己位置や方向の修正は可能であることを明らかにした。

実験結果から使用者は長い時間元の自己位置を壁面形状とともに記憶できていること、その記憶を基にどのように移動したかを推測できることがわかった。今後は、本システムを持ち運び可能にし、移動しながら認識したメンタルマップを繋ぎ合わせることでより広いメンタルマップを構築できるかを検証する。

参考文献

- (1) Thanh H. N., Thi H. N., Thi L. L., Thi T. H. T., Vuillerme N., Tan P. V., A Wireless Assistive Device for Visually-impaired Persons using Tongue Electrotactile System, *Advanced Technologies for Communications (ATC)*, (2013) pp.586–591.
- (2) Marcel V. and Christoph B., Sensing Senses: Tactile Feedback for the Prevention of Decubitus Ulcers, *Appl Psychophysiol Biofeedback*, DOI 10.1007/s10484-009-9124-z, (2010) pp.243–250.
- (3) Makoto K., Michio O., Walking guide system for the visually impaired by using three-dimensional sound, *Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics 1999; Volume 1 (1999)* pp.126–130.
- (4) Hiromu K., Mihoko N., Hideki H., B. H. Lee, A user interface of spatial memory using acoustic information in intelligent space, *Int. Symp. on Intelligent Systems 2010*, (2010) S5-7-2.
- (5) Mihoko N., Terumichi O., Masahiro Y., Hideki H., Interaction between a user and a smart electric wheelchair in intelligent space, in *Proc. of the 2010 Int. Symp. on Micro-NanoMechatronics and Human Science 2010*, (2010) pp.465–470.
- (6) Vincent L., Vincent H., Tactile Graphics Rendering Using Three Laterotactile Drawing Primitives, *Haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems*, (2008) pp.429–436.
- (7) 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.
- (8) Takayuki W., Mihoko N., Mental map generation assistance tool using relative pitch difference and angular information for visually impaired people, *Cognitive Infocommunications*, (2013) pp.255-260.
- (9) 渡部 隆之, 新妻 実保子, 聴覚刺激を用いた感覚の代替による壁面形状の提示 *SICE システムインテグレーション部門講演会*, (2014) pp.128-131.
- (10) 塩崎 寛, 新妻 実保子, サイン波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, *SICE システムインテグレーション部門講演会*, (2012) pp. 581-586.