

平成21年 6月12日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300072
 研究課題名（和文） 視覚障害者のための力覚認識経路提示と屋内歩行支援シミュレータの開発
 研究課題名（英文） Study of Haptic Interface for Pathway Indication and Indoor Walk-guide Simulator for the Visually Impaired
 研究代表者
 巽 久行（TATSUMI HISAYUKI）
 筑波技術大学・保健科学部・教授
 研究者番号：30188271

研究成果の概要：視覚障害者が歩行指導を受ける場合、移動経路上のランドマーク等の情報から認知地図が創生できるまで、繰り返し歩行訓練を行う。机上で経路を学習する場合は触地図を利用するが、触地図で提示できる情報量は多くない。そこで経路学習の際に、白杖で経路の状態を検知するのと同様な効果が得られれば、認知地図の早期創生に有効であり実際の歩行に近い学習ができると考えて、触覚情報が提示可能な力覚デバイスで白杖を模擬した歩行支援シミュレータを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2007年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：視覚障害補償，力覚デバイス，認知地図，歩行支援シミュレータ，力覚地図，距離場空間モデル

1. 研究開始当初の背景

視覚障害者の歩行支援に関する分野では、音声地図や触地図の利用といった簡単なものから、国土交通省の自律移動支援プロジェクトと呼ばれる大規模なインフラ整備や専用装置を必要とするものまで、様々な研究が展開されている。視覚障害者の空間認知に関する研究は心理学や地理学で行われており、その成果は音声地図や触地図の改良となって表れている。しかしながら、重度の視覚障害者ほど歩行経路における空間情報を知り

たいにも関わらず、現状の触地図では指先の接触部分で得た局所的な触覚からの平面情報しか得ることができない。

視覚障害者に地図情報を理解させる場合、立体コピー（熱を加えると盛り上がる特殊なトナー）を利用するか、点図ディスプレイ（平面上に微細のピンを多数配置し、その凹凸や振動で表示する触覚デバイス）を用いて認識させるが、晴眼者（視覚障害のない者）が得ているような、地図から浮かぶ周辺情報は得ることができない。

2. 研究の目的

晴眼者が知らない場所に行くときは地図を見る。視覚障害者は、立体コピー等で作られた触地図に頼るが、これは位置関係を重視した概略的なものである。視覚障害者は、この触地図から得た頭の中の仮想地図（メンタルマップ）をもとに、実際の歩行を何度か通して歩行経路を確立する。地図には様々な情報が描かれており、また、実際の歩行経路にも、視覚障害者にとって重要な記憶場所（ランドマーク）が存在する。それらは、点字ブロック、縁石、段差や路面から感じる質感、などである。

我々は、指先で感じる2次元的な触覚とは別に、手に伝わる3次元的な力覚から、まるで白杖で経路を仮想移動するような感覚が得られることで、歩行前のより具体的なメンタルマップを構築する手立てになると考えた。これが本研究が目指す、力覚提示デバイスを用いた経路情報獲得手段であり、力覚地図と呼んでいる新たな経路情報表現である。この力覚地図と、既存の音声地図や触地図の長所とを合わせて、計算機上の仮想経路移動と実際の経路歩行を結びつけて学習を行うシステムが、我々が研究目的とする視覚障害者のための歩行支援シミュレータである。

3. 研究の方法

(1) 2006年度

視覚障害者に対して、物体形状認識が容易な触覚センシングシステムを開発することが、本研究の中心課題である。そのためには、計算機内で任意の3次元グラフィックスが生成できること、および、力覚提示デバイスと組み合わせて動作させること、の2点を行う必要がある。

2006年度はまず、計算機内に歩行レイアウトを構築し、力覚デバイスで認識できる3次元グラフィックスの簡易力覚地図を生成させた。この力覚地図上では、力覚デバイスのスタイラスを擬似白杖として、室内の様子を確認しながら擬似歩行を可能とした。すなわち、被験者は床面の反応を感じながら移動し、壁や家具の触覚面を認識できる。

作成した室内歩行支援プログラムのプロトタイプは以下の通りである。最初に、テキストファイルで記述された歩行レイアウトが、力覚デバイスが認識できる3次元グラフィックスに自動変換される。次に、この力覚を感じるレイアウト（力覚地図）を使って、力覚デバイスのスタイラスから、床面や壁・家具の触面反力や材質等の静的・動的摩擦を力覚で感じることで、その存在が認識できる。この結果、視覚障害者が力覚地図上のランドマークを探す過程で、歩行空間の認知地図の創生が自然に身につくことが確認できた。

使用した力覚提示デバイスは、被験者の実

験用として動作範囲が手首を軸とした片手まわりのものと、力覚地図の作成用として動作範囲がひじを軸とした前腕まわりの精度の高いものとの、2種類を用意して、歩行支援シミュレータの基本設計を行った。

(2) 2007年度

2006年度は力覚デバイスを用いた室内歩行支援プログラムのプロトタイプを作成したので、2007年度は力覚提示能力の向上を目的とし、より空間形状や質感を感じる経路提示システムとして発展させることを課題とした。また、シミュレータの力覚提示能力を高めるために、眼球運動計測装置（視界画像上に視点が表示できる機器）を用いて、強度弱視者が実際の経路歩行を行った際の、ランドマークの探し方とシミュレータ上の記録とを対比しながら、実際に歩行の上達が成されているかを確認することを目指した。

研究方法は以下の通りである。歩行支援シミュレータの提示能力を高めて、空間形状も説明できる経路システムとして発展させるために、著者等が研究してきた空間の認識と理解のための“距離場空間モデル”を採用した。これにより、力覚地図上の空間状態（物があるとか、自由空間が広いなど）を被験者に音声で提示することができた。また、距離場空間モデルを用いたことで、安全に移動できる経路を自動生成することや、経路状況をいろいろと提示する歩行学習の自動化が可能となった。また、シミュレータの提示能力を検証するために眼球運動計測装置を用いた歩行実験を行い、実際のランドマークの探し方とシミュレータ上の学習とを比較検討した。

(3) 2008年度

2007年度に引き続き、2008年度も歩行支援シミュレータの提示能力を高めて、空間形状も説明できる経路システムとして発展させた。特に、認知地図の創生を効果的に支援する機能拡張に重点を置いた。本研究の歩行支援シミュレータは実際の歩行に近い疑似感覚を養う学習を繰り返し行えることにあり、視覚障害者が行う歩行空間の認知地図の創生が力覚地図上のランドマークを探すという過程で自然に身につくと期待できる。

研究方法は以下の通りである。質感を豊富に用意して多様な力覚情報が受けられるように、ランドマーク探索のシミュレーション実験を繰り返しながらシステムを改良した。距離場空間モデルを導入したことで、安全に移動できる経路を自動生成することや、様々な経路状況を提示する歩行学習の自動化が可能となったので、主に距離場空間モデルによる提示機能の強化を行った。

3年間に亘った本研究課題は、プログラム

の改良とシミュレーション実験を交互に行いながら進めたが、研究代表者は主に研究の統括・実験環境の整備・シミュレーション実験を行い、研究分担者である村井（2008年度から連携研究者）は力覚認識や経路提示等のプログラム作成を、宮川は手法の妥当性や検証を、関田は実際の歩行指導に基づく評価や考察を、それぞれ担当した。

4. 研究成果

(1) 歩行支援シミュレータ

図1に歩行支援シミュレータの外観を示す。システムは、力覚デバイス(Phantom Omni, 米国 SensAble Technologies 社製)、パソコン、制御ソフト、経路レイアウトモデルで構成される。力覚デバイスのスタイラスが白杖代わりの被験者インタフェイスとなる。経路レイアウトには経路上のランドマーク等の情報が含まれており、音声により提示する。

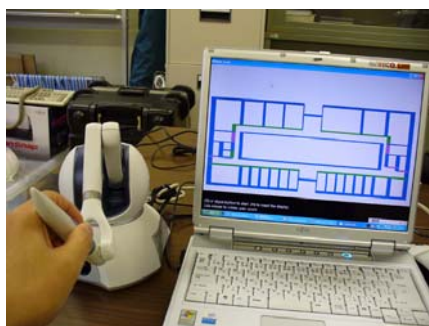


図1. 歩行支援シミュレータ

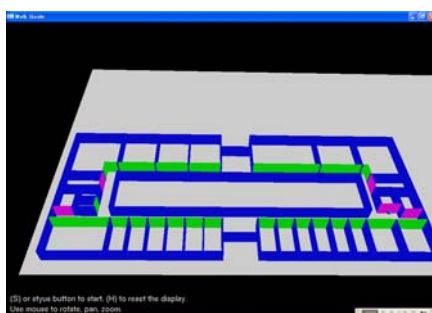


図2. 経路レイアウトモデルの例

図2は、OpenGLで生成された経路レイアウトモデルである。ディスプレイへの表示は弱視者用であり、表示がなくても操作可能である。生成された経路レイアウトモデルは、APIを通じて力覚デバイスに渡される。経路レイアウト及びランドマーク等の情報はテキストファイルで作成する。被験者は、スタイラスを床の方向（利用者の正面、ディスプレイの方向）に押しつけることで床からの反力を頼りに、生成された経路レイアウト上の床や壁に沿って移動できる（壁や物の境界では抵抗があり、境界を越えた移動はできない）。反力は、堅さ・弾力性・摩擦などを設定する

ことが可能であり、壁や机などの物に応じて実際の質感に近い反力を返すことができる。また、危険な場所も反力を返すことで知らせることも可能である。

(2) 距離場空間モデルによる状況把握

距離場空間モデルは、母空間の部分空間として与えられる物体が、母空間上で点と物体との距離に係わる場を形成するという前提のもとに、物体自身の形状、物体と母空間、または、物体と物体との位置関係を、逆に距離場を用いて記述ないし操作を行うことを可能とする空間表現のモデルである。本課題では、歩行学習を行うレイアウトの状態を、移動や行動が可能な空の空間と、家具や壁などの物があって移動や行動が不可能な空間とを、距離場空間モデルでモデル化し、その状態を音声で視覚障害者に提示する。また、レイアウト内の安全な移動経路を探索・提示し、歩行学習を支援する方法を提案する。

例として、レイアウトの状況を把握するために、任意の間隔で距離場を求める点を設定し、すべての点についての距離場を求めて、空間の状況を表すことにする。具体例として、レイアウトを400×400（単位：ピクセル）、距離場を求める点は縦横25間隔で、15×15の255点を設定したとする。図3は、空間の状況変化を示すために、半径50の円がレイアウトの右上から左下に移動した際の、距離場を用いて空間の状況変化を表示したものである。図3において、左図は距離場のグラフで、縦軸は円との距離、横軸はx-y座標である。縦軸が0以上は円（オブジェクト）で、0未満は空の空間を示す。グラフの面が低い部分は空の空間が広いことを示しており、安全に移動や行動が可能な場所である。逆に、グラフ面が高い部分は円に近い部分であり、空の空間が狭いことを示している。右図は、円の位置を表しており、図内の濃淡で距離場空間の様子分かる。

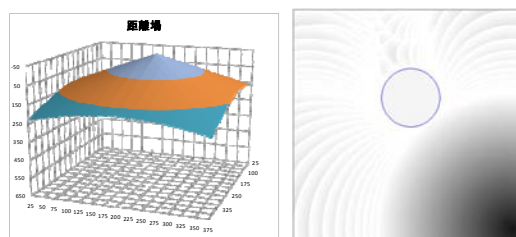
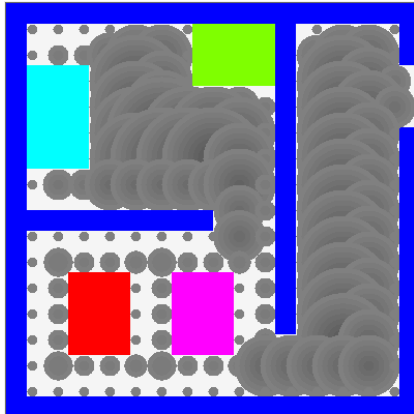


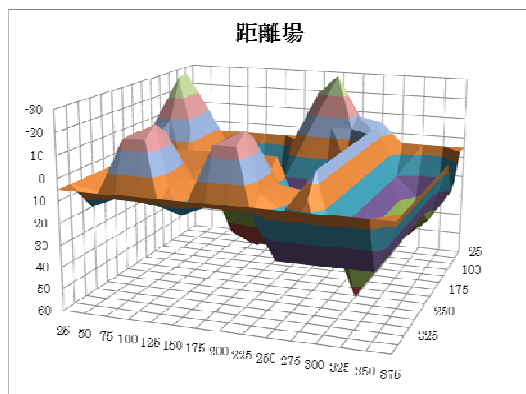
図3. レイアウトの状況変化

図4は、実際の学習用の部屋を距離場で測定した例である。図4の(a)はレイアウト内の距離場円、図4の(b)は対応する距離場グラフである。この距離場グラフの山の部分から、部屋には6つの大きな物があることが判る（但し、左側中央の壁は、図4の(b)では

グラフの影になっており、この角度では分かり辛い)。その中で壁を除くと、2つは部屋の左下に、1つは上中央に、1つは左上にあることが分かる。被験者は距離場の情報を音声で聞いてレイアウトの状況を把握する(さらに点図ディスプレイ上に表示して、触れることで状況を把握することもできる)。



(a) レイアウト内の距離場円



(b) 対応する距離場グラフ

図4. 距離場で測定した例

求めた距離場の結果から、経路探索アルゴリズムを用いて安全に目的地まで移動する経路を導くこと、および、歩行経路の記録・再生の機能を用いて、仮想移動による歩行学習を繰り返すことも可能である。

(3) シミュレータの利用

本システムを効果的に利用するため、特に視覚障害者は、力覚デバイスの操作感覚に慣れる必要がある。力覚デバイスのスタイラスでパソコン上に生成された3次元モデルに触れるには、慣れが必要である。最初は、球のような表面をなぞるだけでも難しく、立体のように角のあるものはさらに難しい。そのため、ある程度の練習が必要であるが、付属のデモプログラムを用いることで、容易に感覚を慣らすことができる。

歩行学習をサポートできる補助者がいる

場合、補助者がパソコンのキーボードで被験者を先導することができる。補助者が進行方向の矢印キーを押すと、その方向に被験者のスタイラスが移動する。被験者は移動した場所でスタイラスを動かして、周囲の経路情報を確認すれば状況理解が速い。2台の力覚デバイスをパソコンに接続した場合、補助者も力覚デバイスを使用して被験者を先導することができる。この場合、補助者は視覚で得られるレイアウトに基づいて力覚デバイスを操作できるので、力覚デバイスに不慣れな被験者でも効果的に学習が行える。図5は、2台の力覚デバイスを接続した例である。



図5. 2台の力覚デバイスによる利用

被験者の歩行学習結果はファイルに記録することができ、記録した歩行結果は再生して、復習や検討に使用できる。また、歩行経路ファイルは、補助者があらかじめ作成することや、距離場空間モデルに基づいて探索された経路を用いることもできる(それを被験者が再生して、歩行経路をトレースする学習も可能である)。図6は、被験者の歩行学習結果の一例である。

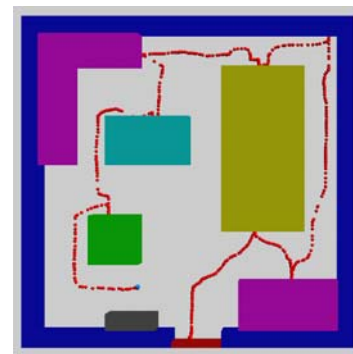


図6. 歩行学習の一例

力覚デバイスのみによる経路提示では、経路全体を見下ろして提示することができない。そこで歩行学習の際に、システムに点図ディスプレイを併用し、経路の全体像を提示することも行っている。図7は、歩行レイアウトを32×48ピン(合計1,536ドット)の点図ディスプレイ上に表示したもので、点図ディスプレイの操作ボタンにより、簡単に拡大・縮小、スクロールができるので、被験者は容易に歩行レイアウト全体を把握できる。

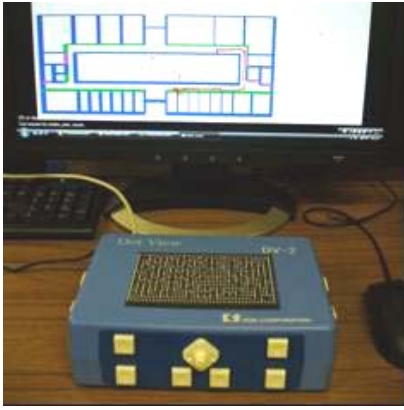


図7. 点図ディスプレイの併用

(4) 検討

通常の触地図と力覚地図（開発したシミュレータで使用する力覚歩行支援地図）との比較を行う。触地図の利点は以下の通りである。

- ・視覚障害者支援機器が備わっている所では、触地図の作成は力覚地図の作成より簡単である。

- ・触地図は携帯可能であり、利用者は現場に持参して使用できる。

- ・触地図は全部の指を使って迅速に全体配置の認識ができる（力覚地図はスタイラスで逐次、なぞらなければならない）。

しかし、我々のシミュレータには以下のような利点がある。

- ・シミュレータには有用な多くのプログラムを作成・実行することができる。例えば、利用者に自動案内をする、すなわち、あらかじめ決められたランドマークの案内を自動的に行うことができる。

- ・力覚の利用は視覚障害者にとり、聴覚・触覚等に次いで残された情報チャンネルの一つであり、歩行訓練を仮想現実（バーチャルリアリティ）の世界で行うことを可能とする。

力覚デバイスは視覚障害者にとって、ある状況下では音声や点図と同等以上の情報提示能力があるが、利用するには力覚デバイスの操作に慣れなければならない。以下は、本研究に残された課題である。

- ・有効性を定量的に評価する手法の確立。
- ・実際の環境を忠実に反映した詳細で大きい歩行レイアウトモデル。
- ・認知性を向上するための力覚デバイスのパラメータ調整（硬さ、弾力、摩擦など）。
- ・距離場空間を用いた経路探索の高精度化（ランドマークの考察や安全への配慮）。
- ・レイアウトモデル作成の簡略化と自動化。

(5) まとめ

本研究は、触地図よりも触覚的情報が高く、かつ、音声対応可能な地図を作成し、その上で力覚による触知を用いて重度の視覚障害者が認知地図を創生することを支援しよう

とするものである。視覚障害者のための簡単な形状認識支援である本研究課題は、大規模なインフラ整備や専用装置を必要としない空間的な力覚経路提示に利用できる。これは、音声地図や触地図に加えて、力覚地図と呼ぶべき第3の地図が作成できることであり、視覚障害者への歩行支援シミュレータとして展開できる。駅や大学など決まった施設の経路はほとんど変化しないので、手間を掛けてシミュレータを作成する価値は認められる。また、力覚地図の考えは、教育上あるいは生活上での各種作業トレーニングにも有効である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計9件）

- ① Hisayuki Tatsumi, Yasuyuki Murai, Tomoyuki Araki, Masahiro Miyakawa: RFID Localization for the Visually Impaired, WAC Proc. 6th Int. Forum on Multimedia and Image Processing, No.340, pp.1-6, 2008, 査読有。
- ② Hisayuki Tatsumi, Yasuyuki Murai, Iwao Sekita, Masahiro Miyakawa: Public Signs Sight Assessment for Low Vision through Eye Tracking, Springer, LNCS 5105, pp.138-141, 2008, 査読有。
- ③ 村井保之, 巽久行, 宮川正弘: 力覚歩行支援シミュレータによる認知地図の創生, 電子情報通信学会技術研究報告・教育工学 2007-83, 信学技報, Vol.107, No.462, pp.81-86, 2008, 査読無。
- ④ Yasuyuki Murai, Suguru Asaoka, Hiroyuki Tsuji, Hisayuki Tatsumi, Shinji Tokumasu: Distance Field Model Concept for Space Representation, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.11, No.10, pp.1241-1249, 2007, 査読有。
- ⑤ Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Masahiro Miyakawa: A Haptic Walk Guide Simulator for the Visually Impaired, -- A Prototype --, IEEE Proc. 2007 Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, pp.3731-3736, 2007, 査読有。
- ⑥ 巽久行, 宮川正弘, 村井保之: 力覚を利用した歩行支援シミュレータ(その2), 筑波技術大学テクレポ, Vol.14, pp.189-193, 2007, 査読無。
- ⑦ Iwao Sekita, 他(11名): "Instructional Software for Sighted Guides of Visually Impaired Travelers, Proc. 12th Int. Mobility Conf., No.C18-1, pp.1-8, 2006, 査読有。
- ⑧ Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi,

Masahiro Miyakawa, Shinji Tokumasu: An Indoor-Walk-Guide Simulator using a Haptic Interface, WAC Proc. 5th Int. Forum on Multimedia and Image Processing, No.172, pp.1-6, 2006, 査読有.

- ⑨ Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Nobuyuki Nagai, Masahiro Miyakawa: A Haptic Interface for an Indoor-Walk-Guide Simulator, Springer, LNCS 4061, pp.1287-1293, 2006, 査読有.

〔学会発表〕(計5件)

- ① 巽久行: 弱視の視線追跡による公共サインの視認調査, 第7回情報科学技術フォーラム(FIT2008), 2008年9月4日, 慶応義塾大学・湘南藤沢キャンパス.
- ② 村井保之: 距離場を用いた力覚歩行支援シミュレータ, 第7回情報科学技術フォーラム(FIT2008), 2008年9月4日, 慶応義塾大学・湘南藤沢キャンパス.
- ③ 村井保之: 距離場空間を用いた腕のクロックポジション誘導, 電子情報通信学会第2種研究会・第21回多値論理とその応用(MVL-08), 2008年1月13日, 兵庫県立大学大学院・応用情報科学研究科.
- ④ 村井保之: 力覚による認知地図創生の支援, -- 視覚障害の歩行支援シミュレータ(HAWG) --, 第6回情報科学技術フォーラム(FIT2007), 2007年9月7日, 中京大学・豊田キャンパス.
- ⑤ 村井保之: 視覚障害のための力覚デバイスによる歩行支援シミュレータ, 第5回情報科学技術フォーラム(FIT2006), 2006年9月7日, 福岡大学・七隈キャンパス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巽 久行 (TATSUMI HISAYUKI)
筑波技術大学・保健科学部・教授
研究者番号: 30188271

(2) 研究分担者

宮川 正弘 (MIYAKAWA MASAHIRO)
筑波技術大学・名誉教授
研究者番号: 70248748
関田 巖 (SEKITA IWAO)
筑波技術大学・保健科学部・教授
研究者番号: 40357322

(3) 連携研究者

村井 保之 (MURAI YASUYUKI)
日本薬科大学・薬学部・講師
研究者番号: 30373054