

形状および空間を認識するための力覚インターフェースの利用（その1） --- 力覚地図を利用した歩行支援シミュレータ ---

筑波技術大学保健科学部情報システム学科¹⁾ 神奈川工科大学情報学部情報工学科²⁾

巽 久行¹⁾、宮川正弘¹⁾、村井保之²⁾

要旨：計算機上に任意の3次元形状グラフィックスが生成できるプログラムと力覚提示デバイスを組み合わせて、現在、視覚障害者に形状理解が容易な触覚センシングシステムを開発している。この形状理解システムの第一報として、力覚認識による経路提示システムを作成したので報告する。一般に、視覚障害者は触地図を利用するが、指先が感じる2次元的な触覚よりも手全体に伝わる3次元的な力覚の方が、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はずであり、このような、空間形状も同時に認識できる経路提示システムを構築することが本研究の目的である。

キーワード：触覚インターフェース、力覚地図、視覚障害、歩行支援シミュレータ

1. はじめに

全盲や強度の弱視者である視覚障害者に、物や空間の形状を伝えたい、晴眼者が視覚で理解できる形状を、触覚や聴覚で何とか伝えてあげたい、というのが本研究の目標である。

視覚障害者は触覚で形状を認識する。理由は、指先の皮膚感が2次元的な広がりをもっているため、物体形状を把握するのに適しているからである。但し、対象が実在して触れられることが条件であり、また、指先の接触部分が狭いため一度に局所的な情報しか得ることができないという制限がある。我々は現在、任意の仮想物体や空間形状を計算機内に生成して、市販の力覚提示デバイスで形状を伝達する、視覚障害者向けの触覚認識システムを構築している。その触覚インターフェースの一例として、力覚認識による経路提示システムを作成し、これを利用した歩行支援シミュレータを開発中であるので、本報告はこれについて述べている。

筑波技術大学保健科学部では、新入生が一人で校内を移動するための訓練として、先輩や教員と一緒に触地図を触りながら校内を移動して、校内の配置や階段などを確認するオリエンテーションを、入学後に実施している。しかし、介助者が必要なために訓練を何度も受けることが難しく、少ない機会での校内の配置等を記憶する必要がある。

近年、高齢者や障害者の生活を支援する研究が数多く行われており、国土交通省の自律移動支援プロジェクトは、その代表的なものである[1]。特に、視覚障害者の歩行支援では、音声地図や触地図といった簡単なものから、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、様々な支援が研究されている。これまで、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、地理情報システム(GIS)を利用した音声地図や触地図の成果となって表れてきた[2]。しかしながら、重度の視覚障害者ほど触覚的情報が必要であるにも関わらず、現在の触地図に十分な触覚的情報が入っているとは言い難い。このため、歩行訓練用として、計算機上の簡易触地図と音声を組み合わせて行うシミュレータ等が研究されているが[3]、キーボードと音声を使ったシステムでは、白杖を用いたような歩行感覚の疑似体験は無理である。

一般に、指先が感じる2次元的な触覚よりも手全体に伝わる3次元的な力覚の方が、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はずである。そこで我々は、力覚提示デバイスを利用した力覚地図を提案する。この地図により、段差や路面の状態、点字ブロックや路上に潜むランドマークの発見等、あたかも白杖に伝わる感覚が前もって疑似体験できるので、視覚障害者の歩行訓練トレーニングには最適である。このような、空間形状も同時に認識できる経路提示システムを構築することが本研究の目的であり、仮想経路移動と実際の経路歩行を結びつけて訓練を行う、視覚障害者のための歩行支援シミュレータへの展開が可能となる。

2. 触覚インターフェース

図1に、本研究で使用する触覚インターフェースである、米国 SensAble Technologies 社の力覚提示デバイス PHANTOM Omni を示す。これはPC内に作成した3次元モデルを、あたかも手などで触っているような感覚で扱うことができる。PCとの接続はIEEE-1394 インターフェース経由で、Omni 専用のデバイスドライバをインストールする。また、無料のSDK (Software Developer's

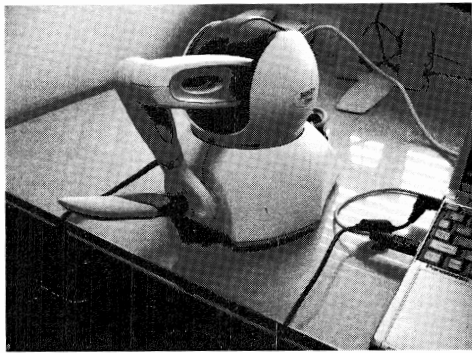


図1 力覚提示デバイス (Omni)

Kit) も提供されており、オリジナルソフトウェアの開発も可能である。大きさは、台座サイズ 168mm×203mm で、動作範囲が手首を軸とした片手まわりの力覚ワークスペースで 160mm(W)×120mm(H)×70mm(D)、位置座標分解能 450dpi (0.055mm)、摩擦抵抗 0.26N、最大提示反力 3.3N、力覚自由度は 3 (x, y, z)、入力自由度は 3 自由度 (x, y, z) とポインタ回転 (yaw, roll, pitch) の 3 自由度の、計 6 自由度である。

Omni の操作は、台座からのびたアームの先に付いているスタイラス (ペン状の部分で、握り部分にマウスの左右ボタンに対応するボタンが 2 つある) を空中で動かすことにより、ペンの 3 次元動作がコンピュータ内に作成された図形モデルに入力され、その位置関係から、図形モデルに触れることや図形モデルを移動することができる。また、図形モデルに対する操作やモデルの材質に応じて、反力や重さが返ってくるので、実際の物を操作している感覚を得ることができる[4,5]。

3. 室内案内シミュレータ

試作したシミュレータは、PC 内に室内の机等の配置をモデル化して、利用者は力覚提示デバイスから伝わる触覚により、あたかも実際のモノに触れている感覚で、室内のモノの配置を認識することや室内を移動することなどの疑似体験ができるので、実際の歩行訓練に先立って、様々な確認を繰り返し行うことが可能となる。室内レイアウトモデルは、OpenGL と呼ばれる 3 次元グラフィックスのためのプログラムインターフェースを用いて作成する。

利用者は、部屋の入り口からスタートし、力覚提示デバイスからの触覚フィードバックを頼りに、室内の状況を認識しながら移動する。PC の画面には室内レイアウトモデルの画像が表示されるが、これはシステム開発者や弱視者のためのものであり、表示が無くとも利用可能

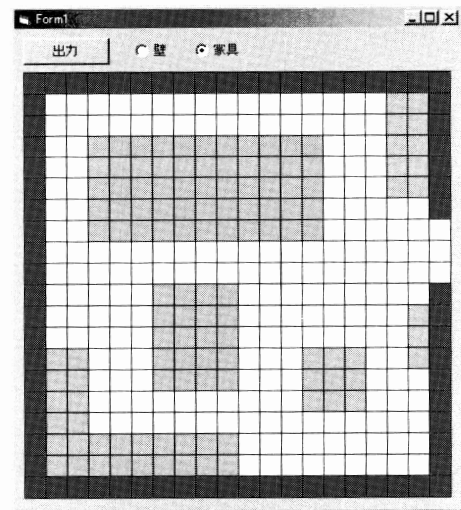


図2 室内レイアウト用データ作成画面

で、全盲者でも容易に操作できる。特にこのシミュレータは、PC 内に作成された室内レイアウトモデルを力覚提示デバイスで、あたかも白杖を使って室内の様子を確認しながら擬似歩行するように設計されており、触図や音声地図よりも実際の歩行に近い訓練を、繰り返し安全に行えることを目指している。

室内レイアウトは、データ作成用プログラムでデータファイルとして作成し、歩行訓練シミュレータに入力することができる。レイアウトは、訓練する部屋に応じて自由に設定が可能である。設定できるレイアウトの大きさは 20×20 の格子形状で、格子をマウスクリックすることにより、壁や家具の設定が行える。室内レイアウト用データ作成プログラムは、Microsoft 社の Visual Basic 6.0 で作成した。図 2 に、室内レイアウト用データ作成画面を示す。

この室内レイアウトデータ (著者らの研究室である、講義棟 518 室をモデルとした) は、歩行訓練シミュレータに入力され、OpenGL を用いて 3D モデルとして、コンピュータ内に構築され、図 3 のようにディスプレイに表示されると共に、Omni の API (Application Program Interface) を介して Omni が利用可能な状態になる。利用者は、Omni のスタイラスを持ち、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、床に沿って移動することができる (壁や家具の境界では抵抗があり、それ以上、境界を越えて移動はできない)。また、Omni の反力には、堅さ、弾力性、摩擦、などを設定することが可能であり、実際の物の材質に近い反力を返すこともできるが、それ以外にも、反力に応じて物の種類を示すこと (例えば、摩擦の大き

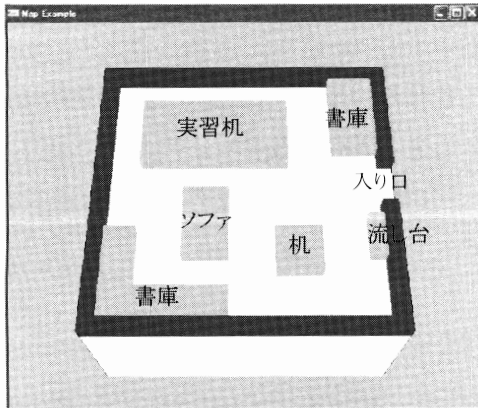


図3 生成された室内モデル

い物が自分の席、摩擦のないものは危険物を示すなど)もできるので、より効果的な訓練が可能となる。

室内案内シミュレータのプログラムは、C言語で作成し、OpenGL および Omni に関する API は、米国 SensAble Technologies 社が提供する教育機関向け無料 SDK である OpenHaptics Academic Edition (for Microsoft Windows) Ver.2.0 を用いた。C言語のコンパイラは、Microsoft 社の VisualStudio .NET2003 である。プログラムの流れは、

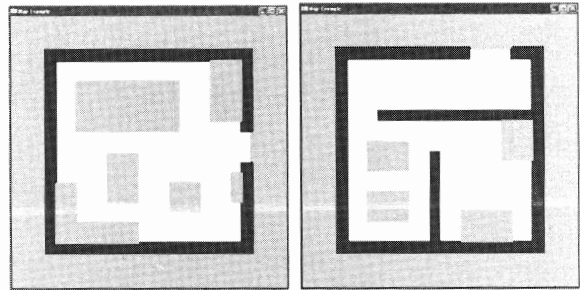
- (1) OpenGL の初期化
- (2) Omni の初期化
- (3) レイアウトモデルの表示
- (4) Omni 用モデルの生成
- (5) 操作ループ (以下、ここを繰り返す)

となり、作成したプログラムのサイズは約 500 ステップほどである。

Omni を使用するプログラムの大部分は、3D 室内レイアウトモデルを作成するための OpenGL プログラミングである。OpenGL は、米国シリコングラフィックス社が開発した、OS に依存しない 3 次元のグラフィックスライブラリで、これには GLUT (OpenGL Utility Toolkit: OpenGL でよく使用される便利なユーティリティ) ライブラリを用いることで、容易に 3D プログラミングが可能となる (Omni を操作するための API は GLUT に対応しており、OpenGL で作成した室内レイアウトモデルは、Omni の API を通じてそのまま操作が可能である)。

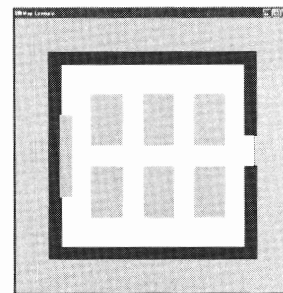
室内レイアウトは、床としてサイズ 2 の立方体を配置し、その上に壁と家具となるサイズ 0.1 の立方体を複数配置した。配置する立方体は、床を“白”、壁を“青”、家具を“緑”で表示する。

図 3 に示す室内レイアウトモデルは、やや斜め上から室内を見た図である。



(a)

(b)



(c)

図4 実験用の3種類室内モデル

4. 評価・検討

基本的な操作試験ののち、シミュレーション実験を通して評価を行った。実験は、3種類の室内レイアウトモデル(図4の a, b, c)を用意し、10分ずつの操作を行って、床、壁、家具の認識具合、操作性、モデルの大きさ、について確認した。その結果として、

- 1) 力を入れすぎると障害物を通してしまう、
 - 2) 仮想形状と実物との大きさが分かりにくい、
- といった問題点が挙げられた。

1)に関しては、力覚提示デバイスを保護するために、最大提示反力(Omni では 3.3N)を超える力が加わると、反力が落ちる(応力が抜ける)ようになっているので、これについてはシステムの調整で修正が可能である。

2)は深い問題であるが、視覚障害者の空間認知に関する研究によると、視覚障害者と晴眼者の間には、空間認知能力に対する際立った差異のないことが実証されているので、音声等の補助説明を重ねれば克服が可能であると考えている。これには、スタイラスのボタンを押すと、歩行の手がかりとなる情報が音声で流れるようにすることで対処したい。図5にシミュレーション実験の様子を示す(手で操作しているのが、力覚提示デバイス Omni である)。

今後は、屋内のみの Omni 用地図(これを力覚地図と呼ぶことにする)だけでなく、屋外に対応した力覚地図生成プログラムを作成するつもりである。この地図が

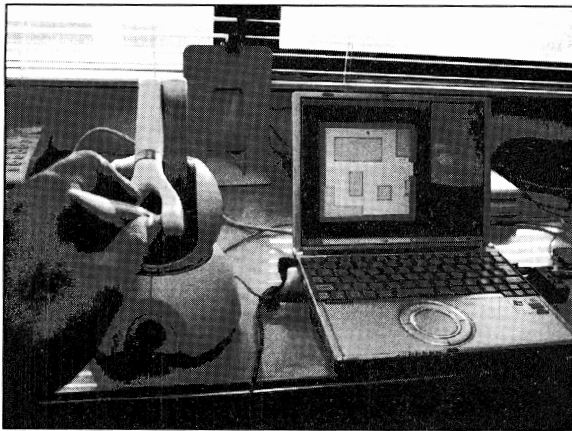


図5 シミュレーション実験

ら、道路の段差や路面の状態、点字ブロックや路上の感覚が、まるで白杖で経路を確認しながら移動するような擬似歩行が体験できるシステムに仕上げることを目指す。また、視覚障害者に物体や空間形状を簡単に早く理解させるには力覚提示デバイスを2台使用して、マスター側（晴眼者である教師側）のデバイスからスレイブ側（視覚障害者）のデバイスへの、追従動作機能を入れるのが有効であるので、現在、この機能を作成中である。

さらに、3次元グラフィックスを生成するシステム(3Dモデラー)は、ロバストで負荷が軽い(記憶容量が少なくて処理が早い)ものが多い。著者らの一部は、距離場空間モデルと呼ばれる、汎用性が高く理論的にも綺麗な空間表現法を共同研究した経緯を持つ[6]。そこで、この空間表現法と力覚提示デバイスを組み合わせることが可能かを検討している。我々が利用しようと考えている距離場空間モデルは、図6のような球と立体の融合体を、任意精度の立方体セル表現(境界セル表示)や三角形セグメント表現(境界ベクトル表示)で、より少ない記憶容量で自由に生成可能である。これにより力覚デバイスの分解能に影響されずに物体形状が作成できるので、OpenGLと併用して、形状認識率の高いシステムにする予定である。

5. おわりに

視覚障害者が介護者を伴わないで知らない場所に行く場合、従来は、あらかじめ出かける場所までの道順を触地図で覚えておくのが普通であった。また、最近では、地理情報システム(GIS)の発達と共に、NPO 法人として音声地図を提供する団体も設立されている。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である。視覚障害者のための簡単な形状認識支援で

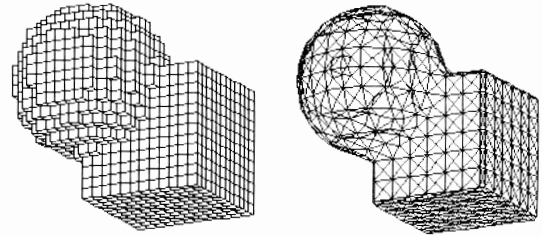


図6 距離場空間モデルによる形状表示
(右：立方体セル表現, 左：三角形セグメント表現)

ある本研究は、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代わる、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に展開できる研究である。また、力覚地図の考えは、教育上あるいは生活上の各種作業トレーニングにも有効である。

謝辞：本研究は、平成17年度筑波技術大学教育研究等高度化推進事業(競争的教育研究プロジェクト事業受付番号38:“未知形状仮想3Dを用いた視覚障害者用触覚認識システムの構築”)の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] <http://www.jiritsu-project.jp/>
- [2] 碓井:“GISを利用した障害者対応型リスクヒューマンナビゲーションとバリアフリーデジタルマップの作成・更新の研究”,平成12年度JACIC研究助成報告書(<http://www.jacic.or.jp/kenkyu/3/3-9-3.pdf>),2001.
- [3] 小孫,小泉:“音声サインデジタルマップを用いた経路誘導に関する研究”,第4回情報科学技術フォーラム(FIT2005)講演論文集,K-076,pp.529-530,2005.
- [4] F. L. Van Scoy, T. Kawai, M. Darrach, C. Rash:“Haptic Display of Mathematical Functions for Teaching Mathematics to Students with Vision Disabilities: Design and Proof of Concept”,Springer-Verlag, LNCS2058, pp.31-40,2000.
- [5] 田崎,長嶋,坂井:“点接触型触力覚提示における3次元形状認識の要因効果に関する一実験(第2報)”,ヒューマンインタフェース学会研究報告集,Vol.5, No.1, pp.35-40,2003.
- [6] S. Asaka, Y. Murai, H. Tsuji, H. Tatsumi, S. Tokumasu:“The Concept of the Distance Field Model for Space Representation”,Proc.6th Int. Conf. on Intelligent Technologies, pp.262-269,2005.

Haptic Interface for the Recognition of Shapes and Space (Part 1)

--- A Walk-Guide Simulator Based on a Haptic Map for the Visually Impaired ---

TATSUMI Hisayuki¹⁾, MIYAKAWA Masahiro¹⁾, MURAI Yasuyuki²⁾

1) Department of Computer Science, Faculty of Health Sciences,
Tsukuba University of Technology

2) Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Information Technology,
Kanagawa Institute of Technology

Abstract : By combining 3D shape modeler (a program which can generate 3D shapes by graphics in a computer) and haptic-sensable devices, we are developing a touch-sensable system in order to help a blind person understand 3D shapes. Here we report on a pathway simulator which simulates a guiding of a pathway through haptic recognition. We can use a tactile map for the visually impaired to explain a pathway. However, it can be sensed only at the limited area of the finger-tips, and therefore lacks on-site feelings. On the other hand, if we could simulate a pathway by haptic method, i.e., if we simulate sense of his palm against resisting forces caused by a sliding long cane hold in his palm, we believe it might give him on-site feeling of the pathway. The purpose of the haptic pathway simulator is to present spacial information by haptic method along the path.

Key Words : Haptic Interface, Haptic Map, Visually Impaired, Walk-Guide Simulator