

機関番号： 12103

研究種目： 基盤研究（C）

研究期間： 2008～2010

課題番号： 20500798

研究課題名（和文） クロックポジション誘導による近接空間認識支援

研究課題名（英文） Workspace Recognition Assisting for the Visually Impaired
by Clock-Position Navigation of Hand

研究代表者

宮川 正弘（MIYAKAWA MASAHIRO）

筑波技術大学・名誉教授

研究者番号： 70248748

研究成果の概要（和文）：視覚障がい者の机上作業を支援するために、対象物のクロックポジション位置と手の速度を音で知らせる腕の誘導システムを提案した。手および机上の物体位置の認識は光景分析を避け、手や物に貼付されたマーカーと光学的位置追跡装置を用いて実時間で認識した。視覚障がい者の手の誘導は作業空間の認知地図創生を支援するためのもので、距離場空間モデルに基づいて得られた空間状況を積極的に提示した。手の誘導速度をファジィ制御で決定すること、ニューラルネット等による混雑度を提示することは有効であった。

研究成果の概要（英文）：We propose an arm-navigation system which assists a visually impaired person with navigating his arm to an object on the table. This is achieved by indicating the direction of the object with its “clock-position” and simultaneously indicating the velocity of the hand by a sound signal. We have adopted optical tracking of markers attached both on the hand and objects, instead of scene analysis in order to assist the navigation in real-time. The most important aspect in providing such assistance is to help the visually impaired person create a cognitive map of the workspace. Therefore, we have tried to provide spatial information of the workspace obtained by using the geometric modeler of space: the Distance Field Model (DFM). Furthermore, we found that the followings are effective: (1) the velocity of the hand is determined by a fuzzy control rule, (2) degrees of congestion on the table is judged by applying a neural network pattern recognizer on the DFM data of the workspace and it is conveyed to the user.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 科学教育・教育工学，教育工学

キーワード： 視覚障害補償，クロックポジション，手の誘導，近接状況認識，空間把握，距離場空間モデル

1. 研究開始当初の背景

手を取って物に導くことは、視覚障がい者

への有力な空間認識手段である。本研究は、これを自動的に音声などで行いながら手近

な物へ手を誘導するシステムを構築することで、最終的には近接空間に対する認知地図の創生（理解）支援を目標に掲げた。

著者らの機関（筑波技術大学保健科学部）は、視覚障がいをもつ学生のみを受け入れる国立大学法人で、所属する学科では情報処理を教えている。学生はIT技術を習得して企業に入社するが、就労を継続するには多くの困難を伴う。その原因は、会社での新たな技術についていけないこともあるが、より根本に机の上の環境取得もままならない中での就労に問題がある。仕事内容のうち、“コミュニケーション力”はパソコン画面読み上げソフトウェアであるスクリーンリーダーを用いることで、晴眼者との大差はなくなりつつある。歩行などの生活習慣的な“行動力”は、近年のインフラ整備により、晴眼者に比べて見劣りはするものの、克服可能である。しかし、デスクワークや食事にみられる“周辺行動”は、視覚が頼みの情報取得であり、身近の人に頼ることが多い。この行動領域は、問題がパターン認識のゆえに難しいことと、生活上は比較的重要ではない些細な行動として見過ごされていたこともあって、工学的な観点からの視覚障がい補償研究の中心課題ではなかった。そのような理由から、本研究は身の周りの環境情報の獲得という、就労やその他で直面する新たな環境下ではとても大事である基本的な問題の一環として、手を導くことによって空間の理解を支援するという方法に至った。これまで著者らはデータキャリア技術を用いた視覚障がい者の環境情報獲得支援、特に、RFIDタグを使用した室内ランドマークの獲得支援等を行ってきたが、より近接物の環境情報獲得支援に位置づけられるのが本課題である。

2. 研究の目的

視覚障がい者に物の位置などを示す場合、クロックポジションと呼ばれる方法を使う。例えば食事の際など、“おかずが12時の方向”、“スープが5時の方向”、“ご飯が7時の方向”などと説明する。このような、目の前の物の配置の認識と、それへの手の誘導を援助者なしに行う支援技術、すなわち、視覚障がい者に近距離物の位置や状況を理解させる自動支援システムを構築することが本研究の目的である。作成する手の誘導システムは、物の配置を音声などでクロックポジション提示して、物に向かう手の移動速度や障害物の回避を信号音の高低で伝える。最終的には、視覚障がい者の近接空間認識理解を支援するシミュレータとして、様々な作業や行動の訓練に展開することができる。

3. 研究の方法

作成する手の誘導支援は、物の配置を音声

等でクロックポジション指示し、物に向かう手の移動や障がい物回避の仕方などを提示する。最終的には、視覚障がい者の近接空間認知創生を訓練するシミュレータとして、空間把握や作業支援に展開することを目指した。開発システムの要件は、(a) 手の誘導、(b) 空間の把握、(c) 訓練シミュレータの機能、などであり、項目(a)については移動速度や遠近認識にファジィ制御を用いた処理を取り入れて、視覚障がい者にとって効果的な誘導支援を実験・検討した。項目(b)については移動可能・不能な領域という空間の占有性を距離場空間モデルで表現し、簡潔で応用性のある空間把握支援を実験・検討した。項目(c)については作業空間の認知や効率的な訓練機能を盛り込むという課題に取り組み、上記の項目(a)と項目(b)を合わせてシステム全体をまとめることを目標とした。以下に、各年度の研究方法を記す。

(1) 2008年度

手の誘導手法に取り組む。研究計画では、追跡装置のソフトウェア開発環境を用いてマーカーの位置情報をリアルタイム（100ms毎）に取得し、誘導する手と対象物の距離と方向を求めて被験者にクロックポジション指示するもので、ファジィ制御を用いて、被験者が対象物に手を近付けるための移動速度等を音で提示する。ファジィ制御の出力値を音にすること（遠近や速度を周波数の高低で知らせること）、クロックポジションを音声指示すること、などは有効であることを確認するが、(a) 物のマーカー貼付位置とCCDカメラの配置、(b) 手（に貼付したマーカー）が物の影に入ると識別が中断された場合の位置予測、(c) 情報提示方法の多様化、等の問題が挙げられる。特に、上述の項目(a)や項目(b)は測定箇所を増やせば解決が可能な問題であるので、光学式位置追跡装置を2台配置し、それらを同期させてマーカー画像の読み取り性能を向上させることを目指す。すなわち、複数箇所からの位置測定によるファジィ制御を用いた誘導と、識別が中断された（現在の位置情報が取得できない）状況下での、過去からの位置データによる位置予測という、2点の難しい課題がある。

(2) 2009年度

前年度から引き続けている腕の誘導技術に関する2点の難しい課題と共に、空間把握の問題にも取り組む。我々は既に、距離場空間モデルに基づく物体の移動可能領域・移動不能領域を、既知環境および未知環境の下で構築する手法を開発済みである。距離場空間モデルは空間の占有問題を扱うことができるので、本研究に対して、作業空間内で手が滑らかに移動できる領域を求める問題、最適な誘導経路を求める問題などが挑戦可能で

あり、この2点の課題を解決することが目標である。距離場空間モデルは、距離が取得可能であることが前提であるので、距離画像センサを用いた距離測定を試みる。

(3) 2010年度

前年度に引き続いて空間の把握手法の開発に取り組む。距離場空間モデルを用いて、作業空間内で手の移動が滑らかにできる領域とできない領域を求めること、最適もしくは準最適な誘導経路をヒューリスティックに求めることなどは解決可能であり、この2点の課題を中心に、腕の誘導支援のアルゴリズムとシミュレーション実験を行う。また、訓練シミュレータの機能技術の開発にも取り組む。本年度は研究計画の最終年度であるので、計算機による空間把握手法、音声・触覚等で被験者に空間情報を伝達する手法、最適な（移動距離が短くて障害物を安全に回避できる）誘導経路を正しく算出する手法、および、これらのシミュレーション実験と評価・分析を通して、システム全体をまとめることが目標である。また、訓練シミュレータとしての機能強化については、距離場空間モデルで求めた空間の占有知識と誘導経路をもとに、認知地図の創生に適したデータを抽出・選択する手法を開発することにも挑戦する。

4. 研究成果

(1) 誘導システムの概要

図1に、光学的位置追跡装置（図中の黒い四角内のカメラ、カナダ Claron Technology 社製の MicronTracker-2 H40）を用いたシステム構成を示す。位置情報を取得したい対象には、プリンタで印刷可能な白黒マーカーを貼り付けている。



図1. システム構成

図2に動作画面を示す。図中の画像は位置追跡装置で捉えたもので、中央の手（基準点と呼ぶ）と、PCおよび板4枚を対象物（対象点と呼ぶ）として、基準点から対象点への距離および位置を測定している。基準点を中心とした円は手の移動可能な範囲であり、対象点を中心とした円は対象物の占有領域で

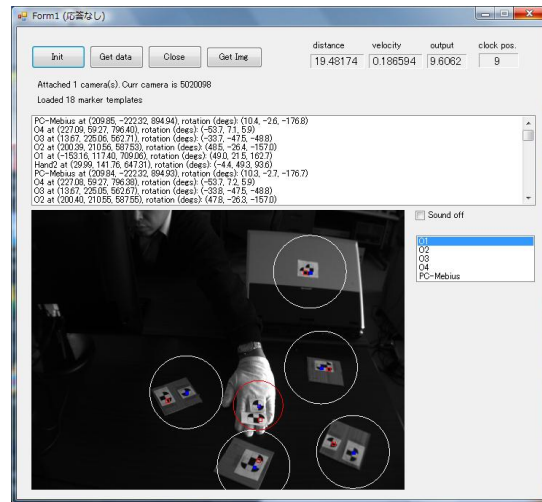


図2. 動作画面

ある（基準点を中心とした円の半径は、近接物との最短距離を示す）。画面右上の数值は左から順番に、基準点と対象点の距離、基準点の移動速度、ファジィ制御の出力値（距離を音の高低で知らせる）、クロックポジションによる対象物方向を示す。

プログラム開発は Microsoft Visual C++ 2005 と、光学的位置追跡装置のソフトウェア開発キットを用いた。プログラムは、メイン処理部が約 200 ステップ、光学的位置追跡装置の制御部が約 200 ステップ、ファジィ制御部が約 100 ステップなどである。さらに、距離場空間モデルの構成部が約 200 ステップ、ニューラルネットの処理部が約 150 ステップである。

光学的位置追跡装置は、机上より約 60cm に設置して、約 40 度の下向きで机上を撮影しており、光学的位置追跡装置の計測領域は半径 120cm×幅 120cm×高さ 90cm、同時認識可能なマーカー数は 100 個である。マーカーには、計測時に固有の識別ナンバーがつき、それらの位置(X, Y, Z)とオイラー角(Yaw, Pitch, Roll)を、処理時間 15~20ms、精度 0.20mm 以内で検出できる。

本システムでは、マーカーの位置情報を 100ms ごとにリアルタイムで取得しており、その位置情報から、つかみ手と対象物との間の距離と方向を求めて（方向は利用者の前方を 12 時としたクロックポジション）、対象物に手を近付けるための移動速度などをファジィ制御で決定して、音で提示している。

(2) 作業空間の距離場表現と情報集約

距離場空間モデル (Distance Field Model: DFM) は、空間の占有表現に適したモデルであり、距離場と呼ばれる、対象物 G と参照点 P との位置的な関係を示すベクトル場：

$$(IO, d, Q, KIND)$$

として表現される。ここで各要素は次の通り

とする。

- IO : 点 P の内外属性 (IN もしくは OUT)。
- d : 点 P と物体境界 δG との距離。
- Q : 点 P に対する δG 上の最短距離点。
(求まらないときは NIL)
- KIND : d と Q が求まるときは 1。
(求まらないときは 2)

距離場空間モデルを用いて作業空間の状況を把握する。表 1 は、距離データ d を用いて、図 2 の画像の空間状況を示したものである。机上空間は 400×400 の広さであり、この中に、距離場を求める点 P としては縦横 25 間隔で 15×15 の 225 点を設定した。ここで、距離データ d が正に大きいほど机上空間は空であり、 d が 0 のときが物の境界、 d が負に大きいほど物の中心内に近づく。距離場を求める点 P の間隔が縦横 25 間隔と粗いので表中の距離データ d だけでは、物と物との離れ具合や、物の境界の様子が分かりづらいが、表 1 の d が負の部分 (色つきの部分) に物が置かれていることが分かる。

表 1. 図 2 の画像の距離場空間

	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
25	204.4	199.1	172.7	161.0	138.5	114.0	89.8	65.9	42.8	21.0	3.0	-5.0	3.0	21.0	42.8
50	182.8	166.2	151.4	138.9	129.2	110.3	85.4	60.5	36.7	11.0	-13.1	-30.0	-13.1	11.0	36.7
75	165.5	147.4	131.0	116.9	105.8	86.3	65.9	45.1	26.5	12.2	-10.8	-28.0	-10.8	12.2	26.5
100	150.1	133.9	112.1	98.0	83.0	74.0	72.1	67.1	65.0	24.0	7.2	0.0	-7.2	24.0	45.0
125	136.8	115.5	95.1	78.7	61.2	50.1	45.1	47.3	51.9	28.5	9.5	-9.6	-4.8	13.2	33.8
150	126.2	103.2	80.9	60.0	41.4	27.1	20.2	23.2	36.0	20.8	-3.6	-25.9	-22.0	1.2	25.8
175	118.9	94.6	70.7	47.3	25.5	6.1	-4.6	-6.3	17.0	21.8	-11.9	-29.0	-18.8	2.7	26.7
200	115.9	80.4	65.5	42.6	19.9	-6.4	-20.9	-17.6	6.1	30.7	13.2	-1.2	-2.7	16.6	29.0
225	115.7	80.8	66.1	41.4	17.0	-6.5	-24.2	-15.0	7.4	38.6	33.8	21.0	3.0	-5.0	3.0
250	120.1	86.0	72.4	48.4	28.0	10.0	0.3	4.7	15.9	10.0	15.9	11.0	-13.1	-30.0	-13.1
275	128.1	105.3	83.5	63.1	45.1	31.8	25.2	15.9	-4.6	-15.0	-4.6	12.2	-10.8	-28.0	-10.8
300	139.2	118.1	88.9	68.4	65.5	54.9	35.0	10.0	-15.0	-10.0	-15.0	16.0	7.2	0.0	7.2
325	153.0	133.6	115.7	100.1	87.5	63.1	38.1	15.9	-4.6	-15.0	-4.6	15.9	28.6	25.0	28.6
350	168.8	151.0	135.0	118.1	94.6	71.8	50.1	30.7	15.9	10.0	15.9	30.7	50.1	50.0	53.4
375	186.4	170.1	153.4	127.7	108.8	85.0	66.1	50.1	38.1	35.0	38.1	50.1	66.1	75.0	77.7

図 3 は、表 1 の距離場空間をグラフ化したもので、図より、左に空の領域が広がっており、中央の谷の部分に移動可能な領域があることが分かる。これより、距離データ d から空間状況を把握することが可能なので、物の配置や手の誘導に対する指示を行うことができる。

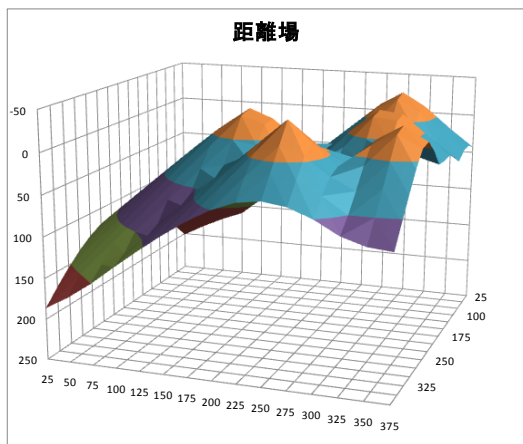


図 3. 表 1 の距離場空間のグラフ化

(3) ニューラルネットによる混雑度判定
机上の混雑度を考えるとき、例えば、机の

面積の半分を占める物が置かれていた場合、机の他の半分は自由に移動可能な空間である。しかし、面積の合計は机の半分と同じであるが、沢山の小さな物が散らばって机の上に置かれていた場合、自由に移動できる空間は小さくなる。このように、机の上を占める面積が同じであっても、物の形状や配置によって移動可能な空間が変わってくる。今、混雑度を幾つかのクラスに分類し、入力された机上の物の配置がどのクラスに属するかをニューラルネットで判定することを考える。例として、表 1 の空間の 5×5 を 1 区画として、9 区画を評価する。

図 4 に 3 層フィード・フォワード型ニューラルネットを用いて、誤差逆伝播法で学習した結果の一例を示す。入力層は 1 区画の観測点 5×5 を入力とした 25 ユニットからなり、出力層は 5 段階の空間評価 (広い、やや広い、やや狭い、狭い、移動不能) を出力とした 5 ユニットからなる。学習に重要な中間層のユニット数は、代表的な決定法である $2n/3$ (但し、 n は入力層のユニット数) を採用した。学習は、学習率を 0.1、慣性率を 0.9 とし、回数が 50,000 回に到達するか、または、誤差が 0.005 以下になるかで終了させた。

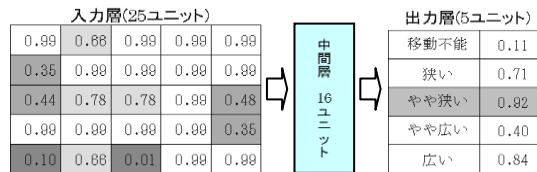


図 4. 学習結果の一例

表 1 の 9 区画、すなわち、図 2 の画像の空間混雑度を判定すると、左上および左下は“広い”，左中央および中央上は“やや広い”，中央・中央下・右中央・右下は“狭い”で、右上は“移動不能”となった。図 5 は、表 1 の 5 段階の混雑度状況を色で図示したものである。

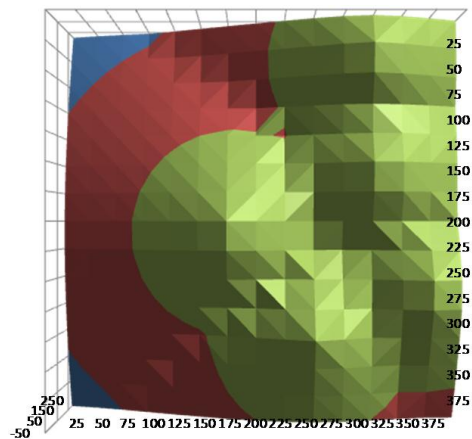


図 5. 表 1 の混雑度状況

これらの空間情報は、音声で提示すると共に触覚ディスプレイ上に表示し、それを触視することで区画の空間状況がすばやく理解できる(触覚ディスプレイのピン表示を微妙に変化させることで5段階の触視状態を提示した)。なお、エントロピーを用いて簡単な混雑さは計算できるが、ニューラルネットによる分類器は様々な状況に対処することが可能である。

手を導いて触れさせるという行為は視覚障がい者にとって適切で有効な情報保障であり、効果的な認知地図の創生につながる。これを単独で誰の助けも借りずに行うというのが本誘導支援システムである。我々は、研究の成果を訓練シミュレータとして展開し、様々な機能を追加することで視覚障がい者の近接空間認識能力の向上に活用したいと考えている。

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6件)

- ① Yasuyuki Murai, Masaji Kawahara, Hisayuki Tatsumi, Tomoyuki Araki, Masahiro Miyakawa, Congestion Recognition for Arm Navigation, --Aids for the Visually Impaired--, Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, No.539, pp.1530-1535, 2010, 査読有.
- ② Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Masahiro Miyakawa, Kanji Writing Assisting through Haptic Interface for the Visually Impaired, Proc. WAC (World Automation Congress) 2010 Int. Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP), No.534, 2010, 査読有.
- ③ Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Masahiro Miyakawa, Aiding Arm Navigation of a Visually Impaired Person, --Workspace Congestion Judgment by Neural Network--, Proc. 7th Int. Conf. on Perspectives of System Informatics (in Educational Informatics), pp.1-7, 2009, 査読有.
- ④ 巽久行, 宮川正弘, 村井保之, 机上混雑状況の認識による腕の誘導(その1), 一視覚を補償するクロックポジション誘導システムの提案一, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.17, No.1, pp.36-40, 2009, 査読無.
- ⑤ Masahiro Miyakawa, Maurice Pouzet, Ivo G. Rosenberg, Hisayuki Tatsumi, Semirigid Equivalence Relations on a Finite Set, Journal of Multi-Valued Logic and Soft

Computing, Vol.15, No.4, pp.395-407, 2009, 査読有.

- ⑥ Yasuyuki Murai, Hisayuki Tatsumi, Masahiro Miyakawa, Shinji Tokumasu, Arm Navigation Assisting for the Visually Impaired, Proc. WAC (World Automation Congress) 6th Int. Forum on Multimedia and Image Processing, No.343, 2008, 査読有.

[学会発表] (計5件)

- ① 村井保之, 力覚装置を用いた視覚障がい者書字訓練システム, 第9回情報科学技術フォーラム(FIT2010), 2010年9月9日, 九州大学・伊都キャンパス.
- ② Masahiro Miyakawa, Application of Graphical Compositions, --Searching for Semirigid Systems of Equivalence Relations--, 19th Int. Workshop on Post-Binary ULSI Systems, 2010年5月25日, Barcelona, Spain.
- ③ 村井保之, 距離場空間モデルを用いた空間認識とその応用, 第32回多値論理フォーラム, 2009年9月10日, 北海道大学.
- ④ 村井保之, ニューラルネットによる混雑認識を用いた視覚障がいの腕の誘導, 第8回情報科学技術フォーラム(FIT2009), 2009年9月4日, 東北工業大学・八木山キャンパス.
- ⑤ 村井保之, ニューラルネットを用いた距離場空間の混雑度判断, --視覚障がい支援: 腕の誘導--, 電子情報通信学会第二種研究会「第22回多値論理とその応用研究会」, 2009年1月10日, 群馬大学・工学部.

[その他]

ホームページ等

<http://hdl.handle.net/10460/761>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮川 正弘 (MIYAKAWA MASAHIRO)

筑波技術大学・名誉教授

研究者番号: 70248748

(2) 研究分担者

巽 久行 (TATSUMI HISAYUKI)

筑波技術大学・保健科学部・教授

研究者番号: 30188271

(3) 連携研究者

村井 保之 (MURAI YASUYUKI)

日本薬科大学・薬学部・准教授

研究者番号: 30373054