

人が搭乗しその場その場で行動を指示できる パーソナル視覚移動ロボット Hyper Scooter の開発

柴田 智 広^{*1} 松本 吉 央^{*1} 稲葉 雅 幸^{*2} 井上 博 允^{*2}

On-the-spot Rider-directed Action Instruction with the Personal Vision-based Mobile Robot "Hyper Scooter"

Tomohiro Shibata^{*1}, Yoshio Matsumoto^{*1}, Masayuki Inaba^{*2} and Hirochika Inoue^{*2}

This paper describes a development of vision-based mobile robot, called Hyper Scooter. A user can ride on Hyper Scooter, and instruct it to act along his/her intention on-the-spot in a natural way.

Hyper Scooter is battery powered, carries a single driver, and has a system that integrates the correlation-based high speed tracking vision system and the user-interface to interact with the robot through visual information.

The features of our system are: (1) To make the mobile robot personal, we designed our system on the premise that a user rides on it. (2) the user requires no special knowledge. (3) Instruction and the execution are immediate supported by our high speed vision system.

The experimental result will show the feasibility of our system. The user can instruct Hyper Scooter to achieve autonomous complex trail replication instantly without explicit environmental model.

Key Words: Mobile Robot System, Active Vision, Human-Robot Communication

1. はじめに

実時間視覚処理装置を持ち、コンパクトで人間が搭乗可能な移動ロボットが存在したら、人間との間に生まれた新しいインタラクションによって、移動ロボットの可能性がどの程度広がるだろうか。また、移動ロボットのパーソナル化は図れないだろうか。本論文はこのような観点に立つ知的移動ロボットの開発研究について述べたものである。

従来の移動ロボット研究は、その活動環境から二種類に大別できる。一つは人間が直接入り込めない、原子力施設内 [1] や宇宙 [2] での活動を想定したものや、高速道路や何らかの道路に沿って自動運転するもの [3]~[6] であり、もう一つは [7][8] 建物の内部の廊下空間 [9]~[13] で活動するものであった。これら従来の研究を、ユーザという立場から改めて見ると、ロボットシステムの製作者らとそれを使うユーザとは二分した存在だったと言える。つまり、通常システム製作者らがコースの設定や道路のモデルなどを決定しており、ユーザは提供されたシステムを受動的に利用するスタイルであった。

これら従来の移動ロボットに対して、本論文で述べる移動ロボットシステム（以後 **Hyper Scooter** と呼ぶ）は、ユーザが搭乗することができ、共に移動しながら、その場その場で視覚情報を通じた行動指示を行うことができる。また、ユーザには特別な知識を仮定せず、誰もがパーソナル移動ロボットとして自然に行動を指示できるシステムを目指している。

本論文ではまず、その場その場での自然な行動指示の方法としては視覚情報を媒体とした対話が適していること、またその具体的な応用例として、経路指示が可能であることに言及する。そして、実際に高速な視覚パターン追跡装置やユーザインターフェイスを搭載した Hyper Scooter のシステムに関して述べる。次にその場その場での行動指示法、またそれを組み合わせた経路指示手法に関して考察を行い、そのために必要な視覚処理に関して詳しく述べる。続いて具体的な経路指示実験と結果を示し、最後に結論を述べる。

2. 環境の見え方によって区切られる 行動パターンの伝達

人間の行動は多次元の感覚によってフィードバックされるが、特に移動という行動は視覚情報が重要な役目を果たす。つまり、周囲の視覚情報が思ったように見えるように行動を変化させることで移動というタスクを実現している。これは大域的には、普段我々が他人に道を教えるときの「この通りに沿って行って、本郷の交差点で曲がって」とか「右側に大きな木が見えたら、その左側にある赤い建物に向かって」という言い方から分かる

原稿受付 1995年6月15日

^{*1}東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻

^{*2}東京大学工学部機械情報工学科

^{*1}Division of Information Engineering, The Graduate School and Faculty of Engineering, The University of Tokyo

^{*2}Department of Mechano-Informatics, Faculty of Engineering, The University of Tokyo

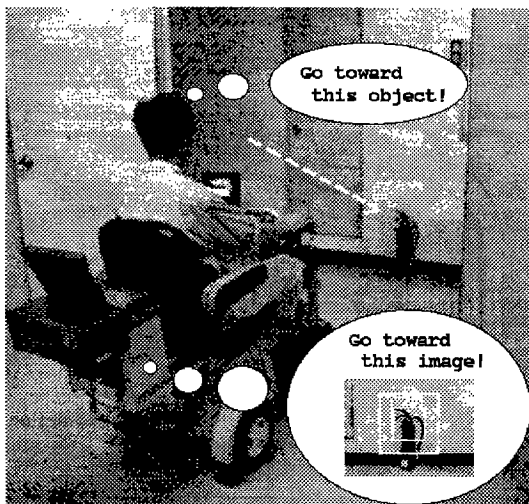


Fig. 1 Action instruction by the rider with visual information

ように、ランドマークの発見と行動の記述を一組にし、全体の経路はその連結を用いて表現していることに相当し、また局所的には、「物体にこれぐらい近付いたら」、「物体のこの部分がこう見えるように」というような、物体の見え方の変化という情報を用いていることに相当する。

そこで、Hyper Scooter へのその場その場での自然な行動指示は、環境の見え方によって区切られる行動パターンを伝達する手法によって達成できると考えた。ここでは Fig. 1 を用いてこの考え方の実際のインプリメンテーションを大まかに説明する。図では、搭乗者は前に見える消火器に向かって進みたいと考えている（一つの行動）。彼は「消火器に向かって進め」とロボットに伝えるために、トラックボールを右手で操作し、ロボットのハンドルに取り付けられたモニター上で消火器を指し示している。その結果ロボットは「この画像に向かって進もう」と考えている。Fig. 1 の右下隅は、ロボットが見ているイメージであり、そこに白線で二重の正方形が消火器を取り囲んでいるが、それはその枠内の視覚パターンを追跡していることを表現している。

この例は一つの行動の指示であったが、この章の始めに述べたように、複数の行動を連結することは、一連の経路を表現する自然かつ単純な方法である。次章以降では、単純ではあるが高速な視覚パターン追跡装置とユーザインターフェイスとの統合が、単純な行動の伝達をいかに効果的に可能にするかを述べ、応用例としてある複雑な振舞いとも言うことができる経路教示の実験によって、Hyper Scooter システムの有効性を明らかにしていく。

3. Hyper Scooter のシステム構成

Fig. 2 が我々が実験に使用している移動ロボット、Hyper Scooter [14][15] の外観である。

本体は元々高齢者や足の不自由な人のための電気スクーターであったものを改造した。このスクーターは電池駆動であり、最大時速 6 [km] で走行できる。ステアリングハンドルには DC サーボ機構を取り付けた。カメラを載せるパンチルトは、ラジ

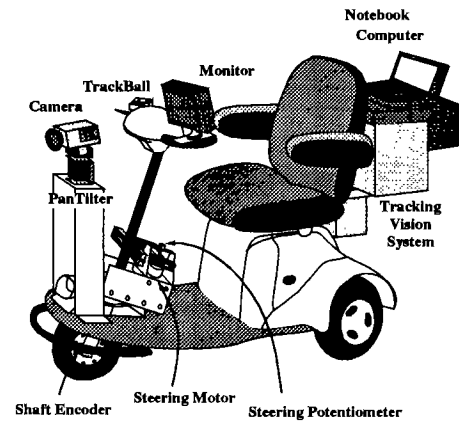


Fig. 2 Overview of Hyper Scooter

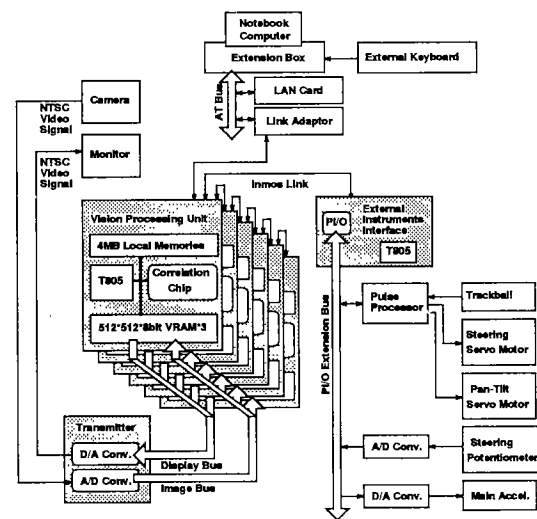


Fig. 3 Hardware configuration of Hyper Scooter

コン用の小型サーボモータを使って製作した。また、ロボットに指示を与えるためのトラックボールや、ロボットの見ている画像を表示するための 10 インチ液晶モニターを搭載した。前輪にはシャフトエンコーダを取り付けた。また、椅子の後ろには、我々の研究室で開発した並列視覚処理システムを搭載した [16]。

Fig. 3 に Hyper Scooter のハードウェア構成を示す。各ビジョンボードはトランスピュータによってコントロールされ、ボードどうしは、リンクで接続されている。ビジョンボードの解像度は 512×512 画素で、階調は 8 ビットである。またこのボードの最大の特徴として、濃淡画像をテンプレートとした高速なパターン追跡を実現する局所相関演算チップ [17] が搭載されている。

制御とセンシングは、我々の研究室で開発したトランスピュータ制御ボードで実行される。この制御ボードは拡張バスを持ち、八つの拡張ボードを制御できる。現在は、パルス生成器や A/D コンバータなどを拡張ボードとして使用している。

Fig. 2 にも示すように、我々は AT 互換機ノートブックを拡張ボックスと共に搭載している。ノートブックの CPU は Intel の 486/DX2 であり、RAM を 16 [MB]、ハードディスク

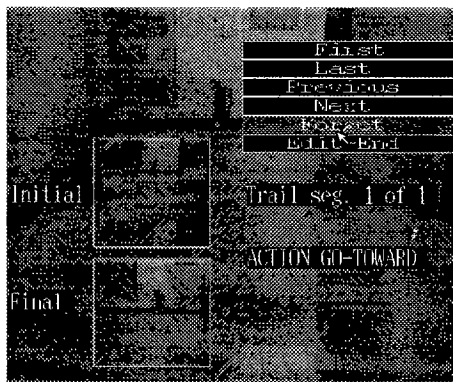


Fig. 4 Monitor image showing superimposed GUI instruction-menu

を 340 [MB] 持っている。このノートブックはトランスピュータのホストコンピュータとして用いるだけでなく、UNIX のプラットフォームとなり、インタラクティブな移動開発環境を実現するために、CLOS (Common Lisp Object System) [18] を使ったシステムマネジメントライブラリも用意した。

ユーザインターフェイスとしては、音声やキーボード入力、また自然言語による入力が理想的であると考えられるが、現在のシステムには音声認識処理や言語の統語処理などはインプリメントされていない。本論文では、全面的にグラフィカルユーザインターフェイスを用いている (Fig. 4 参照)。

4. 自然な経路教示への応用と 要求される視覚モジュール

本章では、2章で述べた、ランドマークの見え方と行動を組み合わせた記述による自然な経路教示を Hyper Scooter で実現するための一手法を提案する。

経路は向目標運動と右左折運動とで構成されると仮定する。向目標運動は何らかの対象に向かっていく行動であり、右左折運動は、右または左に操舵角を最大に切り、主モータは前進または後進をするものとする。そして向目標運動や右左折運動という行動が経路をセグメントに区分する。各セグメントは視覚キューにより区分される。視覚キューとは、各セグメントの最終局面で得られる画像特徴のことである。Fig. 5 の例ではある経路が四つの行動に応じたセグメントに区分され、それが図の右側のように単純なオートマトンに変換して表現されている。各オートマトンの入力記号 $\{a, b\}$ はそれぞれ、視覚キューの発生が a であり、未発生が b という記号に対応している。また、教示後の自動走行の処理をもう少し詳しく説明すると Fig. 6 のようになる。

この向目標運動とターンに関して、その行動原理と必要な視覚キューの分析を以下で述べる。

4.1 向目標運動

向目標運動は何らかの目標に向かって進んでいく動作である。対象は視覚特徴追跡ウィンドウによって追跡されると仮定すると、向目標運動の際の操舵角 θ は、 $gain$ を定数、 W_x を追跡子の画像座標における x 座標、 I_c を画像座標における中心座標

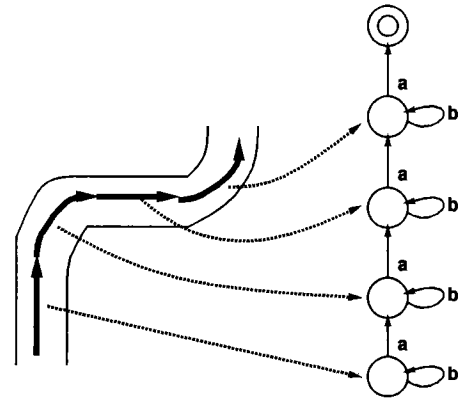


Fig. 5 Example trail represented by the sequence of action and visual cue

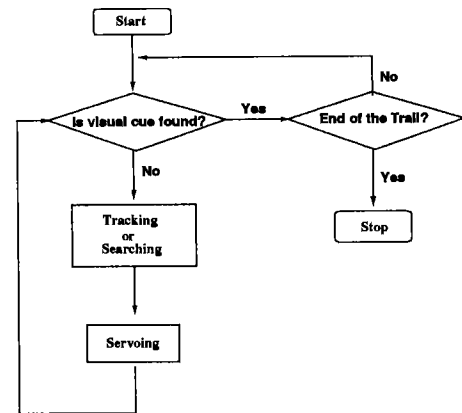


Fig. 6 Processing of the autonomous trail replication based on the pair of action and visual cue

としたとき、

$$\theta = gain \times (W_x - I_c) \quad (1)$$

という式によって制御される。

向目標運動によって生ずる対象の見え方の変化は、対象が視線に垂直な平面であると仮定すると、そのサイズの拡大として現れる。そこで、この対象のサイズの拡大に適応して追跡を継続できる追跡ウィンドウが必要となる。

また、この向目標運動を停止させる視覚キューは、基本的にはそのセグメントの終了状態における対象のサイズであると考えて良からう。ところで、対象のサイズの変化には対象との初期距離を d_0 、対象の高さを H 、カメラの焦点距離を f とすると、初期位置での対象の画像サイズは

$$h_0 = f \frac{H}{d_0} \quad (2)$$

であり、また初期位置から前進して距離が d_t になったときのサイズ h_t は

$$h_t = \frac{d_0}{d_t} h_0 \quad (3)$$

となる (Fig. 7 参照)。 d_0 と d_t が近い場合には対象のサイズはほとんど変化しない。これは例えば、対象が遠方にあり (d_0 が大きい)、また停止位置を早めに設定した ($d_0 - d_t$ の差があ

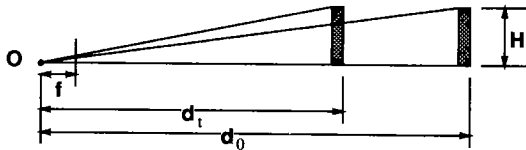


Fig. 7 Relation between the distance of an object and its size in the image: View Point O, Height of the object H , Focal length f . Both d_0 and d_t are the distances

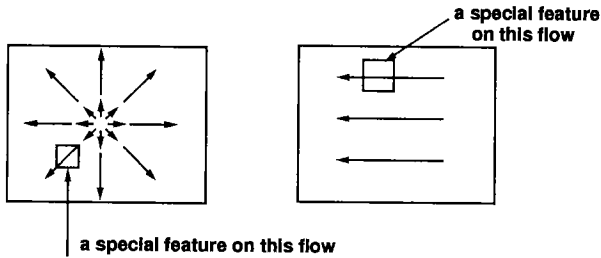


Fig. 8 Optical flow while in motion. going-toward action (left); turning-right action (right)

まりない) 場合に対応する。このような場合はサイズの変化は視覚キューとして適当でないため、別の画像特徴が必要となるので、補助特徴として、別のテンプレート一つとその位置を記憶する方法を (Fig. 8 左側参照) 用いることとする。これは向目標運動という文脈上必ずオプティカルフロー上を移動してくる、あるパターンを記憶することであり、そのフロー上およびその近傍で特徴的であれば、視覚キューとして使用可能である。

4.2 右左折運動

右左折運動は右左折それぞれ最大切り角までステアリングを切って前進または後進する動作とする。Fig. 8 の右側に一例として右折前進時の画像の変化が示してある。Hyper Scooter が右にターンすると、画像は右から左に流れる。そこで停止位置ではこのオプティカルフロー上およびその近傍で特徴的な画像領域をテンプレートとし、その位置と共に記憶すれば良いことが分かる。

5. 視覚処理モジュール

前章で述べた行動と視覚キューの連鎖による経路表現による教示、自動走行を実現するには、画像上でサイズの変化する対象の追跡と、何らかの画像特徴の発見という二つの画像処理が必要であることが分かった。本システムでは、この二つの画像処理は、局所相関演算に基づいた2種類の視覚処理ウィンドウとして実現した。局所相関演算は専用チップを用いて、テンプレート R と探索領域 S 中の256個の候補領域 $\{C_{i,j} | 0 \leq i, j \leq 15\}$ に対して行われ、最小相関値と移動ベクタを1.5[msec]で得ることができるものである [16]。

5.1 マーク発見ウィンドウ

マーク発見ウィンドウは、教示時にテンプレートとその検出すべき画像上での位置を記憶する。そして、実行時には、ある一定の領域内で記憶したテンプレートの探索を行う (Fig. 9 参照)。領域に幅を持たせてあるのは、実行時に教示時とまったく同一の経路に沿って移動することは難しく、そのずれによ

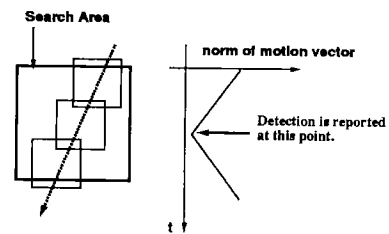


Fig. 9 Mark detector. An object is moving along a dotted line

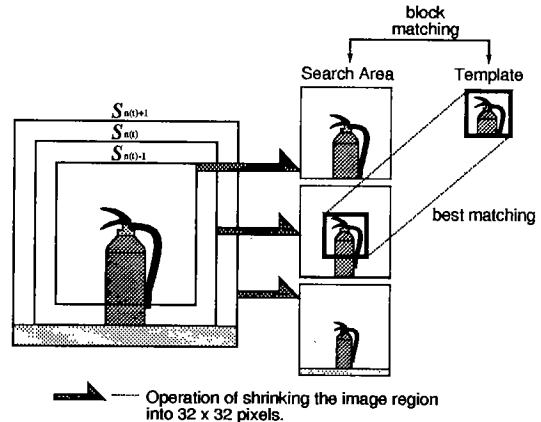


Fig. 10 Size-changeable visual window calculates correlations between a template and 3 candidates. $S_{n(t)}$ means the standard size at time t

て視覚キューの画像上での位置が多少ずれるからである。この領域内での局所相関演算により、通常は記憶した位置でない場所でも検出がなされる。ただし、検出がなされるとは、最小相関値がある閾値を下回ったときである。そこでマーク発見器は、得られた移動ベクタの大きさが極小値を取った時点で検出を報告する。

5.2 サイズ可変ウィンドウ

もう一つの視覚処理ウィンドウはサイズ可変ウィンドウである。これはロボットの前進につれて画像上で拡大する、正面にある追跡物体に追従するために利用する追跡器である。このサイズの変化には、相関演算の探索領域を疑似的に広くとり、実際に相関演算チップに送るデータは間引いたものを与えることで対応する。Fig. 10 に、サイズ可変ウィンドウのアルゴリズムを示す。この図の左の3個の正方形は疑似探索領域のサイズを示す。 S_n は初めにテンプレートを記憶したときの探索領域の大きさ (S_0) を基準とした探索領域の大きさであり、その拡大率を M_n とすると、 M_n と S_n の関係は以下の式で定義される。

$$M_0 = 1.0$$

$$M_{n+1} = 1.1 \times M_n$$

$$S_n = S_0 \times M_n$$

ただし $N > n \geq 0$ であり N は定数である。図中ではある時刻 t のときのサイズを $S_{n(t)}$ と表記している。そして大きさ $S_{n(t)+1}, S_{n(t)}, S_{n(t)-1}$ の三つの疑似探索領域を間引いて縮小することで探索領域 (32 × 32 画素) の候補を三つ生成し、これ

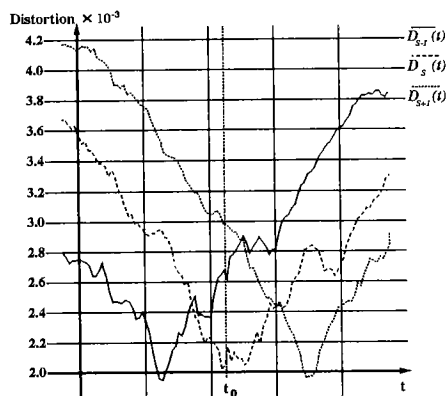


Fig. 11 Time-varying best matching candidate of a Size-changeable visual window. $D_s(t)$ is the distortion value of the standard size ($= S_{n(t_0)}$, t_0 is the time described in this figure) candidate. $D_{S+1}(t)$, $D_{S-1}(t)$ correspond with $S_{n(t_0)+1}$ and $S_{n(t_0)-1}$, respectively

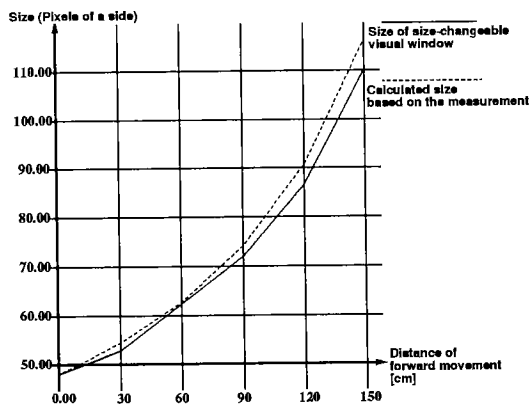


Fig. 12 The size changing of an object in the image while the camera is moving forward (the initial distance is 260 [cm])

らとテンプレート (16 × 16 画素) とのマッチングをとること
で次の基準となる拡大率 ($S_{n(t+1)}$) を決定する。

Fig. 11 にはこの 3 個のサイズ候補の画像とテンプレートの
相関演算の結果である最小相関値の推移が示してある。対象に
向かって前進しているときに、小さいサイズから時間順に最小
相関値の谷が現れていることが分かる。また、距離と画像サイ
ズとの関係を Fig. 12 に示すが、本手法で得た結果は実測値か
ら算出したグラフとほぼ一致しており、距離に関して有効な情
報が取り出せていることが分かる。

このサイズ可変ウィンドウの実際の計算時間は、15.5 [msec]
であった (ただし、ソフトウェアでの間引き計算のコストが全
体の約 80% を占める)。

6. 経路教示および自動走行の実験

6.1 経路教示の方法

ここでは、第 4 章で述べた、行動と視覚キューの連鎖によ
る経路表現を、具体的に前節で述べたグラフィカルユーザイン
ターフェイスを含めて、どのように教示していくかを説明する。

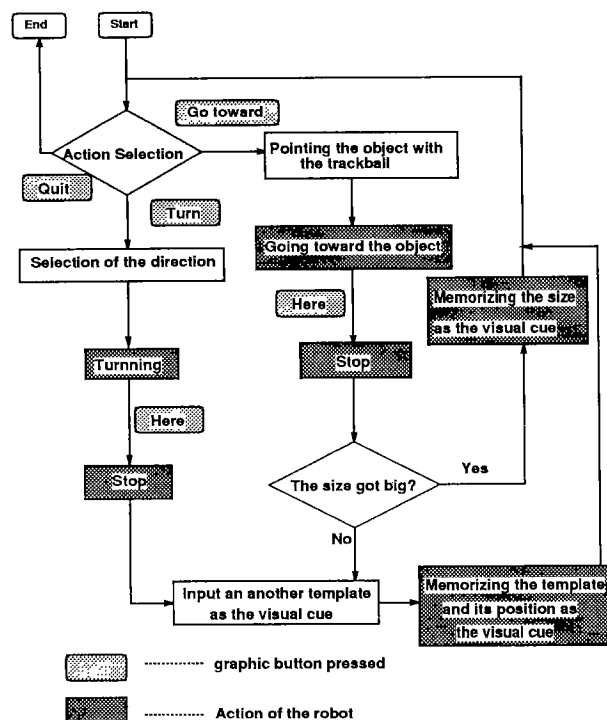


Fig. 13 Flowchart of rider-directed instruction

教示手法の全体の流れを Fig. 13 に示した。すでに述べたよ
うに、行動パターンは向目標運動と右左折運動の 2 パターンな
ので、経路セグメントの初期位置において、まず動作選択を行
う。動作選択はこの図に示すように、画面上のボタンをクリッ
クすることで行う。

向目標運動を選択すると、ユーザはどの対象に向かって進む
かをトラックボールを用いて指定する。するとサイズ可変ウィ
ンドウが対象の追跡を開始し、ロボットは 4.1 節で述べた操舵
制御を行いながら、前進する。そしてユーザが Here という
ボタンをクリックすると停止し、続いてシステムはサイズ可変
ウィンドウの拡大率をチェックし、1.5 倍以上ならばサイズを視
覚キューとして記憶し、そうでなければ、ユーザにマークの教
示を要求する。

右左折運動を選択すると、右左折、前後進の組み合わせの 4
ボタンが選択肢として表示され、ユーザはそのうち一つを選択
する。するとロボットは右左折運動を開始し、ユーザの Here
ボタンのクリックにより停止する。続いてシステムはユーザに
マークの教示を要求する。

6.2 実験結果と考察

我々は、ここまで述べた教示システムを搭載した Hyper
Scooter を用いて、Fig. 14 に示した環境で、太い矢印に沿った
経路の教示と自動走行の実験を行った。実験環境は我々の研究
室およびその外の廊下である。経路としては、まず研究室を出
て、廊下の T 字路を利用して方向転換を行い、再び同じ研究室
に逆向きで戻ってくるというものである。

実験では筆者らはこの経路を 8 セグメントに区分して教える
ことができた。Fig. 14 中では、各セグメントに対応する経路は

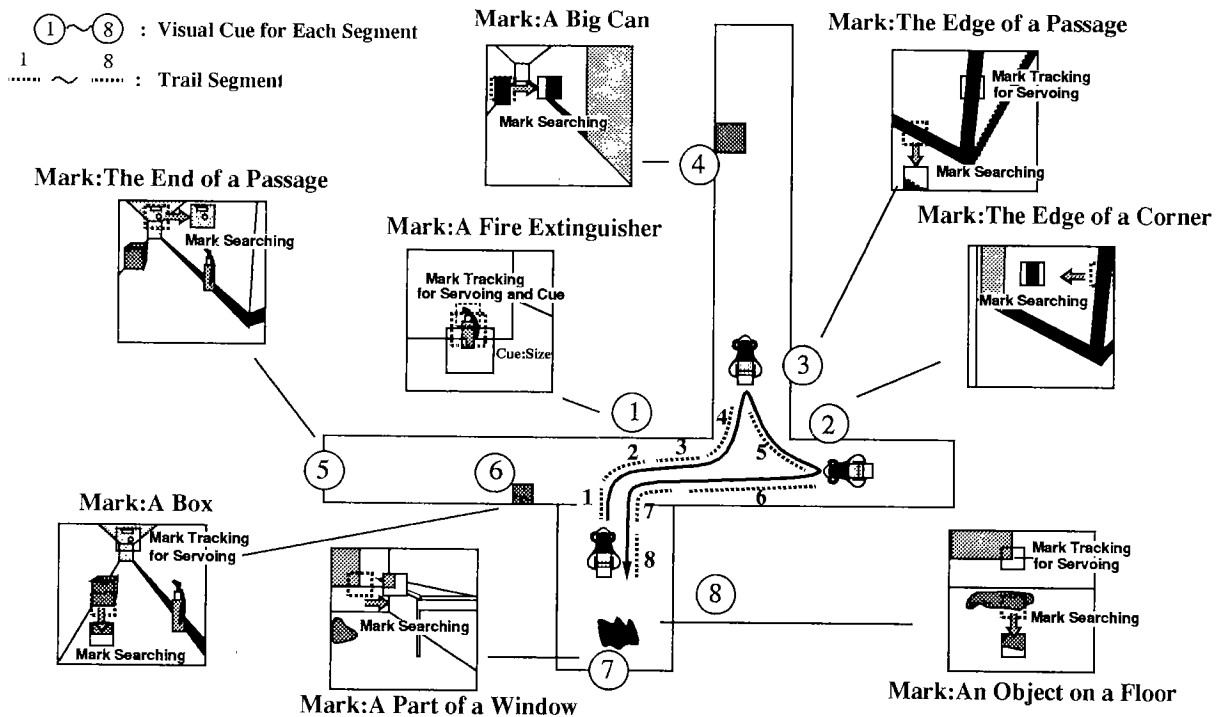


Fig. 14 The experimental environment, the trail, and the pair of an action and visual cue of each trail segment

1, 2, ..., 8 で、また対応する視覚キューは①, ②, ..., ⑧ で示した。例えば、経路セグメント 1 では消火器 (①) に向かう運動を行い、視覚キューはそのサイズを用いた。またセグメント 2 では、角の黒いエッジ (②) が画面の中央付近に見えるまで右折運動を行った。

本実験では、(1) 特別なランドマークなどを配置したりしていない普通の廊下空間で、(2) 環境情報は視覚センサのみで獲得し、(3) 方向転換という複雑な動作を行った。これは従来のユーザのシステムへの関与を想定していない自動走行、自律走行を目標としたアプローチでは実現が困難であり、我々のアプローチの有効性を示していると結論づけることができる。

残された問題はいろいろあるが、ここでは (a) 自動走行時の画像の輝度の変動、(b) 人間の指示を受動的に受け入れる問題、それから (c) 安全性の問題、に関して考察する。

まず (a) に関してであるが、一度記憶したデータは、実行時の、また実行中におけるカメラのオートアイリスの影響などで発見や追跡が困難になる。この問題に対し、現在我々は正規化相関演算を試行している。5章の始めて説明したように、相関演算チップには 256 箇所の探索領域 S とテンプレートを一度に送り込むプロトコルになっており、各探索領域パッチ $C_{i,j}$ ごとの正規化は不可能である。そこで疑似的な正規化の手法として、探索領域 S に関する正規化を行うことで、ある程度の効果をあげることはできた。ただしこの正規化の効果は、テンプレートに依存しているため、今後さらに検討を重ねる必要がある。例えば、テンプレート内部の対象が、実世界では平面であるほうが正規化が効果的であるし、逆に複数の立体が混在する場合、照明の影響で画像の輝度分布が極端に変化するため、単

純な正規化では対処できない。

次に (b) に関してであるが、人間が指示した領域をテンプレートとすることがロボットのタスク実行のために最適であるとは言えないという問題がある。人間が指示した領域が実際には局所的に特徴的でないことも多いと考えられるからである。この問題はさらに大きな問題として捉えることができる。本稿では、視覚特徴はすべて人間が指定し、それは直接テンプレートベースで記憶されるために、画像のノイズやタスクの失敗回復などの点で弱いシステムになっている。やはり、ロボット側にも認識処理が必要で、その上で人間の認識処理との相違を緩衝する機構が必要であると考えられるが、この興味深い問題は今後の課題としたい。

最後に (c) に関してであるが、本研究の場合、教示時の安全性の確保は人間に任されている。前述のように、(b) に関してシステム側のチェック機構がまだ備わっていない。自動走行時には、向目標走行の場合、向かう対象が発見されないと発見されるまで走行しないし、走行途中で遮蔽などにより対象を見失うと、そこで停止して待機する。また現状では右左折走行の場合、マークが発見されないと停止する契機を見失って停止することができないが、これは内界センサを活用することで、教示時のセグメント長を過ぎても見つからないときは停止するというアルゴリズムである程度対応可能であろうと考えている。また、障害物検知などの自律性に関する能力も開発する必要があるが、我々は本システムに搭載された並列視覚処理システムにいくつかのタスクを課し、適切に並列処理させる研究 [19] も進めている。また障害物検知に関する研究 [20] も進めており、近い将来の統合を目指している。

7. 結 論

従来の移動ロボット研究に対して、本論文で述べた視覚移動ロボットは、ユーザーが搭乗することができ、共に移動しながら、その場その場で視覚情報を通じた自然な行動指示を行うことができた。本論文での筆者らのシステムの特徴は以下のようによまとめることができる。

- 移動ロボットのパーソナル化を目指し、ユーザが搭乗するという前提の元でシステム設計を行った。
- ユーザに特別な知識を要求せず、自然に行動や経路を教示できる。
- 実時間視覚処理システムを生かした教示・実行がその場で即座にできる。

この Hyper Scooter の潜在的な応用例としては、当然身体障害者用のインテリジェントスクータという例が考えられるが、その即時性を生かして、自動的に環境情報を獲得するためのベースとなる代表経路の教示としての利用なども考えられる。

今後は、さらにロボットのパーソナル化という観点から、音声やタッチパネルなどを用いた、インターフェイスの改良も進めていくと共に、ユーザと視覚を持ったロボットとが状況を共有できる環境を生かして、ユーザの意図理解やロボット視覚と人間の視覚との差異を緩衝する機構の研究も進める。また、移動ロボットとしての安全性、自律性に関する能力の開発・統合も進める。

参 考 文 献

- [1] 小野口一則, 渡辺睦, 岡本恭一, 久野義徳: “移動視覚のための多重情報地図”, 日本ロボット学会誌, vol.11, no.3, pp.401-409, April 1993.
- [2] J. Bares, M. Hebert, T. Kanade, E. Krotkov, T. Mitchell, R. Simmons and W. Whitaker. Ambler: “An autonomous rover for planetary exploration,” Computer, pp.18-26, June 1989.
- [3] E.D. Dickmanns: “4D-dynamic scene analysis with integral spatio-temporal models,” In Proc. of 4th Robotics Research, pp.73-80, 1987.
- [4] C. Thrope, et al.: “Vision and navigation for the Carnegie-Mellon Navlab,” IEEE Trans, Pattern Anal. Mach. Intel, vol.PAMI-10, no.3, pp.362-373, 1988.
- [5] V. Grafe and K.D. Kuhnert: “Toward a vision based robot with a drivers license,” In IROS '88, pp.627-632, 1988.
- [6] D.A. Pomerleau: “ALVINN: An autonomous land vehicle in a neural network,” Technical Report CMU-CS-89-107, CMU, 1989.
- [7] 森英雄, 小谷信司, 石黒浩, 安富敏, 茅野之雄: “構内道路を走行する自律移動ロボット”, 日本ロボット学会誌, vol.5, no.5, pp.361-374, 1987.
- [8] 西川和弘, 森英雄: “簡潔な経路情報を基にした移動ロボットの誘導法”, 日本ロボット学会誌, vol.12, no.8, pp.1183-1191, 1994.
- [9] 松本勉, 油田信一: “経路地図に従った移動ロボットの自律走行システム”, 日本ロボット学会誌, vol.5, no.5, pp.19-27, 1987.
- [10] 飯田重喜, 坪内孝司, 油田信一: “移動ロボットのカラー画像による自己位置同定法”, 日本ロボット学会誌, vol.8, no.6, pp.641-651, 1989.
- [11] M. Meng and A. C. Kak: “NEURO-NAV: A neural network based architecture for vision-guided mobile robot navigation using non-metrical models of the environment,” In Proc. of Int'l Symp. on Robotics Research (ISIR'93), pp.750-757, 1993.
- [12] I. Horswill. Polly: “A vision-based artificial agent,” In Proc. of Int'l Conf. on AAAI '93, pp.824-829, 1993.
- [13] Hiroshi Ishiguro, Takahiro Miyashita and Saburo Tsuji: “T-net for navigating a vision-guided robot in a real world,” In Proc. of Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp.1068-1073, 1995.
- [14] H. Inoue: “Vision based behavior: Observation and control of robot behavior by real-time tracking vision,” In Int'l Symp. on Robotics Research, 1993.
- [15] T. Shibata, Y. Matsumoto, T. Kuwahara, M. Inaba and H. Inoue: “Hyper scooter: A mobile robot sharing visual information with a human,” In Proc. of IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp.1074-1079, 1995.
- [16] 井上博允, 稲葉雅幸, 森武俊, 立川哲也: “局所相関演算に基づく実時間ビジョンシステムの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.13, no.1, pp.134-140, 1995.
- [17] H. Inoue, T. Tachikawa and M. Inaba: “Robot vision system with a correlation chip for real-time tracking, optical flow and depth map generation,” In Proc. of the 1992 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp.1621-1626, 5 1992.
- [18] 井田昌之, 元吉文男, 大久保清貴編: Common Lisp オブジェクトシステム. 共立出版, 1989.
- [19] 松本吉央, 桑原太地, 柴田智広, 稲葉雅幸, 井上博允: “ハイパースクータの研究: 複数の注視領域の管理システムによる環境情報の獲得”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '94 講演論文集, pp.489-492, 1994.
- [20] 柴田智広, 宮崎猛, 松本吉央, 稲葉雅幸, 井上博允: “ハイパースクータの研究: 移動ロボットのための単眼による衝突時間予測器の開発”, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1019-1020, 1995.



柴田智広 (Tomohiro Shibata)

1969年1月19日生。1991年東京大学工学部卒業。1993年同大学院修士課程修了。現在同博士課程在学中。ロボットビジョンおよび人間搭載型視覚付小型移動ロボットシステムの開発研究に従事。日本ロボット学会研究奨励賞受賞。人工知能学会および日本認知科学会会員。(日本ロボット学会学生会員)



稲葉雅幸 (Masayuki Inaba)

1958年5月23日生。1981年3月東京大学工学部卒業。1986年3月同大学院工学系研究科情報工学専門課程修了。工学博士。同年4月東京大学講師。1989年同助教授。現在、機械情報工学科勤務。日本機械学会、情報処理学会、計測自動制御学会、人工知能学会各会員。(日本ロボット学会正会員)



松本吉央 (Yoshio Matsumoto)

1970年8月21日生。1993年東京大学工学部卒業。1995年同大学院修士課程修了。現在同博士課程在学中。ロボットビジョンの研究に従事。人工知能学会および電子情報通信学会学生会員。(日本ロボット学会学生会員)



井上博允 (Hirochika Inoue)

1942年生。1965年東京大学工学部卒業。1970年同大学院博士課程修了。工学博士。同年電子技術総合研究所入所。知能ロボットの研究開発に従事。1977年東京大学工学部機械工学科助教授。1984年教授。現在、機械情報工学科教授。ロボット全般、人工知能、情報システム工学の研究と教育に従事。(日本ロボット学会正会員)