

ユーザの注意推定に基づく搭乗型移動ロボットの 走行支援システム

足立 佳久*¹ 恒成 裕行*¹ 松本 吉央*¹ 小笠原 司*¹

Control Assistant System of Robotic Wheelchair Based on Estimation of User's Attention

Yoshihisa Adachi*¹ Hiroyuki Tsunenari*¹ Yoshio Matsumoto*¹ and Tsukasa Ogasawara*¹

Abstract – In this paper, we describe a robotic wheelchair system. To build a smart interface for a robotic wheelchair, it is important for the system to know the user's attention. This system can detect gaze direction of the user using a real-time stereo vision system, and can recognize its position within the surrounding environment using a range sensor and a map. Based on the detection of both the gaze direction and the position within the map, the robotic wheelchair can estimate the user's fixation, from which the position where the user is paying attention is estimated. We adopt an attention representation based on histogram. The frequency of fixation is represented by an "attention histogram". Experimental results indicate the validity of the control assistance to change the route of the autonomous run using the estimation of user's attention.

Keywords : Gaze measurement, Localization, Attention estimation, Human-robot interface

1. はじめに

近年、人々の日常生活をサポートするためのロボットの研究がますますさかんに行われている。その中に、移動手段として人々をサポートする搭乗型の移動ロボットの研究がある。この種のロボットが図書館や美術館、あるいはホームセンターなどの場所内において、ジョイスティック等の従来のインターフェースによる操作や、その操作に対する知識や訓練を必要とせず、搭乗者の意図を推測して行動し、目的地まで連れて行ってくれば非常に便利である。また、上記のような空間内に張りめぐらされたユビキタスアプリケーション群との連携により、利便性はさらに増すものと考えられる。

ユーザの操作に対する負担を軽減するための搭乗型移動ロボットに関する研究は大きく二つに分類される。まず一つ目は自律移動に関するものであり、エンコーダや超音波センサなどのセンサを用いることにより、自己位置の推定や、障害物の検出を行っている^{[1][2]}。これらのロボットは、特定のゴールまでのナビゲーションや障害物回避を自律的に行うことにより、ユーザの操作に対する負担を軽減している。しかし、上記のような場所では、当初の目的地までの走行中に、当初の目的以外に魅力的なもの、興味がそそられるものが多く存在している。例えば、図書館では探し物以外の別

ジャンルの本、美術館では別の展示物などがある。このときに、目的地までの自律移動機能だけでは、ユーザの興味の移り変わりを無視した状態で走行が行われることになる。一方、二つ目は簡便な操作のためのインターフェースに関するものであり、マルチモーダル情報が使用されている。例えば、操作コマンドを与えるために、音声情報^[3]や脳波^[4]を使用しているものがある。また、ユーザは曲りたい場合、曲りたい方を向くという自然な動作を利用し、カメラからの画像により検出された顔の向きを直接ロボットの動く方向に利用しているものがある^{[5][6]}。さらに、顔の向きに加え、視線方向の情報を利用し、ユーザが顔の向きによる操作に集中しているときには顔と視線の方向がほぼ一致することから、ユーザが周りを見渡しているときにロボットは速度を減少する走行制御を行っているものもある^[7]。上記の顔や視線情報を利用したインターフェースでは、ユーザの意図は反映されやすくなるものの、ユーザが曲りたい場所において、移動したい方向へ自分の顔をその都度向けなければならないという負担は軽減されていない。

我々の研究の目的は、人々の生活に密着した実用的な搭乗型移動ロボットの開発であるため、上記の両方の技術は必要である。移動という目的を達成するためにユーザは絶えず周りの環境に注意を払い、視覚情報を獲得しているため、顔情報、特に視線情報にはユーザの移動の意図を最も表出していると考えられる。そこで、目的地までの自律移動を行うロボットが「当初の目的

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

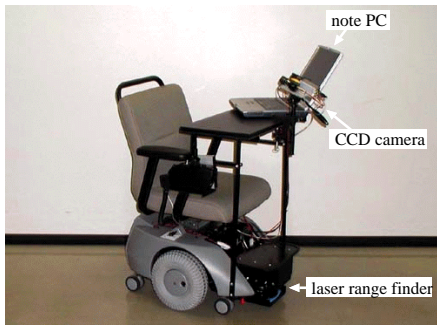


図1 システム外観
Fig.1 System overview.

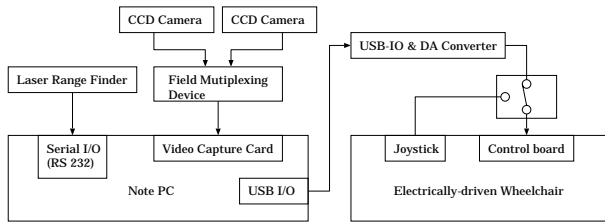


図2 ハードウェア構成
Fig.2 Hardware architecture of the control system.

と異なるユーザの意図」を読み取るために、ユーザの視線計測とロボットの自己位置推定を行うことで、移動中におけるユーザの注意の対象がどこにあるかを認識し、その結果に基づいてユーザの意図に沿った走行支援を行う。

本稿では、まず、ステレオカメラにより視線方向をリアルタイムに検出でき、距離センサと地図を用いて外部環境内における自己位置を検出できる搭乗型移動ロボットの走行支援システムについて述べる。次に、本システムのセンサからの観測結果よりユーザが見ている位置を検出し、それらの情報をもとにユーザの注意を推定する手法について述べる。そして、実験結果より、本システムによるユーザの注意の推定が有効であり、推定結果に基づいたロボットの走行制御によるユーザへの支援が可能であることを示す。

2. システム構成

ユーザの自然な動作から操作の意図を認識するために、我々は搭乗型移動ロボットの実験システムを開発している。図1に実験システムの外観を、図2にハードウェア構成を示す。本システムは、商用の電気車をノートPCで制御できるように改良しており、ユーザの顔情報をとらえる2つのCCDカメラと、外部環境を認識するためのレーザレンジファインダを備えている。

2.1 顔・視線計測システム

本システムは、ステレオビジョンを用いることで顔と視線の方向を検出することができ、非接触、受動的、

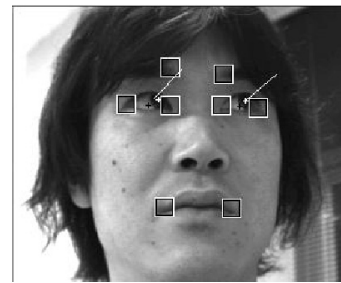


図3 顔・視線の計測結果
Fig.3 Result of face and gaze measurement.

リアルタイム、ロバスト、コンパクトという利点を持つ。ユーザに非接触であるため、センサの接触によりユーザへ負担を与えることなく、自然な動作を検出することができる。一定照明条件下の実験において、視線の検出精度として±3度が得られている[8]。図3に、計測結果の一例を示す。四角は視覚追跡するための顔の特徴の位置を示し、2つの直線は検出された視線方向を示している。

2.2 ロボットの自己位置推定

ロボットは、レーザレンジファインダと地図を用いて、自己位置と外部環境を認識する。ここで、地図は手動により作成されたもので、線分により構成されている。ロボットには地図内の初期位置を予め与えておく。ロボットは前方180度の範囲をレーザレンジファインダにより観測する。そして、地図における各角度に対する距離データを抽出する(図4)。この2つのデータのマッチングを行い、ロボットは現在の自己位置を推定する。マッチングには、Weissら[9]の提案するヒストグラムベースの手法に改良を加えた手法[10]を利用する。以下に、マッチングプロセスについて述べる。

1. 隣り合う角度毎のデータを線分で結び、その線分の角度をヒストグラムに投票していく。これを Angle-histogram という。観測されたデータと、地図から抽出されたデータについて、Angle-histogram を算出する。
2. 2つのデータの相関の高さに基づいて、角度の変

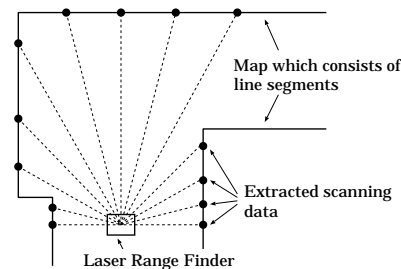


図4 地図からの距離データの抽出
Fig.4 Extracting a scanning data from the map.

化量 $d\theta$ を求める。

3. 観測されたデータを角度 $d\theta$ 分回転させる。
4. 回転後の観測データと地図から抽出されたデータに対して、 x, y 方向それぞれにヒストグラムを作成する。
5. 最も相関の高い dx, dy をそれぞれ求める。

このようにして得られた $dx, dy, d\theta$ を x, y 角度の移動量として、現在の自己位置を推定する。なお、本手法は長い廊下等の特徴の少ない環境には適しておらず、カメラやエンコーダなどの他のセンサとの組合せが必要となる。そのような環境を除いた条件下で、本マッチング手法を利用したシステムにおいて、自己位置推定精度 5.8cm が得られている^[11]。

2.3 ユーザの注意の推定

ユーザの視線方向と地図中におけるロボットの自己位置の検出結果に基づいて、図5のようにロボットはユーザの注視位置を計測することができる。つまり、ユーザが地図中のどの位置を注視しているか、そして、その位置をどれくらいの時間見ているかを知ることができる。なお、ここでは地図はレーザレンジファインダからの観測データと同様、ある高さにおける2次元データで構成されている。したがって、地図中の線分からの鉛直方向への平面を仮定し、ユーザの3次元の視線方向との交点を求め、その交点を3次元中の注視位置とした。そこで、計測された注視位置の時間変化に基づいて、ユーザの注視の度合(注視量)をヒストグラムを用いて表現する。このヒストグラムを“注視量ヒストグラム”と呼ぶことにする。注視量ヒストグラムの度数が高い位置ほど、ここでは、ユーザの“注意”がその位置に向けられているとする。

注視量ヒストグラムのパラメータは、以下の知識により定義する。

人間の視覚において高精度の範囲は中心窩の約2度である^[12]。図6の実線に、視角と視力の関係を示す。これに従い、地図上の各位置に対する注視量の大きさは、ユーザの視線方向にピークを持つ分布であるとし、注視量ヒストグラムに対して時刻毎にこの分布を追加していく。ここでは注視量ヒストグラムに加える分布として、正規分布を用いることにする。図6の点線に正規分布を示す。視線計測精度と自己位置推定精度を考慮して、ここでは標準偏差 σ を5度と設定した。

また、ユーザが注視していない位置に対する注意は低下していく。これを減衰率 α を用いて表現し、注視ヒストグラム全体の度数を時間的に減衰させていく。ここで使用する減衰率について述べる。人間の記憶において、感覚モダリティからの情報を短時間保持する記憶として、感覚記憶がある。視覚刺激に対する感覚記憶はアイコニック・メモリと呼ばれ、その持続時間

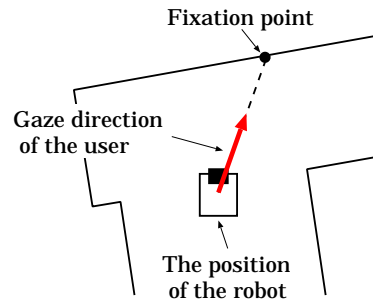


図5 ユーザの注視位置
Fig.5 Fixation point of the user.

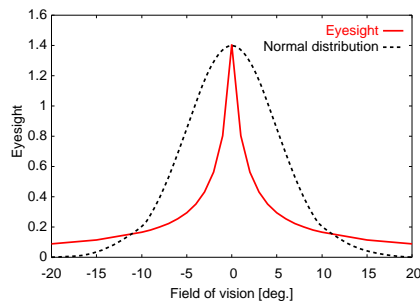


図6 注視量ヒストグラムに加える正規分布
Fig.6 Normal distribution to histogram.

は約500ms以内である^[13]。本実験システムにおける処理時間は1フレーム約210msである。したがって、アイコニック・メモリの持続時間500msが経過した3フレーム(約630ms)後に、注視量ヒストグラムの度数が10%以下に減衰するとした場合、 $\alpha \leq 0.5$ となる。よって、ここでは、 $\alpha=0.5$ に設定した。

各位置における注視量ヒストグラムの度数を式にまとめると以下ようになる。

$$w_i(t) = \alpha \cdot w_i(t - \Delta t) + g_i(t) \quad (1)$$

$$g_i(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{\phi_m^2 + \phi_n^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

- $w_i(t)$: 位置 i での時刻 t のヒストグラムの度数
- α : 注視量ヒストグラムの度数の減衰率
- ϕ_m : 位置 i と視線方向の角度差 (水平方向)
- ϕ_n : 位置 i と視線方向の角度差 (垂直方向)
- σ : 注視量として加える正規分布の標準偏差
- A : 定数

上記の式において、ユーザが同じ位置を注視し続けた場合を考えると、

$$\begin{aligned} w_i(t) &= \alpha \cdot w_i(t - \Delta t) + A \\ &= \alpha \cdot (\alpha \cdot w_i(t - 2\Delta t) + A) + A \\ &= (1 + \alpha + \alpha^2 + \dots + \alpha^n + \dots) \cdot A \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \alpha^{n+1}}{1 - \alpha} \cdot A = \frac{A}{1 - \alpha} \end{aligned} \quad (\text{ただし, } \alpha < 1)$$

つまり、注視量ヒストグラムの度数は、 $A/(1 - \alpha)$

に収束する．この収束値を 100% とし，いったん度数が 90% 以上になったときに，ユーザはその位置に対して“注意が向いている”と定義し，度数が 10% 以下に減衰した場合に，その位置に対する“注意がなくなった”と定義する．

ここで， $\alpha=0.5$ のとき，度数が収束値の 90% に到達するには，同じ位置を約 0.7s 注視し続けていることになる．一方，眼球運動の特性として，視線の急激な変化（サッカド）の後には約 150～400ms の停留時間があり，この間に視線の周辺の詳しい情報を得ている^[14]．したがって，0.7s 経過時にはサッカド後の停留時間を経過しており，その位置に対する注視が開始されているといえる．

図 7 に，注視量ヒストグラムの一例を示す．四角は地図中におけるロボットの位置を，矢印はユーザの視線方向を表している．注視量ヒストグラムは，地図の線分上の 5cm 間隔の各位置から，鉛直方向に 5cm 間隔で設定された 3 次元空間中の位置に対して度数を与えることにする．なお，地図の線分上の各位置において，その鉛直方向内の最大度数を抽出することにより，3 次元位置での度数の情報を 2 次元の地図上に表している．

3. 実験結果

3.1 ユーザの注意推定の検証実験

前章の注視量ヒストグラムを用いたユーザの注意推定の検証実験を行った．ここでは，ユーザはロボットに乗り，ジョイスティックによって操作して走行することにする．図 8 に，実験環境内におけるスタート，ゴール，壁に貼られているポスターの位置，および走行経路を示している．ユーザとして被験者 3 人 (A,B,C: 本研究に関係していない学生，すべて男子) に対して，スタートからゴールまでの大まかなルートを指定し，その中で以下の 2 通りの条件で走行してもらった．

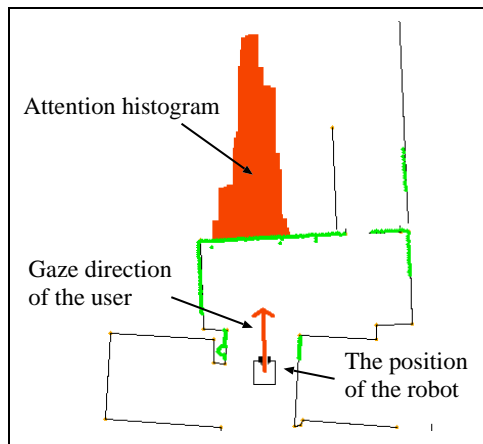


図 7 注視量ヒストグラム
Fig. 7 The Attention histogram.

(1) スタートからゴールまでの途中に，壁に貼られているポスターに近付いて，それに注目した後にゴールへ向かうように走行してもらう．

(2) 何かに対して注目するという指示を特に与えず，スタートからゴールへ向かって走行してもらう．

これら (1)(2) の 2 通りの走行を 1 セットとし，一人につき 3 セットずつ実施してデータを取得した．

まず，走行 (1)：ユーザがポスターに注意を払っている場合の一結果 (被験者 A の結果) を示す．図 9 に，ポスター (大きさ：縦 60cm × 横 110cm) の座標範囲内における注視量ヒストグラムの最大度数をプロットし，注意が推定された時間帯 (最大度数が一度 90% 以上になってから次に 10% 以下となるまでの時間帯) にフラグを立てた．このときのロボットの走行した軌跡と，フラグが立っている時間帯でのロボットの位置を図 10(a) に示す．これらより，ロボットがポスターに近付いていく段階で，ポスターに対する注視量が高くなり，ユーザの注意が検出されていることがわかる．また，走行 (1) における被験者 B の一結果と被験者 C の一結果として，図 10 (b)(c) にロボットの走行した軌跡とフラグが立っている時間帯の位置を示す．いずれも，ロボットがポスターに近付いた段階で，ポスターに対する注視量が高くなったためフラグが立ち，ユーザの注意が検出されていることがわかる．この傾向は走行 (1) のいずれの試行にも表れた．

次に，走行 (2)：ユーザが特にポスターに対して注意を払っていない場合の一結果 (被験者 A の結果) を示す．図 11 に，ポスターの座標範囲内における注視量ヒストグラムの最大度数をプロットし，注意が推定された時間帯にフラグを立てた．このときのロボットの走行した軌跡と，フラグが立っている時間帯でのロボットの位置を図 12(a) に示す．ユーザは特にポスターに対して注意を払っていないにもかかわらず，注意が推定されている時間帯が存在していることがわかる．これは，ポスターがロボットの進行方向に存在するため

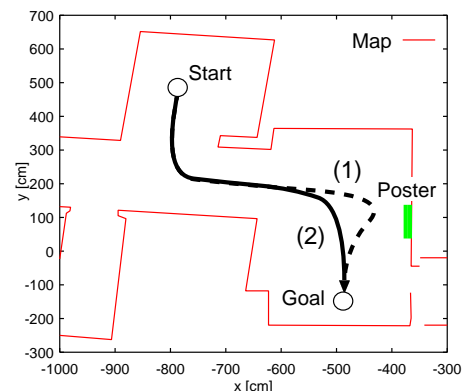


図 8 ロボットの走行経路
Fig. 8 The route in the experiments.

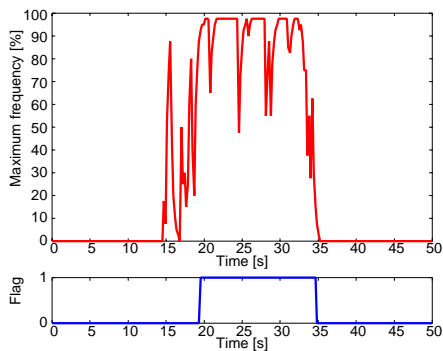


図 9 推定注視量 (ポスターを注視している場合: 被験者 A)

Fig. 9 Estimated attention (Paying attention to the poster: Subject A).

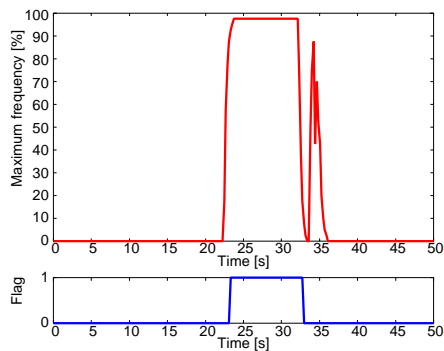
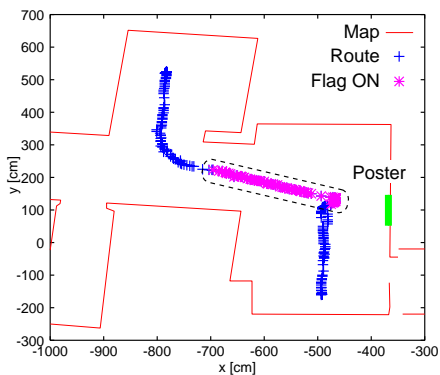
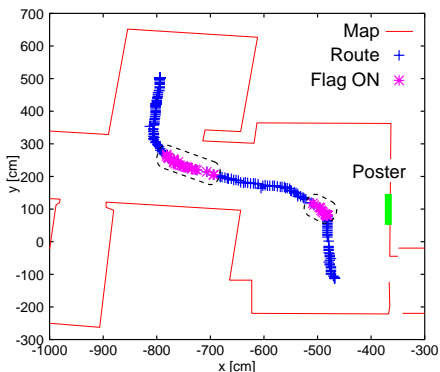


図 11 推定注視量 (注視していない場合: 被験者 A)

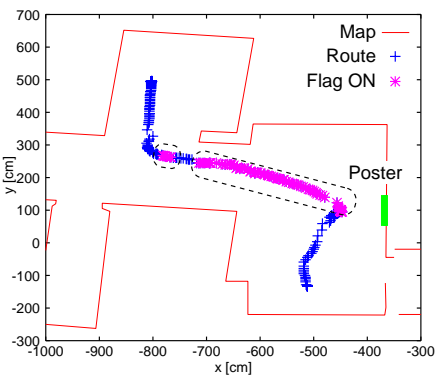
Fig. 11 Estimated attention (Not paying attention to the poster: Subject A).



(a) Subject A



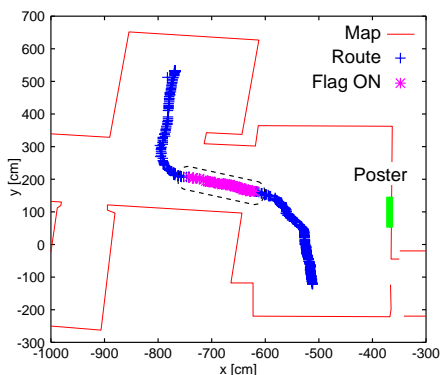
(b) Subject B



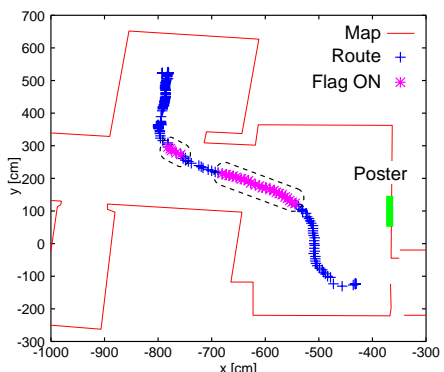
(c) Subject C

図 10 走行の軌跡 (ポスターを注視している場合)

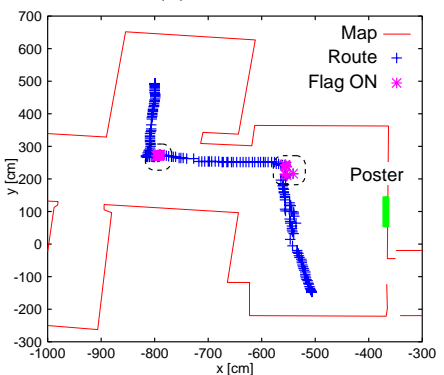
Fig. 10 The route of run (Paying attention to the poster).



(a) Subject A



(b) Subject B



(c) Subject C

図 12 走行の軌跡 (注視していない場合)

Fig. 12 The route of run (Not paying attention to the poster).

に、ポスターに対する注視量が高く検出されたためと考えられる。走行(2)における被験者Bの一結果：図12(b)においても同じ傾向が見られる。また、走行(2)における被験者Cの一結果：図12(c)においては、ロボットが曲がり角を曲がる際に回転方向にポスターが存在するために、ポスターに対する注視量が高く検出されたと考えられる。しかし、いずれの結果もポスターの前を通過するときには、ユーザの注意が検出されていないことがわかる。この傾向は走行(2)のいずれの試行にも表れた。これらの実験結果より、以下のことが分かった。

- ユーザがある対象に注意を払っている場合、ロボットがその対象に近付いた段階でそれに対する注視量が高く検出され、その対象に対するユーザの注意を推定することができる。
- ユーザが特に何かに対して注意を払っていない場合でも、ロボットの進行方向や回転方向に存在するものに対して注視量が高く検出されてしまうことがあるが、その対象の近くを通過するときには、ユーザの注意が推定されていない。よって、ロボットの移動方向および位置と、対象の位置との関係を利用することで、その対象に対するユーザの注意の有無を推定することができる。

3.2 ユーザの注意推定を用いた走行支援

3.2.1 注意対象が1つの場合

検証実験の結果に基づいて、ユーザの注意推定を用いた走行支援システムを構築した。ここでは、ロボットが定められた経路を自律走行している途中に、搭乗しているユーザの注意を検出した場合、走行経路を変更し、注意の対象に近付き停止するという支援を行う。図13のように、検証実験と同じ環境内にノードを設定し、スタート ノード1 ノード2 ゴールの順番にロボットは自律走行を行う。したがって、ユーザは手動による操作を全く行わない。しかし、ノード2からゴールへの移動時、つまり、ロボットの進行方向がポスターの方向と異なり、かつ、ポスターに近い位置を走行しているときに、注視量に基づいてポスターに対する注意が推定された(最大度数が一度90%以上になった)場合は、ロボットはユーザが自律走行の経路に沿った移動ではなく、ポスターをよく見たいという意図を持っていると推定し、ノード3への移動を行う。ノード3に到達したら、ユーザが注視をやめるまでその場で停止する。そして、ユーザがポスターへ注意を向けるのをやめたことが推定された(度数が10%以下になった)場合、再びゴールに向かって移動を行うようにした。

被験者3人(前述のA,B,C)に対して、検証実験と同様、(1) 走行途中にポスターに注目してもらう場合と、

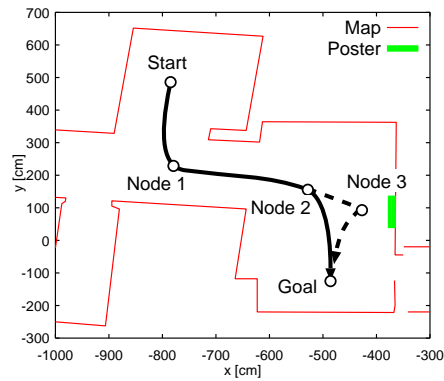


図13 走行経路上のノード設定

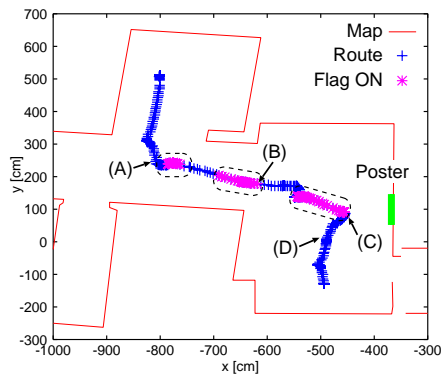
Fig.13 The positions of the nodes in the route.

(2) 何かに注目するという指示を特に与えていない場合の2通りの自律走行をそれぞれ3セットずつ実施した。なお、被験者には「ポスターに注目した場合、ロボットは自律的にそれを検出し、ポスターに近づく動作を行う」という知識を与えることで、走行経路が途中で変更されることに対する不安を取り除いておく。図14(a)(b)に、ポスターへの注視の有無による自律走行結果の一例として、ロボットの走行の軌跡と注意推定のフラグが立っている時間帯の位置を示す。図14(a)では、ノード2を通過後にポスターへの注意が検出され、ノード3への走行ルートの変更が行われたことを示している。このときの自律走行の様子を図15の左列に示し、検出されたユーザの視線方向、ロボットの自己位置、および注視量ヒストグラムを図15の右列に示す。図14(a)内の位置(A)~(D)が図15の(A)~(D)に対応している。一方、図14(b)では、ノード1からノード2の間で、フラグが立っている時間帯があるものの、これはロボットの進行方向にポスターが存在するために検出されたものであり走行には影響せず、ノード2を通過後には注意が検出されなかったため、ノード3への走行経路の変更は行われず、そのままゴールまで走行したことを示している。いずれの被験者の試行においても同様の結果が得られた。

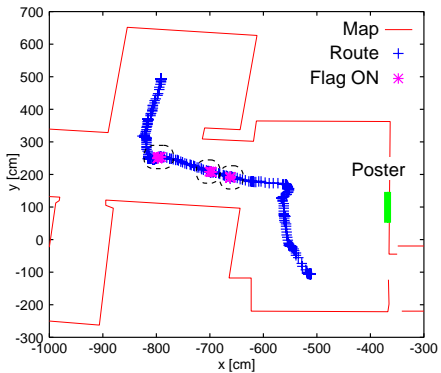
以上の結果より、ユーザはポスターをよく見たいと思って注目することで、本システムがその意図を推定し、それに沿った走行制御を行うことが示すことができた。

3.2.2 注意対象が複数存在する場合

より一般に近い環境で本システムの有効性を確認するため、注意対象を複数設定した環境において自律走行実験を行った。実験環境内に図16のようにノードを設定して、ロボットはスタート ノード1 ノード2 ノード3 ゴールの順番に自律走行を行う。このとき、ノード1からノード2へ走行する間、2つのメールアドレスのいずれかに、また、ノード2からノード



(a) With user's attention



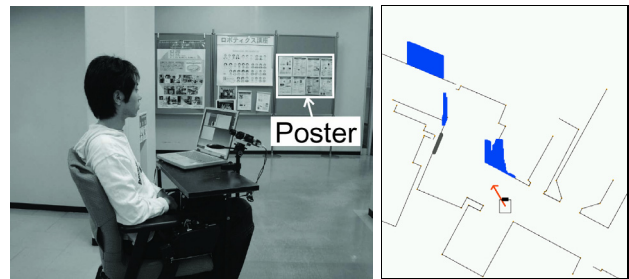
(b) Without user's attention

図 14 注視の有無による自律走行 (被験者 A)

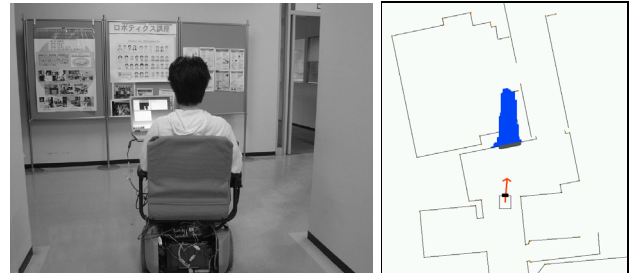
Fig. 14 The routes of autonomous runs with/without user's attention: Subject A.

3へ走行する間、2つの掲示板的いずれかにユーザが注意を払っていることが推定された場合、その対象を近くで見るために、対象の近くに設定されたノードに向けて走行経路を変更できるようにした。なお、ユーザが対象に注意を向けるのをやめた場合、既定の経路に向かって走行する。

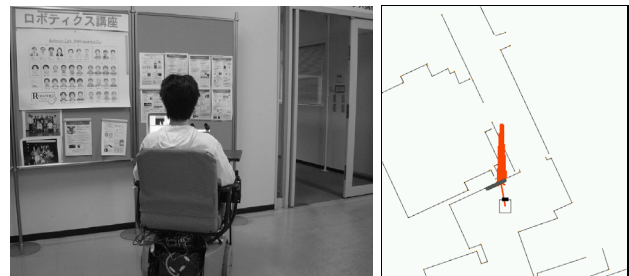
ユーザとして被験者3人(D,E,F: 本研究に関係していない学生、すべて男子)に対して、自律走行実験を実施した。なお、被験者には、スタートからゴールまでの走行経路と、走行経路中に存在する4つの対象(2つのメールアドレスと2つ掲示板)に注目した場合、ロボットは注意を推定し、その対象に近付いていくことを知識として与えておき、走行中に4つの中から注目する対象を任意に選択するように指示を与えた。それぞれの自律走行の軌跡を図17(a)(b)(c)に示す。図17(a)での自律走行の様子を図18の左列に示し、検出されたユーザの視線方向、ロボットの自己位置、および注視量ヒストグラムを図18の右列に示す。図17(a)内の位置(A)~(D)が図18の(A)~(D)に対応している。走行実験後、被験者Dはメールアドレス1のみに、被験者Eはメールアドレス1と掲示板2に、被験者Fはメールアドレス2と掲示板2に注目していたことを確認し、本システムの有効性を確認する



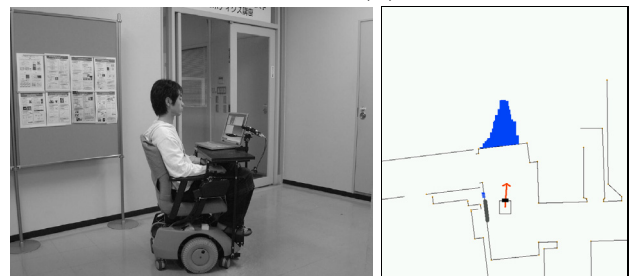
Position (A)



Position (B)



Position (C)



Position (D)

図 15 ポスター注視時の自律走行の様子

Fig. 15 The snapshots of autonomous run with user's attention.

ことができた。

以上の結果より、注意対象が複数設定された環境においても、本システムはユーザが注目している対象を他の対象から識別し、ユーザの注意に沿った走行制御を行うことを示すことができた。

4. まとめ

本稿では、ステレオカメラにより視線方向をリアルタイムに検出でき、距離センサと地図を用いて外部環境内における自己位置を検出できる搭乗型移動ロボットの走行支援システムについて述べた。本システムは、センサからの観測結果よりユーザが見ている位置を検出することができ、それらの情報をもとにユーザの注

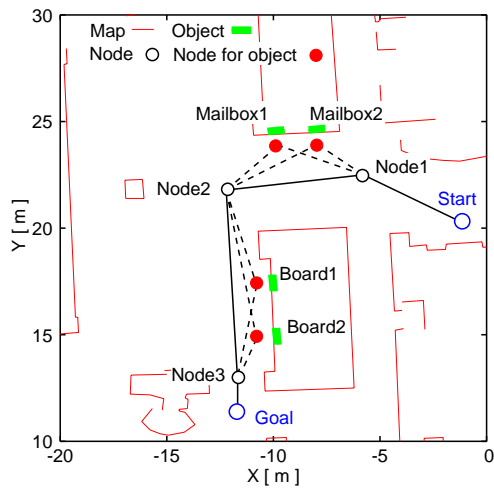


図 16 注意対象が複数存在する環境の自律走行経路

Fig.16 The route of autonomous run with objects to pay attention.

意を推定することができる。実験結果より、本システムによるユーザの注意の推定が有効であり、推定結果に基づいたロボットの走行制御によるユーザへの支援が可能であることを示した。

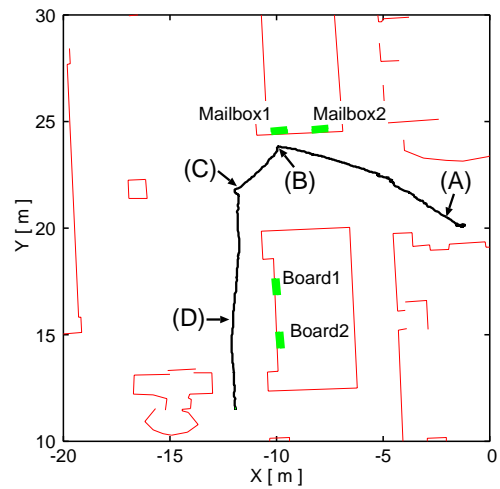
本実験では、注意対象の位置を地図内に予め与えていたが、今後は、ユーザの注意の対象になりそうなさまざまなものに対してセンサを取り付け、環境内のセンサ群の位置検出と、それらに対するユーザの注意の検出を組み合わせることで、注意対象の設定が容易になると考える。また、システムがユーザに対して注意推定の結果を音声等でフィードバックするなど、ユーザとのインタラクション機能を付加することで、推定と確認の両方を行うことができ、ユーザに安心感を与え、より有用な走行支援が行えると考えられる。

また、今回はユーザの注意の対象に対して近付くという走行支援を行ったが、例えば、障害物にユーザの注意が向いている場合はロボットはそれを回避し、人が注意の対象である場合は協調した動作を行うというように、ユーザの注意の対象に応じた走行制御について検討を行っていく予定である。

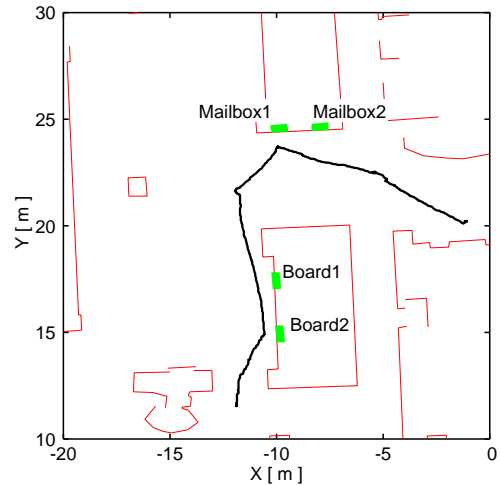
なお本研究は、21世紀COEプログラム「ユビキタス統合メディアコンピューティング」の支援を受けた。

参考文献

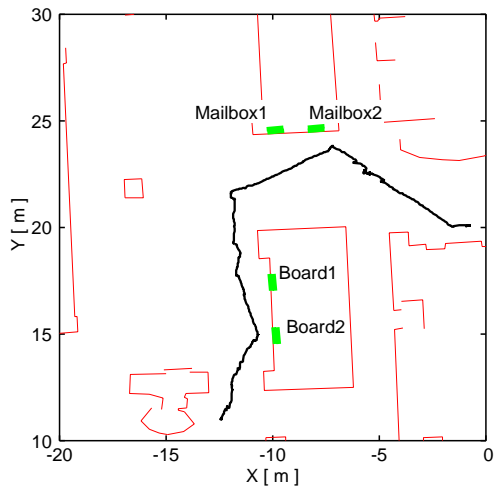
- [1] Miller, D.P. and Slack, M.G.: Design and testing of a low-cost robotic wheelchair prototype, *Autonomous Robotics*, Vol. 2, pp. 77-88 (1995).
- [2] Prassler, E., Scholz, J. and Fiorini, P.: Maid: A robotic wheelchair roaming in a railway station, *International Conference on Field and Service Robotics*, pp. 31-36 (1999).
- [3] Katevas, N., Sgouros, N., Tzafestas, S., Papakonstantinou, G., Beattie, P., Bishop, J., Tsanakas, P. and Koutsouris, D.: The autonomous mobile robot



(a) Subject D



(b) Subject E



(c) Subject F

図 17 自律走行の結果

Fig.17 The results of autonomous runs.

SENARIO: a sensor-aided intelligent navigation system for powered wheelchairs, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 4, No. 4, pp. 60-70 (1997).

- [4] Tanaka, K., Matsunaga, K., Kanamori, N., Hori, S and Wang, H.O: Electroencephalogram-based control of a mobile robot, *Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelli-*

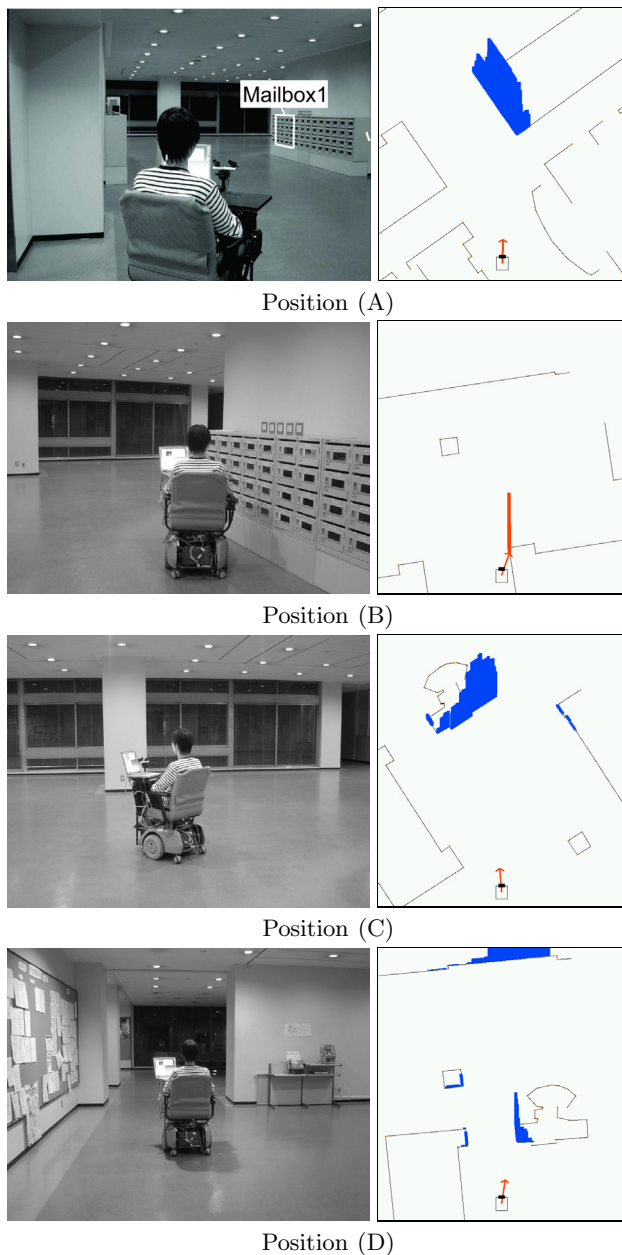


図 18 自律走行の様子

Fig. 18 The snapshots of autonomous run.

gence in Robotics and Automation, pp. 688-693 (2003).

- [5] 足立佳久, 中西 知, 島田伸敬, 久野義徳, 白井良明: 顔の視覚情報処理を用いた知的車椅子, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 423-431 (1999).
- [6] Bergasa, L.M., Mazo, M., Gradel, A., Sotelo, M.A. and Garcia, J.C.: Guidance of a Wheelchair for Handicapped People by Head Movements, International Conference on Field and Service Robotics, pp. 150-155 (1999).
- [7] Matsumoto, Y., Ino, T. and Ogasawara, T.: Development of Intelligent Wheelchair System with Face and Gaze Based Interface, Proceedings of 10th IEEE/RSJ International Workshop on Robot and Human Communication, pp. 262-267 (2001).
- [8] Matsumoto, Y., Ogasawara, T. and Zelinsky, A.: Behavior Recognition Based on Head Pose and Gaze Direction Measurement, Proceedings

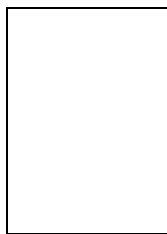
of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2127-2132 (2000).

- [9] Weiss, G., Wetzler, C. and Puttkamer, E.V.: Keeping Track of Position and Orientation of Moving Indoor Systems by Correlation of Range-Finder Scans, Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 595-601 (1994).
- [10] Adachi, Y., Goto, K., Matsumoto, Y. and Ogasawara, T.: Development of Control Assistant System for Robotic Wheelchair - Estimation of User's Behavior based on Measurements of Gaze and Environment -, Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (2003).
- [11] Adachi, Y., Saito, H., Matsumoto, Y. and Ogasawara, T.: Memory-Based Navigation using Data Sequence of Laser Range Finder, Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (2003).
- [12] 三浦利章: 行動と視覚的注意, 風間書房 (1996).
- [13] 高野陽太郎 編: 認知心理学 2 記憶, 東京大学出版会 (1995).
- [14] 甘利俊一, 外山敬介 編集: 脳科学大事典, 朝倉書店 (2000).

(2004年1月30日受付, 5月6日再受付)

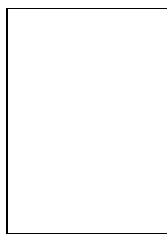
著者紹介

足立 佳久 (正会員)



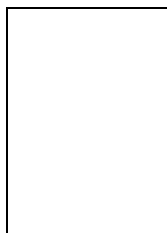
1998年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年, シャープ株式会社入社, 2001年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程入学, 2004年同研究指導認定退学。画像を用いたヒューマンインタフェース, 移動ロボットの研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 日本ロボット学会各会員。

恒成 裕行



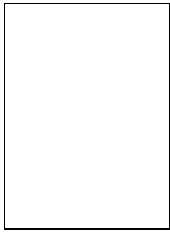
2001年鳥取大学工学部機械工学科卒業。2004年奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。同年, (株)トキメック入社。在学中, 移動ロボットの研究に従事。

松本 吉央



1998年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年オーストラリア国立大学研究員。1999年奈良先端科学技術大学院大学助手, 2002年同助教授となり現在に至る。ロボットビジョン, ヒューマンインタフェースの研究に従事。工学博士。日本ロボット学会, 電子情報通信学会各会員

小笠原 司



1983年東京大学大学院工学研究科博士課程修了．同年通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所．1993～1994年ドイツ・カールスルーエ大学客員研究員．1998年奈良先端科学技術大学院大学教授となり現在に至る．知能ロボットの研究に従事．工学博士．日本ロボット学会，情報処理学会などの会員