

仮想目標と実目標の融合制御

The fusion control of the imaginary goal and the actual one

○鈴木正義*, 渡部慶二*

○Masayoshi Suzuki*, Keiji Watanabe*

*山形大学工学部

*Faculty of engineering, Yamagata University

キーワード： 移動ロボット (mobile robot), 仮想目標 (imaginary goal), 経路制御 (routing control)

連絡先： 〒992-0038 米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 電子情報工学専攻 渡部研究室
鈴木正義, Tel.: (0238)26-3326, Fax.: (0238)24-2752, E-mail: suzuki@ewata.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

疾病・受傷により身体の一部もしくは大部分の機能を失った人々が再び自立意欲を持って生活するためには、それぞれの状況と環境に応じて、介護機器・住宅設備の整備、改善が必要といわれている。これに加えて、昨今における高齢化率の著しい増加により、介護を要する障害を持つ高齢者が増え、社会福祉に対する社会の受け止め方は大きく変化し、障害者・高齢者への種々の支援が求められるようになってきている。

障害者・高齢者に対する工学・技術からの支援の根底にある考え方は、一般的な健常者の身体機能を社会生活に必要な身体機能レベルとみなし、これに達しない障害者・高齢者の身体機能レベルを福祉用具で補おうというものである。これに対して、段差をなくす、両手で操作が必要な機器を片手でも操作可能とするといった社会的インフラ（住居・職場・公共の場等）のアクセシブル化が検討され、可能な範囲で実行されまた効果もあげて

いる。しかしながら、現実的には限界が生じ、福祉用具の開発・改善は急がれている。

そこで、歩くという人間の基本的な機能に欠陥をもつ人々を補助するための重要な移動手段として利用されてきた車椅子に着目してみた。現在、より安全で快適に使用できる知能化された電動車椅子の研究が盛んになされているが、障害者・高齢者にとってより使いやすいものにするためには、自立性だけでなく利用者と電動車椅子の間に操作力を要しない意思伝達が必要であると考えられる。以上のことから、本研究では、ヒューマンインターフェースを重視した信頼感もてる意図伝達システムについて検討することを目的とする。

2. システム構成

本研究では、周囲の環境を認識して障害物などには自立的に対応し、また、利用者の非言語的行動を常に観察することにより、その行動の中に含まれる人間が何をしたいのかという意図を認識

し、その要求に基づいた行動をとることで人間の操作を支援してくれるような知的車椅子の実現を目指すが、今回は意図伝達に重点を置いて話を進めていく。

このようなシステムを構成する際に大きな問題になるのが、移動ロボット（以下、電動車椅子を移動ロボットとする）の誘導法である。これまでの誘導法には、ランドマークや地図情報を持たせたものが多く、画像の比較・対応づけ（マッチング）を行うことで位置の認識を行っている。しかし、画像データの情報量が多いため、大量のシーンを記憶することが困難で、また、シーンのマッチングの計算コストが大きく、リアルタイム制御システム特有の致命的な問題へと発展しかねない。さらに、環境の変化への適応力にも欠け、自然な経路教示とは言えない。そこで、利用者に特別な知識を要せず、しかもその場その場で視覚情報を通じた経路教示が可能となるように、仮想目標（仮想空間内で指示された点）を導入することを提案する。

その構成図を Fig.1 に示す。Fig.1 で利用者視点カメラで車椅子の前方を撮りモニタに映し出す。利用者は意図伝達のためにマウスを操作し、モニ

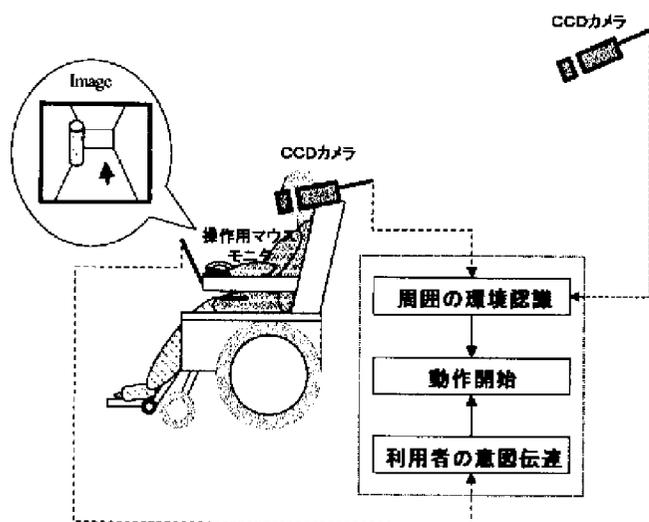


Fig. 1 システム構成図

タ画面上の点を示すことで意図を伝える (Fig.2)。

ロボットが移動中に視覚情報を用いてポイント状の目標にビジュアルフィードバックを用いて追従させる。また実時間処理を行うという観点から、実目標は床面上にあるものとする。

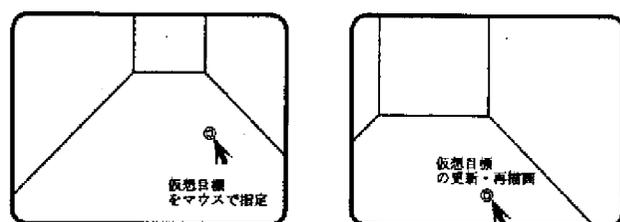


Fig. 2 モニタ画面上の画像

利用者視点カメラで周囲の環境を認識し目標地点まで移動させる。このとき、最初に示された目標地点に向かって移動しているかどうかを利用者にフィードバックするためモニタ画面には目標地点が常時更新され映し出されている。なお、移動ロボットの位置は移動ロボット位置認識カメラを使って伝えるものとする。

3. 仮想目標と実目標の融合

3.1 システムのモデル化

このようなシステムを実現するために、Fig.3 のようにモデル化した。仮想世界における絶対的な位置・方向を表す位置認識カメラ座標系、利用者視点の位置・方向を表す利用者座標系、これに加えて、利用者が提示する仮想目標を生成する仮想世界座標系を用いる。

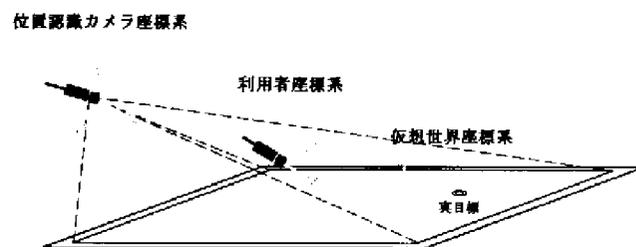


Fig. 3 システムの座標系

利用者がモニタ上で示した点を仮想世界座標

系の仮想目標とする。これを利用者座標系に変換する。さらに位置認識カメラ座標系に変換し、仮想目標を実目標として固定する。移動に伴う利用者座標系と仮想目標座標系の関係を位置認識カメラ座標系から逆算し、モニタに仮想目標を映し出し目標地点に追従していく様子を確認する。

3.2 座標変換

ここでは、座標変換を用いた仮想目標と実目標の融合法について述べる。そのために、さきほどモデル化したシステムを透視変換しFig.4のような座標系対の連動を考える。これにより、位置認識カメラ座標系に対する利用者視点の変化がそのまま位置認識カメラ視点の位置・方向の変化に反映されることになり、位置認識カメラの視点により直接制御することが可能になる。

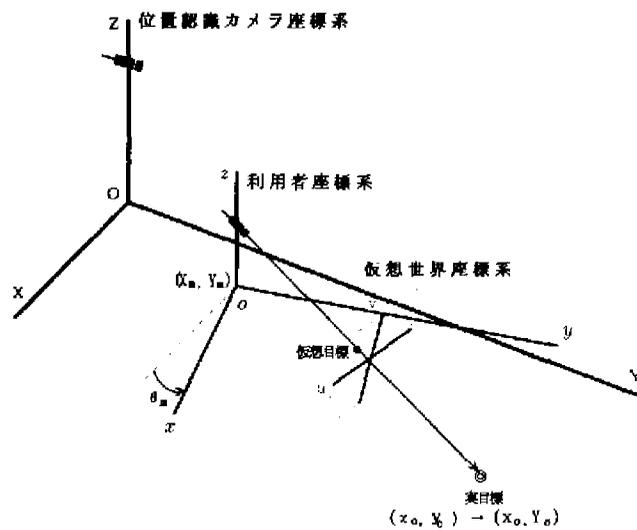


Fig. 4 座標系対の連動

位置認識カメラ座標系・利用者座標系は、それぞれのカメラの真下を原点とし、カメラ視線の進行方向をy軸とする。

これをもとに、仮想目標が示されてから、位置認識カメラ座標系の実目標に変換し、更新された移動ロボットの位・姿勢から仮想目標へと逆変化するまでの過程をみていく。

そこでまず最初に、Fig.4の利用者視点座標系

に注目する。Fig.5(a)は移動ロボットがCCDカメラから取り込んだ画像で、◎印は利用者によって指し示された仮想目標の利用者座標系における点である。とする。また、 l は画像のボトムラインと仮想目標との偏差、 d は画像のセンターラインと仮想目標との偏差を意味する。またFig.5(c)は移動ロボットと利用者座標系における仮想目標の対応点を横と上から見た図を示し、2次元に単純化されたものである。これにより、利用者座標系における仮想目標の座標 (x_0, y_0, z_0) は次のように計算できる。

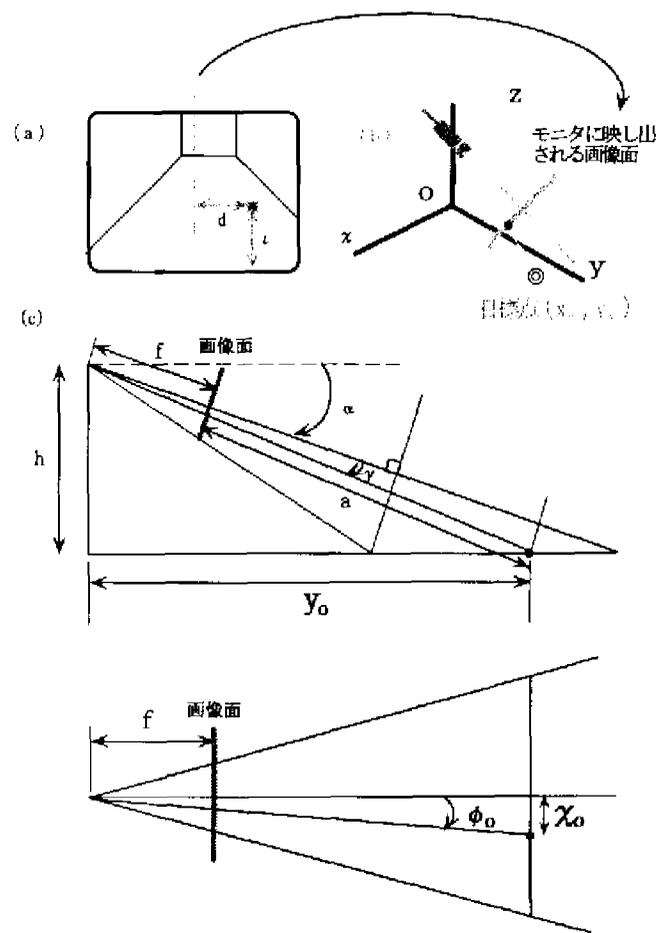


Fig. 5 仮想目標の利用者座標系への変換

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{l}{f} \right) \quad (1)$$

$$d = \frac{f}{f + a \cdot \cos \gamma} \cdot x_0 \quad (2)$$

$$\sin(\alpha + \gamma) = \frac{h \cdot \cos \gamma}{f + a \cdot \cos \gamma} \quad (3)$$

より

$$x_o = \frac{h \cdot \cos \gamma}{f \cdot \sin(\alpha + \gamma)} \cdot d \quad (4)$$

$$y_o = h \cdot \cot(\alpha + \gamma) \quad (5)$$

$$z_o = 0 \quad (6)$$

$$\phi_o = \tan^{-1} \left\{ \frac{d \cdot \cos \gamma}{f \cdot \cos(\alpha + \gamma)} \right\} \quad (7)$$

ただし、

α : カメラの傾斜角

f : 焦点距離

h : 利用者視点カメラの床面からの高さ

a : 焦点から仮想目標地点までの距離

x_o : 移動ロボットの進行方向成分と目標点との距離

y_o : 移動ロボットから目標点までの進行方向成分の距離

ϕ_o : 移動ロボットの進行方向と目標点とがなす角とする。

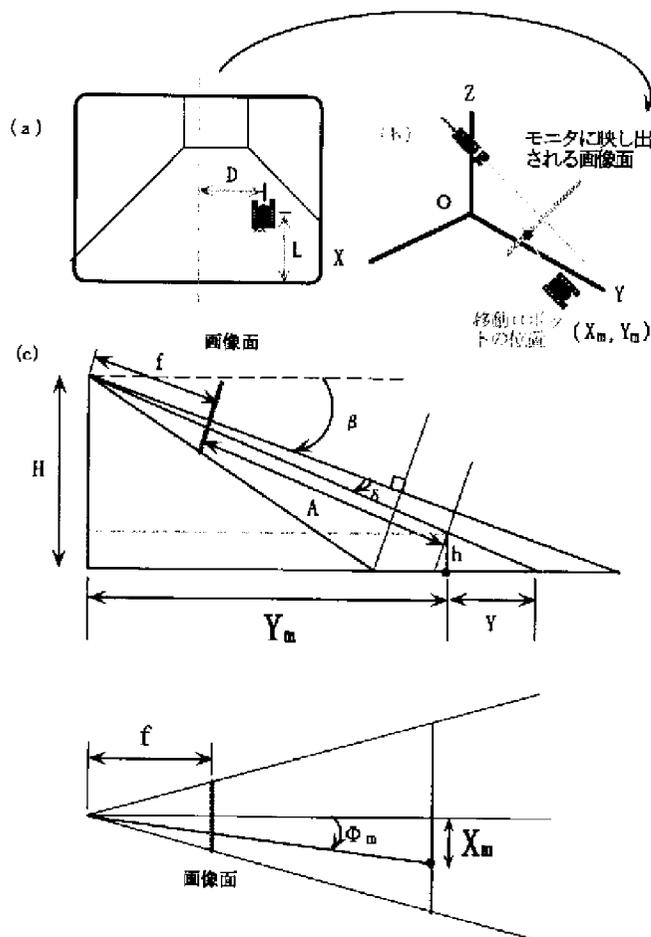


Fig. 6 移動ロボットの位置認識座標系への交換

同様に、Fig.4の位置認識カメラ座標系に注目すると、Fig.6により、位置認識カメラ座標系における移動ロボットの位置 (X_m, Y_m) が計算できる。

$$Y = \frac{h}{H-h} \cdot Y_m \quad (8)$$

$$Y_m + Y = H \cdot \cos(\beta + \delta) \quad (9)$$

$$D = \frac{f}{f + A \cdot \cos \delta} \cdot X_m \quad (10)$$

$$\sin(\beta + \delta) = \frac{(H-h) \cdot \cos \delta}{f + A \cdot \cos \delta} \quad (11)$$

より

$$X_m = \frac{(H-h) \cdot \cos \delta}{f \cdot \sin(\beta + \delta)} \cdot D \quad (12)$$

$$Y_m = (H-h) \cdot \cot(\beta + \delta) \quad (13)$$

$$Z_m = 0 \quad (14)$$

ただし、

β : カメラの傾斜角

H : 位置認識カメラの床面からの高さ

A : 焦点から移動ロボットまでの距離とする。

次に、さきほど求めた利用者座標系における仮想目標の座標 (x_o, y_o, z_o) を位置認識カメラ座標系へと変換する。これが実目標 (X_o, Y_o, Z_o) となり、座標系対の連動の基準ともなる点である。

Fig.7に示すように、位置認識カメラ座標系からみた移動ロボットの原点座標 (X_m, Y_m) と回転角 θ_m から、回転と平行移動の変換行列を用いて以下のように求めることができる。

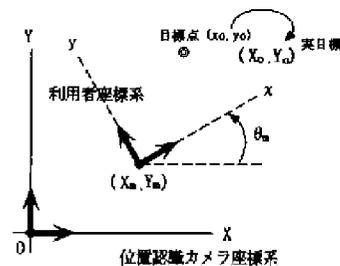


Fig. 7 移動ロボットの位置姿勢

$$\begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_m & \sin \theta_m & 0 \\ -\sin \theta_m & \cos \theta_m & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} \quad (15)$$

最後に、移動ロボットの移動に伴い変化する仮想目標の座標を求める。これは、移動後の位置認識カメラ座標系における移動ロボットの座標 (X_m', Y_m') および傾き θ_m' 、固定された実目標の座標 (X_o, Y_o) より、式 (15) の逆の手順で利用者座標系における仮想目標の対応点 (x_o', y_o') を求め、さらに仮想世界座標系上への点 (px, py) へと逆変換する。

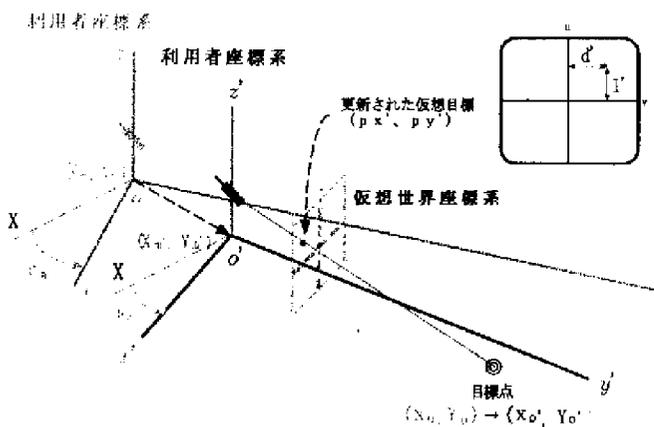


Fig. 8 仮想目標の逆変換

$$\begin{bmatrix} x_o' \\ y_o' \\ z_o' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_m' & \sin \theta_m' & 0 \\ -\sin \theta_m' & \cos \theta_m' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_o - X_m' \\ Y_o - Y_m' \\ Z_o - Z_m' \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$d' = \frac{\sin(\alpha + \gamma')}{h \cdot \cos \gamma'} \cdot x_o' \quad (17)$$

$$l' = f \cdot \tan \gamma' \quad (18)$$

ただし

$$\gamma' = \tan^{-1} \left(\frac{h}{y_o'} \right) - \alpha \quad (19)$$

4. 利用者座標系の制御

利用者座標系を目標座標系に一致させる制御を簡単に述べる。まず、利用する基本動作としては、

- 1) 回転 (その場で画像方向を向く)
- 2) 直進 (画像の方向に進む)

を用意し、これらの動作の繰り返しにより、室内の移動を行う。ロボットが直進している場合でも

進行方向の同定を行い、走行スピードは一定とする。制御信号はパルス的に入力することとし、目標地点までのずれが大きいときには、入力信号を長時間もしくは複数回、ずれが小さいときは単位パルスを入力し目標地点に追従させる。制御アルゴリズムをまとめると次のようになる。

- 1) マウスで示された仮想目標 (px, py) より、 d を利用者座標系の x_0 に l を y_0 に変換したのち ϕ を逆算し、モニタ上の目標地点が中心にくるように移動ロボットをその場で回転させる。
- 2) 上で求めた y_0 より、目標地点が中心下部にくるように前進する。
- 3) 移動ロボットの前進に伴い、仮想目標を更新・再描画する。
- 4) 位置認識カメラにより、常時移動ロボットの位置・姿勢を監視し、それをもとに定期的に軌道修正を行う。

以上より、利用者視点と位置認識カメラ視点を連動させることにより、移動ロボットの位置・姿勢を認識することができ、制御可能となることを確かめる。

5. おわりに

本稿では、移動ロボットの誘導法に仮想目標を利用することで、視覚情報を媒体とした意図伝達がある場その場で自然に行えるようなシステムを提案した。

今後は制御プログラムを作成し、その信頼性を確かめる。また、操作力軽減をにらんだインターフェースの改良・改善、安全性・自立性に関する機能の統合・開発も進める。

参考文献

- 1) 柴田 智宏, 松本 吉央, 稲葉 雅幸, 井上 博允: 「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」, 日本ロボット学会誌, vol.14, No.8, pp55-64, Nov.1996
- 2) 久保田 孝, 橋本 秀紀, 原島 文雄: 「視覚センサとレンジセンサの強調による移動ロボットのナビゲーション」, 日本ロボット学会誌, vol.17, No4., pp11-18, Aug.1989
- 3) 若松 清司, 田村 浩一郎: 「ロボットの制御」, 計測自動制御学会
- 4) 高木 幹雄, 下田 陽久: 「画像解析ハンドブック」, 東京大学出版会