

大域情報と局所情報の統合による 電動車椅子の知的制御

Intelligent control of the robotic wheelchair by the integration
of global area information and local area information

○大石 行彦¹⁾ 羅 志偉³⁾ 渡部 慶二²⁾³⁾ 村松 鋭一²⁾³⁾ 遠藤 茂²⁾
Yukihiko Ooishi¹⁾ Zhi-wei Luo³⁾ Keiji Watanabe²⁾³⁾ Sigeru Endou²⁾

¹⁾山形大学 大学院 理工学研究科 ²⁾山形大学 工学部 ³⁾理化学研究所
¹⁾²⁾Yamagata University ³⁾Riken

Key word : ベクトル場 (Vector field)、電動車椅子 (Robotic wheelchair)
知的制御 (Intelligent control)

連絡先 : 〒992-0037 米沢市 城南 4-3-16
山形大学 工学部 応用生命システム工学科 渡部研究室 大石行彦
TEL0238-21-5700 E-mail tr367@dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

近年、高齢化が進み医療・福祉の問題が深刻となっており、工学的分野からの支援として様々な福祉、医療器具の開発が行われている。本研究では数ある福祉、医療器具の中から、「歩く」という人間の最も基本的能力の一つをサポートする車椅子に着目した。現在主に使用されている車椅子は手押しのものやジョイスティックで操作する電動式のものがある。しかし、それを使用する高齢者や障害者の身体的特徴は千差万別であり、その特徴に応じて電動車椅子を製造したのではコスト低減が妨げられてしまう。そこで、ユーザーの身体的特徴を問わない電動車椅子のシステム設計を目的としている。

本研究では作業フィールドに大域カメラを設置し、それによって取り込まれた大域情報を使用してユーザーが現在位置や目的地などの情報を得る事ができ、その情報から目的地までの経路設計を行う。また、経路設計時に予期せぬ移動障害物などが現われた際、電動車椅子の前面に設置された局所カメラからの情報を使用して、計画経路の実時間調整を行う。それらを実装させるために大域情報と局所情報を統合し、電動車椅子を目的地へ誘導する速度制御ベクトル場を作成する。そして、作成したベクトル場によって実時間経路設計を行う。

2. システム構成

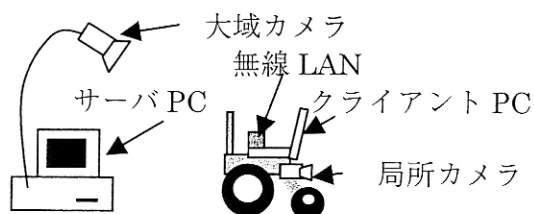


図1: システム構成図

システム構成は図1のようになる。大域カメラは電動車椅子の周囲の情報を広範囲でキャプチャできるように設置する。大域カメラの画像はサーバPCで画像処理を行い、電動車椅子の位置、向き、作業フィールド内の固定された障害物の『大域情報』を得るために設置する。また、経路設計時に作業フィールド内に存在しなかった移動障害物が存在した場合、電動車椅子の前方をキャプチャできるように設置された局所カメラによって検知され、局所カメラからの『局所情報』は電動車椅子に搭載されたノート型PCであるクライアントPCによって処理される。クライアントPCは電動車椅子の左右のモーターとAD/DA変換ボードを介して繋がっており、左右のモーターに直接制御電圧を掛ける事ができる。またサーバPCとTCP/IP通信プログラムを用いて無線LANを介してデータの送受信を行う。また、閾値処理を行うことで、カメラ画像から障害物や、電動車椅子の向きを検出する。

大域カメラからの大域情報を使用して、サーバ

PCは作業フィールドと電動車椅子の情報を得る。クライアントPCから目的地が入力されると、サーバーPCに目的地情報が送信され、サーバーPCで経路設計が行われ、その経路道理に進むように、サーバーPCはクライアントPCに命令信号を送信する。また、経路設計時に存在しなかった移動する障害物を局所カメラが検知すると、その障害物の座標情報がサーバーPCに送信され、ベクトル場を使用して実時間で経路修正が行われる。

3. 大域情報と局所情報の統合

3.1 大域座標系

車椅子の大域情報を得る為にカメラから見た目標物の大域座標の求め方を以下に示す。XYZ座標系が大域座標系で、x'y'z'座標系がカメラ座標系である。カメラの焦点がZ軸と交わる。

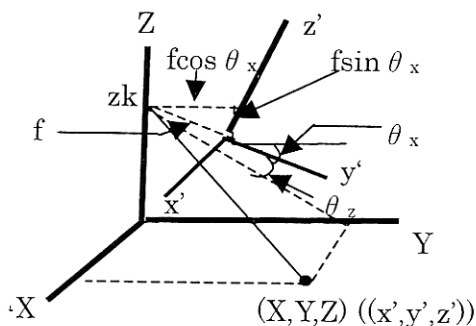


図2：大域座標系とカメラ座標系

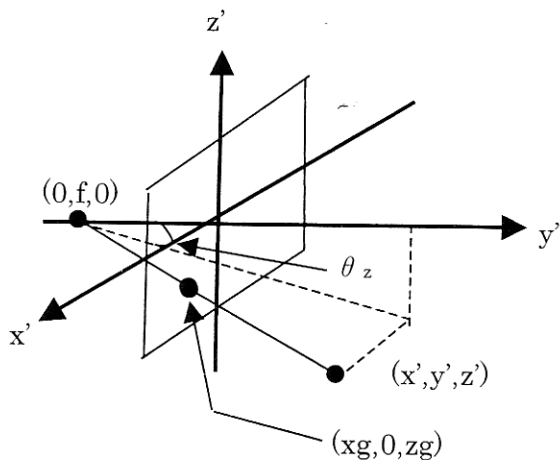


図3：カメラ座標系の透視変換図

(X, Y, Z)：目標物の大域座標

(x', y', z')：目標物のカメラ座標

(xg, 0, zg)：目標物の画像面での座標

f：焦点距離

theta_x：カメラをX軸を中心に回転させた角度

theta_z：焦点を中心としたの目標物のY座標とy'軸の角度

図2より、目標物のカメラ座標は

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \cos \theta_x - f + zk \sin \theta_x \\ Y \sin \theta_x - zk \cos \theta_x \end{bmatrix} \dots (1)$$

となる。図3より

$$\theta_z = \tan^{-1} \left(\frac{zg}{f} \right) \dots (2)$$

また、図2より

$$\tan(\theta_x + \theta_z) = \frac{zk}{Y} \dots (3)$$

$$Y = \frac{zk}{\tan(\theta_x + \theta_z)} \dots (4)$$

となる。これからy'が求まる。次に図3より、三角比を用いると

$$x' = \frac{f + y'}{f} xg \dots (5)$$

X=x'なので、

$$X = \frac{zk \cos \theta_z}{f \sin(\theta_x + \theta_z)} xg \dots (6)$$

Zは目標物の高さで一定なので

Z=h

となり、目標物の大域座標を求めることができる。

3.2 局所座標系

車椅子の前部と後部の大域座標をそれぞれ(Xf, Yf, h), (Xb, Yb, h)とし、目的地の大域座標を(X0, Y0, h)とする。局所座標系は車椅子の前部を原点とし、車椅子の進行方向をy''軸とする。

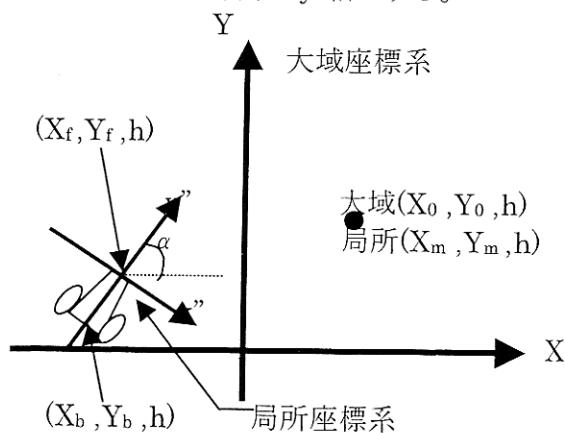


図4 大域座標系と局所座標系

車椅子とX軸との角度をalphaとすると

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{Y_f - Y_b}{X_f - X_b} \right) \dots (7)$$

となり、車椅子とY軸との角度betaは

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha \dots (8)$$

となる。

大域座標系は局所座標系から (X_h, Y_h, h) に平行移動し、Z軸を中心に角度 β [rad]回転移動させたものである。まず、局所座標での任意の点 (X_m, Y_m, h) を平行移動すると

$$\begin{bmatrix} X_m - X_h \\ Y_m - Y_h \\ -h \end{bmatrix} \dots (9)$$

ただし、 $X_h = X_f \cos \beta + Y_f \sin \beta$
 $Y_h = -X_f \sin \beta + Y_f \cos \beta$

となり、さらにこれに回転行列をかける。

$$\begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m - X_h \\ Y_m - Y_h \\ -h \end{bmatrix} \dots (10)$$

よって、目的地の局所座標を (X_m, Y_m, h) とすると、

$$\begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_m - X_h) \cos \beta + (Y_m - Y_h) \sin \beta \\ -(X_m - X_h) \sin \beta + (Y_m - Y_h) \cos \beta \\ -h \end{bmatrix} \dots (11)$$

となり、局所座標と大域座標の関係が式(11)のように求められる。

3.3 画像処理による座標情報の取得

3.1, 3.2 で求めた式を使用して大域カメラ、局所カメラそれぞれの画像平面から、3次元の大域座標系、局所座標系の位置情報を画像変換をして求める。

しかし、大域カメラの画像平面 (x, z) から大域座標系の (X, Y, Z) を求める際、式(2), (3), (4)ではYの値が連続的な値をとらずに極点が検出されてしまった。そこで、式(2), (3), (4)より式Yは z_g の関数である事から、以下の式(12)のようにYを z_g のn次の方程式として、

$$Y = a_1 \times z_g^{n1} + a_2 \times z_g^{n2} + \dots + a_{n1} \times z_g^1 + a_n \dots (12)$$

のように求めた。

ただし、nは各係数 $a_1 \sim a_n$ を求めるのに実験で測定したサンプルデータ数である。

4. ベクトル場による経路設計

4.1 ベクトル場の基本式

本研究では大域情報と局所情報をベクトル場によって統合し、それを用いて電動車椅子を目的位置へ誘導制御する。ベクトル場とは目標物や障害物に対して任意にポテンシャル関数を生成させ、それらを合成したポテンシャル勾配、ベクトル量を取り、このベクトル量により対象物の速度ベクトルを決定する方法である。まず、大域情報で作成したポテンシャル関数を使用したベクトル場を用いて経路設計を

行い、局所情報として移動障害物を検知した時は、先に作成したポテンシャル関数に局所情報のポテンシャル関数を加える事で、大域情報と局所情報を統合させる事ができる。

目的地へ到達させたい対象物(以後エージェント)に対して、以下のように定義する。

- ・ 初期位置: $X_s = (x_s, y_s)$
- ・ 目的位置: $X_t = (x_t, y_t)$ $X_s = (x_s, y_s)$
- ・ 現在位置: $X = (x, y)$

この時、初期位置から目的位置へ向かうような勾配をつけた場合のポテンシャル関数 $f(x)$ は、

$$f(X) = e^{-\frac{\|X - X_s\|^2}{\delta_s^2}} - e^{-\frac{\|X - X_t\|^2}{\delta_t^2}} \dots (13)$$

となり、そのベクトル場は、

$$V(X) = -\frac{\partial}{\partial x} \cdot f(X) \dots (14)$$

と、求められる。ただし、 σ は確立分布における標準偏差と同様のものである。

4.2 作業フィールド内のベクトル場

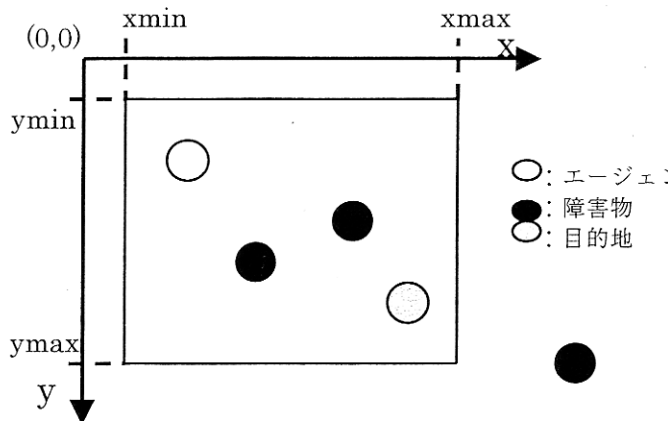


図5：シミュレーション図

図5のような作業フィールド内の初期位置、目的位置、障害物i個、壁についてポテンシャル関数を考える。初期位置、目的位置は前節のとおり以下のようなになる。

$$\cdot \text{目的位置 } X_t \quad f_t(X) = A_t \cdot e^{-\frac{\|X - X_t\|^2}{\delta_t^2}} \dots (15)$$

$$\cdot \text{初期位置 } X_s \quad f_s(X) = A_s \cdot e^{-\frac{\|X - X_s\|^2}{\delta_s^2}} \dots (16)$$

ただし、 $A_t < 0$ $A_s > 0$ である。

障害物i個と壁について、以下のように定義した時、

- ・ 障害物位置: $X_{bi} = (x_{bi}, y_{bi})$
- ・ 壁: $x = x_{max}$

- ・ 壁： $x=x_{\min}$
- ・ 壁： $y=y_{\max}$
- ・ 壁： $y=y_{\min}$

式(13)(14)を使用して、障害物、作業フィールドを囲む壁のポテンシャル関数は、それぞれ、

- ・ 障害物

$$f_b(X) = A_b \cdot \sum_i e^{-\frac{\|X - X_{bi}\|^2}{\delta_b^2}} \quad \therefore \begin{cases} A_b > 0 \\ i: \text{障害物の個数} \end{cases} \quad \dots (17)$$

- ・ 壁： $x=x_{\max}$

$$f_{x_{\max}}(X) = A_k \cdot e^{-\frac{-(x-x_{\max})^2}{\delta_k^2}} \quad \dots (18)$$

- ・ 壁： $x=x_{\min}$

$$f_{x_{\min}}(X) = A_k \cdot e^{-\frac{-(x-x_{\min})^2}{\delta_k^2}} \quad \dots (19)$$

- ・ 壁： $y=y_{\max}$

$$f_{y_{\max}}(Y) = A_k \cdot e^{-\frac{-(y-y_{\max})^2}{\delta_k^2}} \quad \dots (20)$$

- ・ 壁： $y=y_{\min}$

$$f_{y_{\min}}(Y) = A_k \cdot e^{-\frac{-(y-y_{\min})^2}{\delta_k^2}} \quad \dots (21)$$

\therefore ただし、 $A_k > 0$ である。

となり、4枚の壁のポテンシャル関数は、

$$f_k(X) = f_{x_{\max}}(X) + f_{x_{\min}}(X) + f_{y_{\max}}(X) + f_{y_{\min}}(X) \quad \dots (22)$$

となり、式(15)から(22)より、作業フィールド内の総ポテンシャル関数は、

$$f(X) = f_i(X) + f_s(X) + f_b(X) + f_k(X) \quad \dots (23)$$

となり、以下の図6のようになる。

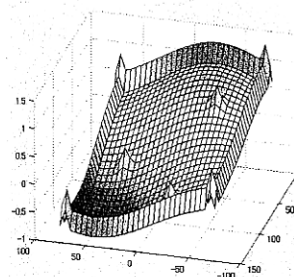


図6：作業フィールド内のポテンシャル関数

また、式(14)より作業フィールド内のベクトル場は、 x 成分、 y 成分それぞれ、

$$V_x(X) = -\frac{\partial}{\partial x} f(X) \quad \dots (24)$$

$$V_y(X) = -\frac{\partial}{\partial y} f(X) \quad \dots (25)$$

となり、作業フィールド内のベクトル場は以下の図7のようになる。

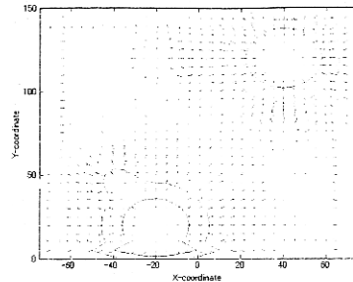


図7：作業フィールド内のベクトル場

4.3 ベクトル場のシミュレーション

式(24),(25)を用いて、エージェントが障害物回避しながら目的地へ到達する運動をシミュレーションをおこなった。シミュレーションの様子を図8に示す。

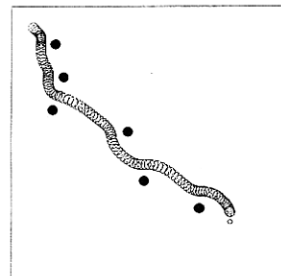


図8：ベクトル場のシミュレーションの様子

シミュレーションでは、連続的に描画されている白丸がエージェント、黒丸が障害物、灰色丸が目的地、作業フィールドを構成している四角形が壁を、それぞれ表している。図8から解るように、エージェントは障害物を回避しながら目的地へ到達する事ができた。また、エージェントの進行方向へ移動する障害物が現れても、エージェントは移動する障害物を回避したのち、目的地へ到達する事ができた。

5. おわりに

今回、大域カメラと局所カメラの統合、それらの情報を用いたベクトル場による経路設計の有効性の検証を行なった。

今後の課題として、ベクトル場のベクトル量が存在しない箇所にエージェントが移動してしまった場合でも目的地へ到達できるアルゴリズムの考案、電動車椅子への実装が考えられる。

6. 参考文献

- 1) 卒業論文「ネットワークを介した電動車椅子の知的遠隔制御」2002年 山形大学 工学部 電子情報工学科 片岡誠一
- 2) 卒業論文「自律電動車椅子の知的制御」2000年 山形大学 工学部 電子情報工学科 福田将彦
- 3) 修士学位論文「大域情報と局所情報の統合による移動ロボットの知的制御」2000年 山形大学 大学院 理工学研究科 博士前期過程 電子情報工学専攻 佐藤光一