

自律電動車椅子の知的制御系の構築

Construction of intellectual control system of autonomous, electric wheelchair

川合 康司[†] 平松 誠治^{††} 羅 志偉^{†††} 加藤 厚生^{††††}
Koji KAWAI[†] Seiji HIRAMATU^{††} Zhiwei LUO^{†††} Atsuo KATO^{††††}

Abstract: Recently, aging society becomes serious problem. In this research, pays attention to the wheelchair from among welfare and medical equipment which is "Foot" for the physically handicapped person and the senior citizen. The following two systems were constructed for that User Interface which can single-step wheelchair certainly and easily and Autonomous running and obstacle avoidance function to reduce complex operation. We use indoors camera (global camera) and camera on the wheelchair (local part camera) in a different usage. The operator clicks the global camera image projected onto the operator computer for the display and converts the chick point to local coordinate system by operator's computer. Then computed rate vector to reach the target point and transmit to the autonomous wheelchair. The note type computer that loaded wheelchair controls wheelchair to tend target point along to the rate vector. In this time, the local camera always monitor safety area forward of the wheelchair. If wheelchair invades no safety areas, wheelchair is stopped. This system was conferred by experiment to control wheelchair using global and local camera information.

1. はじめに

近年、高齢化問題が深刻となりつつある。平成11年調査では年代別人口構成は、年少人口(0~14歳)が全体の約

14.8%、生産年齢人口(15~64歳)が約68%、老年人口(65歳以上)が約16.7%となっている2050年ではこれが29.9%となる予想されている¹⁾。このような問題に対して工学、技術の分野では高齢者や障害者の社会活動を補佐するために福祉、医療機器の開発と実用化が進められてきた²⁾³⁾⁴⁾⁸⁾。

† 愛知工業大学 大学院工学研究科 (豊田市)
†† 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)
††† 理化学研究所 BMC 研究センター (名古屋市)
†††† 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

本研究では数ある福祉、医療機器の中から、下肢の不自由な障害者や高齢者にとって「足」となり重要な生活必需品である車椅子に着目する。

近年、福祉に対する人々の関心が高まり、社会インフラの

バリアフリー化が進み、社会全体でサポートされ、より利用しやすくなった。特に電動車椅子はこれまでの車椅子ユーザーに強いてきた肉体的負担を軽減し介護者の助けなしで行動することを可能にした。

しかし、高齢者や障害者の身体的特徴は千差万別であり、多種多様な福祉、医療機器を必要としており、各人に合った製品を商品化することは難しい。現在、主に使用されている車椅子は手押しやジョイスティック型コントローラを用いて操作する電動式である。しかし、これでは上肢に障害を持っているなどの理由や、複雑な操作方法では熟練が必要になるなどの理由により十分な装備とはいえない。

また、人の移動目的を実現する車椅子の場合、運行の自律化だけでは人間の足としての機能を補えない。そこでは人間と車椅子との意志伝達が必要であり、緊急時にとっさに誤りなくできるような操作で、使用者の意思を実現する機能を持った車椅子が高齢者や障害者に必要である。

本研究では使用者の意思を実現するための機能を備え、他の人やその他の移動物体などの障害物を回避するなど、車椅子に限らず普段人が何気なく行っている行動を車椅子操作において自動化することを自律化の目標とする。

従来の産業用ロボットは整備された工場内で使用され、限られた環境で使用される。しかし日常生活など常に状況が変化する混み合った環境では周辺の様子は不規則に変化するため、この変化を正確に認識し、危険回避を行わなければならない。

その目的で最も多くさまざまな角度から研究されているセンサとして視覚系がある。これはロボットの知能化に不可欠であることが古くから認識され、知能機械の研究が始まった当初からその一端を担い、注目されてきた⁵⁾。このセンサは人間と同様にカメラなどによりセンシングした画像情報を解析することで環境変化の認識を行う役割を持つ。

ここで、移動ロボットに搭載する場合を考慮すると、上述した役割を軽量小型な処理系でリアルタイムに行えることが重要だが、実時間でロボットを動かすには計算量が多すぎるため、与えられた画像をどのように処理するかが課題となる。現状では、環境にマーキングを行い、視覚系に都合のいい環境を作り上げることで実用化を行っているシステムは存在するが、ロボット単体でこの処理を行う自律システムは、まだ複雑な処理や環境では研究段階にあり実用には至っていない。現状では

ロボット自身が周りの環境を全て認識し、アクシデントを回避することは困難である。

しかし、これから急激な速さで高齢化社会を迎えるにあたって、自律制御車椅子は実用化すべき焦眉の急である。そのため、最先端技術的を用いづに、高度な自律操作が可能なシステムを構築する必要がある。そこで、あらかじめ限定的な環境を設定し、その中でロボットが自律的に動作することが望ましい。しかし、ロボットのための環境改造が人間にとって障害になってはならない。

以上により今後、ロボット化に有効とされる視覚系を利用し、環境の変化にリアルタイムに対応できる車椅子操作を自動化するシステムの開発を行う。視覚系の抱える問題を解決する為、日常生活に支障のない程度に改造を施した環境を用い、人間と車椅子との意志伝達が容易で障害物回避などを自動で行う機能を持った電動車椅子の自律化を研究した。

2. システム構成

本研究の目的は車椅子の自律的運用を目的としている。そのために下記の二つのシステムを構築した。

- 確実かつ簡単に車椅子に命令を与えることのできるユーザーインタフェース
- 複雑な操作の負担を軽減する自律走行や障害物回避機能

本研究では室内での電動車椅子の使用を目的とし室内備え付けカメラ(大域カメラ)と電動車椅子に搭載したカメラとその処理系(局所カメラ)からなる2機のビジョンシステムを異なった用途で使用した。それらの情報をマルチモーダルに処理することにより上記の目的を達成するシステムを構築した。

カメラとしてあらかじめ位置と方向がわかっている室内備え付けの大域カメラを設置し電動車椅子の操作は別に設置した操作用PCで行う。このPCのディスプレイ上に映し出された大域カメラ画像をクリックすると、電動車椅子はクリックされた場所のカメラ画像上の座標から、大域カメラの位置と方向を元に大域座標系を使用し電動車椅子前方に定義した局所座標系上の座標に変換する。

電動車椅子の目的地(局所座標上の目的座標)が決定すると、大域カメラの画像上に障害物が侵入したとき、電動車椅子と障害物の速度ベクトルを連続する大域カメラ座標から算

出し相対速度から車椅子が障害物に衝突する速度ベクトル範囲を推定し回避するための速度ベクトル情報を算出して電動車椅子に搭載されたノート型PCに送信する。障害物が大域カメラ画像上に認識されなかった場合、障害物回避の手順は省略される

電動車椅子に搭載されたノート型PCは操作用PCからの速度ベクトル情報を元に車椅子を目的地に移動させる。このとき電動車椅子に搭載された局所カメラと画像認識システムは車椅子前方の安全領域を常に監視しており、もし不安全と認識された領域に電動車椅子が侵入しようとした場合、電動車椅子を停止させる。

3. 大域カメラによる電動車椅子の操作

3.1 大域カメラによる位置検出

ビデオカメラをある一定の高さに置き、斜め下方に傾けて、固定した状態で車椅子を撮る。大域カメラの画像を車椅子搭載PCとは別に用意したPCに送り、その画像上の支持点の大域情報を取得する。

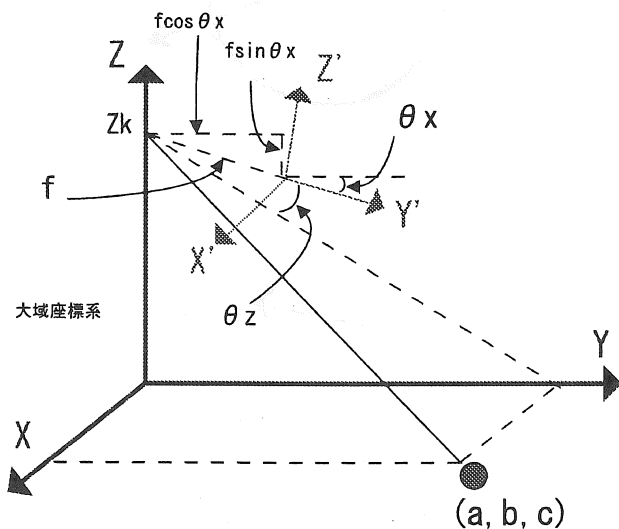


図3.1 大域座標定義

図3.1に示すXYZ直交座標系が大域座標系である。鉛直な方向で大域カメラの焦点を通る線をZ軸とし、目標物体の高さに原点をおき原点からカメラの光軸と交わる線をY軸とし、残りをX軸とした。また、 θ_x がカメラの角度、 f が焦点距離、目標の座標を (a,b,c) とする。

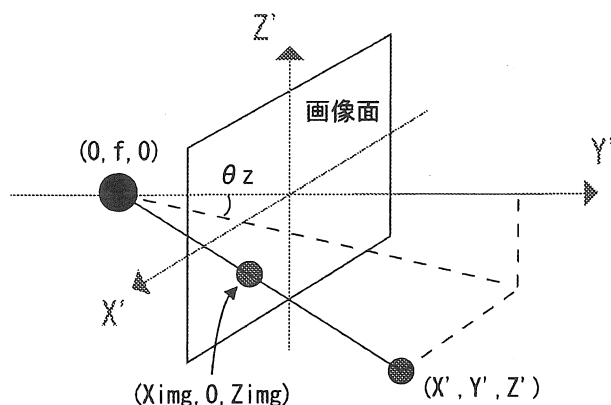


図3.2 大域カメラ座標定義

図3.2に示す X', Y', Z' 座標系が大域カメラ座標系である。大域カメラ座標は大域カメラの画像上の座標で画像中心を原点とし画像に向かって上向きを Z' 軸の正方向、画像に向かって右向きを X' 軸の正方向、カメラの光軸を Y' 軸とした。

大域カメラ座標系での目標物の位置は

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

これより目標の座標は

$$a = x' = \frac{z_{img} \cos \theta_z}{f \sin(\theta_x + \theta_z)} x_{img}$$

$$b = \frac{z_k}{\tan(\theta_x + \theta_z)}$$

$$c = h$$

となる。

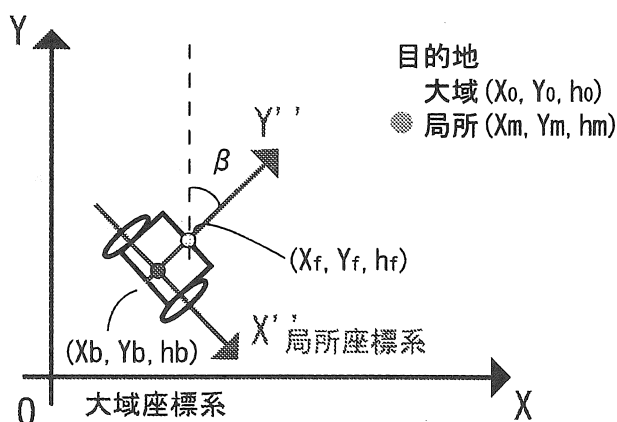


図3.3 局所座標定義

図3.3は大域・局所座標系のZ軸、 Z' 軸を真上(Z軸方向)から見たものである。車椅子の大域情報を得て、車椅子の左

右の車輪の中心を局所座標系の原点とする。このとき車椅子の進行方向がy'軸となる。

これより電動車椅子の大域座標Y軸との角度βと大域座標と局所座標の変換公式が求められる。

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{y_f - y_b}{x_f - x_b} \right)$$

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ h_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_0 - x_f) \cos \beta - (y_0 - y_f) \sin \beta \\ (x_0 - x_f) \sin \beta + (y_0 - y_f) \cos \beta \\ h_x \end{bmatrix}$$

このとき h_x は各目標の高さであり、これより大域カメラ座標より電動車椅子と各目標の局所座標をもとめることができる⁶⁾⁷⁾。

3.2 大域カメラによる障害物回避

上記の操作中、設定された経路上に障害物が存在する場合、大域カメラ情報より自動的に障害物を回避するシステムを設計した。電動車椅子の可能な走行速度範囲内に含まれる回避軌道の決定材料を以下の通り定義する。

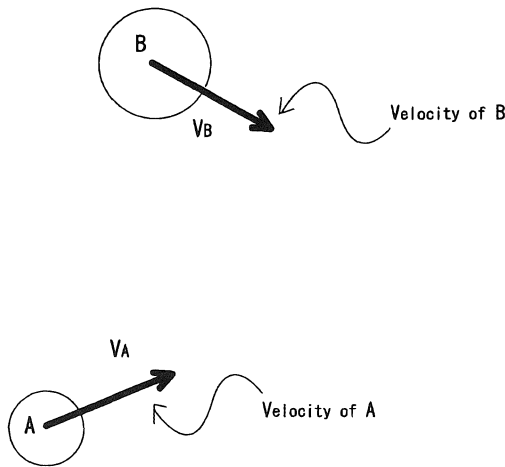


図3.4 局所座標定義

図3.4に示すように電動車椅子と障害物を移動可能で回転しないとして平面問題を単純化した円形の物体に置き換える。これらは任意の軌道に沿って移動し瞬間的状態は大域カメラの情報から推定する。

t_0 でそれぞれの座標を $\hat{A} = (x_A, y_A)$ $\hat{B} = (x_B, y_B)$ 、半径を r_A, r_B とする。つぎにBにAの半径を足し合わせた半径の円に拡大すると

$$(X - x_B)^2 + (Y - y_B)^2 = (r_A + r_B)^2$$

となる。 \hat{A} より拡大したBに接線 λ_f, λ_r を引くと接点(a,b)は $x_0 = x_A - x_B, y_0 = y_A - y_B, r_0 = r_A - r_B$ とおくと

$$a = \frac{r^2 x_0 \pm \sqrt{r^4 x_0^2 - (x_0^2 + y_0^2)(r^4 - y_0^2 r^2)}}{(x_0^2 + y_0^2)} + x$$

$$b = \frac{r^2 y_0 \pm \sqrt{r^4 x_0^2 - (x_0^2 + y_0^2)(r^4 - y_0^2 r^2)}}{(x_0^2 + y_0^2)} + y$$

となる。これをそれぞれ $(a_1, a_1), (a_2, a_2)$ とする(但し $a_1 > a_1$)。これを円の接線の方程式に代入し座標を戻すと

接線 λ_f, λ_r はそれぞれ

$$\lambda_f : a_1 x + b_1 y = (r_A + r_B)^2$$

$$\lambda_r : a_2 x + b_2 y = (r_A + r_B)^2$$

となる。図2.5に示すようにこの接線で囲まれた領域を

$CC_{A,B}$ とする。

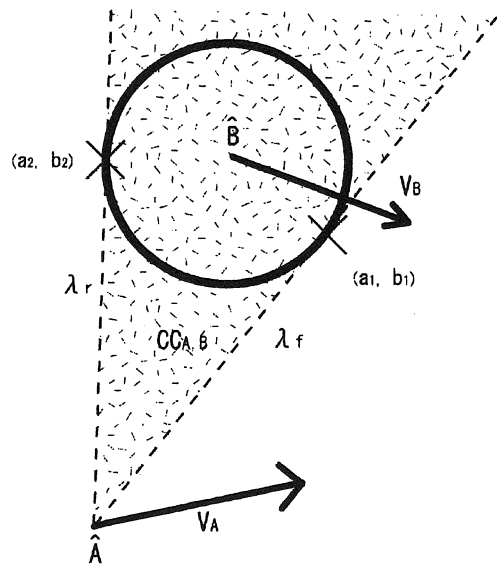


図3.5 局所座標定義

次に t_0 でそれぞれの速度ベクトルを v_A, v_B とすると、AのBに対する相対速度 v_{AB} は

$$v_{AB} = v_A - v_B$$

となり、これが $CC_{A,B}$ の領域内にある場合において衝突の要因になり、Aのそれに対するBへの衝突予定速度ベクトルとなる。

図3.6に示すように v_{AB} が $CC_{A,B}$ 内にある場合の v_A はVOであらわされる領域になる。つまりVOの外に v_A の先端を定義することによりBとの衝突が避けられる。VOの境界に設定すると

AはBに接触するような速度になる。

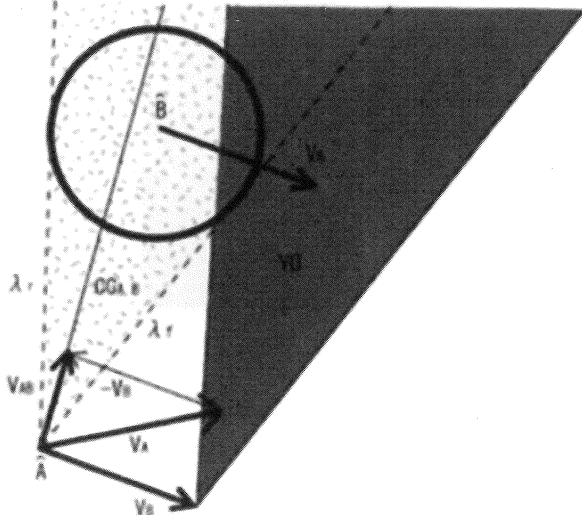


図 3. 6 局所座標定義

4. 局所カメラによる安全領域判別

安全領域の判別には下記の方法を用いる。図4. 1を使用
して説明する。

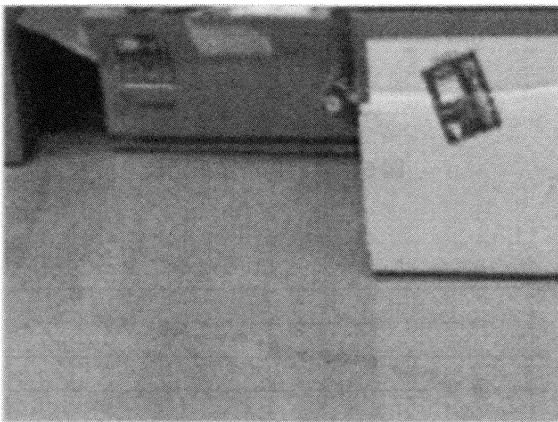


図 4. 1 局所座標定義

最初に車椅子から見て手前の部分にある床の色を閾値とし
て画像からその近傍のRGBカラー情報を持つ画素とそれ以外
の色を持つ画素に2値化する。2値化後の画像を図4. 2に示
す。この情報では床以外の物体も検出されてしまい安全領域
の確定はできない。

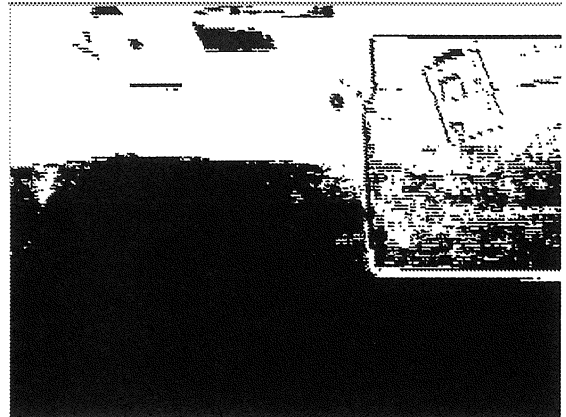


図 4. 2 局所座標定義

次に2値化前の画像で色情報の変化量の激しい部分をピッ
クアップしてエッジ検出を行う。エッジ検出画像を図4. 3に記
す。この情報では床の反射などが原因で物体の境界線以外
の部分も検出されてしまう。

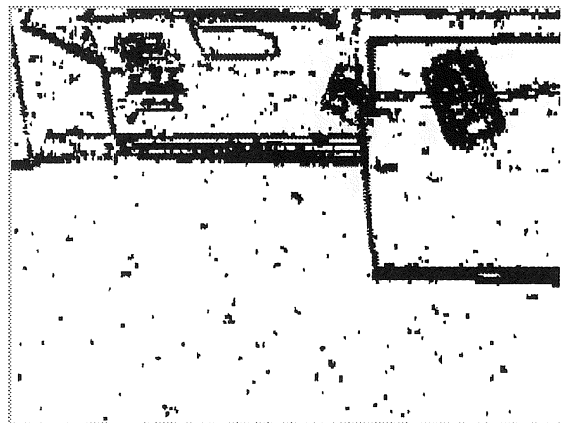


図 4. 3 局所座標定義

以上のように各情報を単独で用いたのでは有益な情報は
得られない。

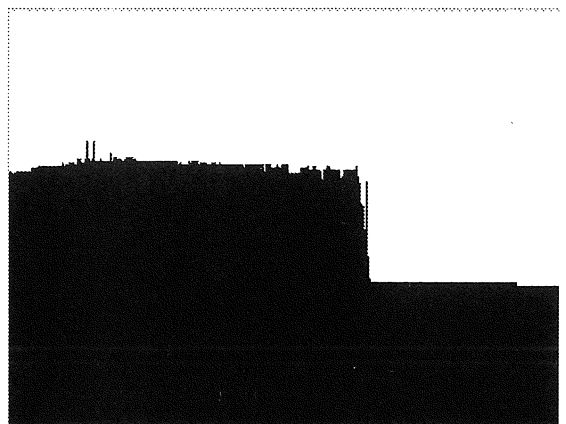


図 4. 4 局所座標定義

そこで、2値化画像を反転しエッジ検出画像と重ね両画像
で重なった検出箇所のみを取り出すと、床の反射を含んだ大
部分の誤認識は解決され、床と障害物の境界線が検出される。

この情報を用い床である画像下部(車椅子手前)からスキャンし最初のエッジが検出される画素までを安全領域とする。結果を図4.4に示す。

図4.4から正確に安全領域が検出されている事がわかる。

安全領域検出画像では二次元情報であるため障害物の位置がわからず電動車椅子の制御には不十分である。よって、この画像情報を三次元情報に変換する必要がある。局所カメラの設置情報は把握できるので、大域カメラでカメラ座標から大域座標を算出するときに使用した式により、画像上の座標(x, y)から床面の座標(X, Y, Z)を算出する。

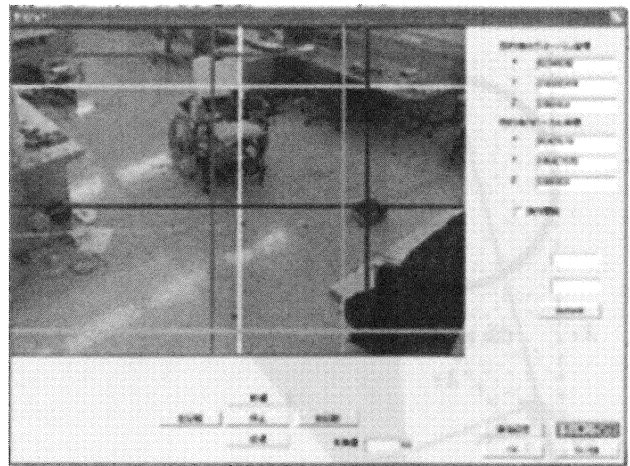


図5.3 局所座標定義

5. 実験

図5.1のような環境の安全領域を判別した。

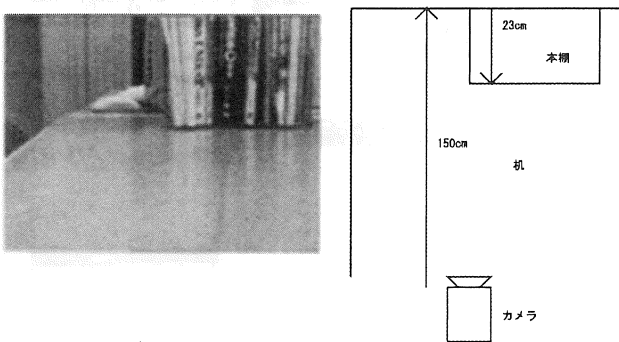


図5.1 局所座標定義

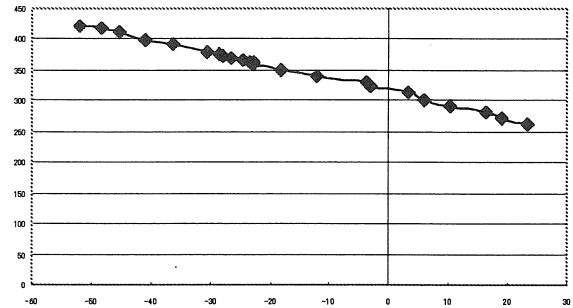


図5.4 局所座標定義

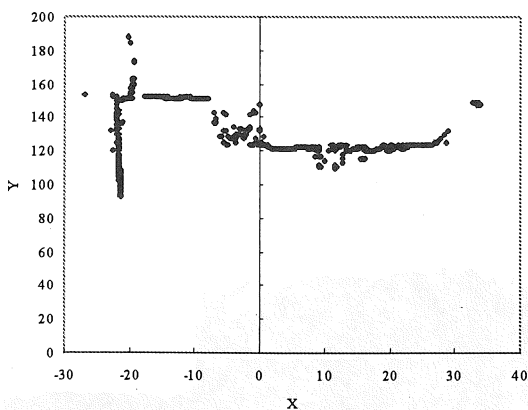


図5.2 局所座標定義

安全領域判別画像から安全領域マップを作成した。図5.2に記す。

実験では操作用PCにて電動車椅子を操作した。操作用PCのディスプレイ画面を図5.3に示す。

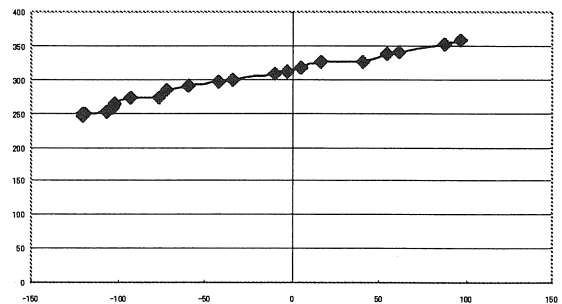


図4.4 局所座標定義

各マークは車椅子フロント、車椅子リア(車椅子基準点)、障害物、支持された目標地点を指している。

実験では実際に車椅子を操作し、移動する障害物を回避する実験を行った。障害物は直線移動を行い電動車椅子の進行を妨げるように前方を横切るようにした。

実験結果から PC ディスプレイ上で目標地点を支持し障害

物を回避しながら目標地点に到達できることを確認した。

6. まとめ

本論文では、従来の電動車椅子の問題点を取り上げ、その問題の解決のため確実かつ簡単に車椅子に命令を与えることのできるユーザインタフェースと複雑な操作の負担を軽減する自律走行や障害物回避システムを構築した。実験により大域カメラ情報と局所カメラ情報から車椅子を簡単かつ安全に制御するシステムの構築を行いその有効性を確認した。

このシステムは通信にEthernet規格のLAN(Local Area Network)を使用している。これとWAN(Wide Area Network)を介しグローバルにこのシステムを構築することが可能である。しかし、この通信は回線の混雑や通信経路によりデータ転送の遅延時間が予想できないなどの問題がある。これに対し通信の遅延時間の問題を回避するための研究が数多く進められている。また、社会ではユビキタスコンピューティングの概念が注目されており、インターネット回線の普及と高性能化はさらに進むものと考えられる。この点から、本実験では画像情報の情報量の多さから電動車椅子の操作を操作用PCで行ったが回線の高速化が進めば画像の転送なども可能になり電動車椅子の搭乗者にこの操作を行わせることも可能になるものと思われる。

7. 謝辞

本研究は、愛知工業大学大学院工学研究科生体工学研究室ならびに、理化学研究所バイオ・ミメティック・コントロール研究センター、環境適応ロボットチーム内で行いました。研究を進めるにあたり、愛知工業大学電子工学科生体工学研究室、加藤厚生教授、理化学研究所環境適応ロボットシステム研究チームリーダー、羅志偉氏から懇切丁寧な指導を賜りました。ここに謹んで感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 「平成12年国勢調査」総務省統計局
- 2) 片岡誠一「ネットワークを介した電動車椅子の知的遠隔制御」山形大学論文、2001年
- 3) 高野政晴、吉見隆洋、佐々木健、関啓明「RECSコンセプトに基づく屋内移動ロボットシステムの開発」精密工学会誌 Vol62, No6 Page.815-819 1996
- 4) PRASSLER E, SCHOLZ J, FIORINI P「A Robotic Wheelchair for Crowded Public Environments」IEEE Robot Autom Mag Vol.8, No1 Page.38-45 2001
- 5) 出口 光一郎「ロボットビジョンの基礎」コロナ 社
- 6) 見城尚志、永守重信「メカトロニクスのためのDCサーボモータ」総合電子出版
- 7) 米田完、坪内孝司、大隅久:「はじめてのロボット創造設計」講談社
- 8) 川合康司、平松誠治、羅志偉、加藤厚生「電動車椅子の自律的制御系の構築」平成15年度電気関係学会東海支部連合大会公演論文集、442

(受理 平成16年3月19日)