

## 画像処理とセンサによる電動車椅子の自律走行制御

### Autonomous Running Control of Electric Wheelchair with Image Processing and Sensor

○永江元\*, 渡部慶二\*, 村松鋭一\*, 有我祐一\*, 遠藤茂\*\*

Hajime Nagae\*, Keiji Watanabe\*, Eichi Muramatsu\*, Yuichi Ariga\*, Shigeru Endo\*\*

\*山形大学院, \*\*山形大学

\*Yamagata University, \*\*Yamagata University

**Key Words:** 画像処理(Image Processing), 電動車椅子(Electric Wheelchair), 制御(Control), ハフ変換(Hough Transform), 輪郭線追跡処理(Contour Tracking), エッジ抽出(Edge Detection), 二値化(Binarization), 消失点(Vanish Point)

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  
永江元, E-mail: q-chan-kawaii@hotmail.co.jp

#### 1. 緒言

近年の高齢化にともない、身体機能の低下した高齢者の人口の増加やその他にも身体に障害を持った人々のような問題に対して工学の分野では医療・福祉機器やシステムの研究開発が進められ、さらにそれらの産業化、標準化を目指すような展開が求められている。その福祉・医療機器には足の不自由な人、歩行が困難な人にとって足となる電動車椅子の研究が行われている。しかし、電動車椅子の主な操作は手押しや電動モーターによるジョイスティック操作となっている。手押しの場合、人の手を借りるの必要があり使用者自身の意思で自由に行動することが困難である。一方、ジョイスティックの場合は走行時に運転者が障害物にぶつからないように気を使いながら操作する必要がある。電動車椅子を使用する人と介助者の負担を少しでも軽減し、高齢者や障害者が電動車椅子を操作するのではなく、電動車椅子が自律走行を可能とすれば使用者の安全性が向上すると考えられる。

自律性を持たせた知的制御を行わせるためには外界の情報を得て周辺環境を認識する必要がある。そのためには画像を使用することが一番よい方法

であると考えられる。そこで、本研究では電動車椅子を視覚情報により自律的に走行させるために USB カメラから取得した画像情報をもとに電動車椅子を通路の中央に沿って自律走行させる方法を検討する。しかし、画像を高速に処理する為のパソコンや高性能カメラを組み合わせた自動制御は高価なものになってしまう。そこで、本研究で使用する機材は比較的安価なもので構成することを心掛けた。その理由は、装置の値段が高額であると真に電動車椅子を必要とする高齢者や身体に障害を持った人がこれらの装置を購入できないからである。しかし、装置が安価なことはスペックの低下につながることもある。このため、安価な装置で実現するためにはパソコンに負荷の掛からない画像処理を使用することが重要であると考えられる。ここで着目したのが人間の脳の機能<sup>(1)</sup>である。我々の感覚器官は絶え間なく環境からやってくるおびただしい量の情報に向き合っている。しかし、我々の脳に届くのはこの情報の流れのごくわずかな部分でしかなく、自覚されるのはそれよりさらに少ない。これは視覚情報にも当てはまっており、脳に届く情報は環境に存在する情報を完全に反映したものとはなりえない。人間や動物が色の違いや模様注目して物を見ていることから

USB カメラで取得した画像情報をそれらに着目し処理すること、色の違いや模様を統合することで負荷の掛からない処理を実現できるのではないかと考えられる。提案システムの有効性を実験により検証したので、それを報告する。

## 2. 制御システムの概要

### 2.1 制御システムの全体構成

本研究では制御対象として SUZUKI 製の電動車椅子を使用した。電動車椅子を制御するための制御システム (Fig. 1) は以下の機材で構成されている。

- ・ 制御対象 (SUZUKI 製の電動車椅子)
- ・ 制御命令演算用計算機 (Windows XP)
- ・ USB カメラ (Logicool 社 Q cam Pro 4000 )
- ・ SH2 制御システム (自作マイコン)

機材は比較的安価な物で構成されている。

#### 2.2.1 USB カメラ

使用した USB カメラの使用を以下に示す。安価なカメラを選出して使用した。

Logicool 社 Q cam Pro 4000

- ・ 画像センサ : CCD (30 万画素)
- ・ 有効画素数 : VGA 640\*480
- ・ フォーカス : 16 cm ~ ∞
- ・ フレームレート : 最大 30 f p s

#### 2.2.2 SH2 制御システム

従来は PCI カード型の AD/DA 変換カードをノート PC につけて電動車椅子の制御を行っていた。しかし、この AD/DA カードには汎用性がないため、Linux などの他の OS 上での制御が難しかった。そこで、電動車椅子に搭載型した制御システムにより車椅子の制御を行う方式に変更した。電動車椅子に搭載された SH2 制御システムは、シリアル通信により送られたノート PC からの命令に基づいて電動車椅子のドライバへ指令値を出力する。この指令は電圧値であり、R-2R 抵抗ラダー型の DA 回路から出力される。この一連の信号の流れを Fig. 2 に示す。ノート PC からは制御指令としてあらかじめ動作を Table. 1 のように規定した 1byte

文字を送信する。

### 2.2.3 電動車椅子

電動車椅子は、SH2 制御システムから受け取った電圧信号に応じた動作をする。電動車椅子の入力電圧と動作の関係は Table2 のように規定されている。電動車椅子側の入力 ch は前後と旋回の 2ch ぶんある。これらに入力される電圧の組み合わせによって動作する。

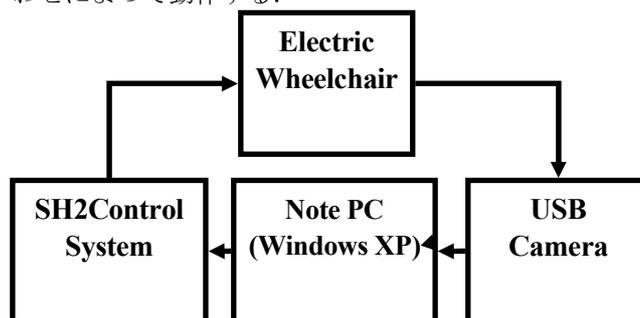


Fig. 1 : Control System

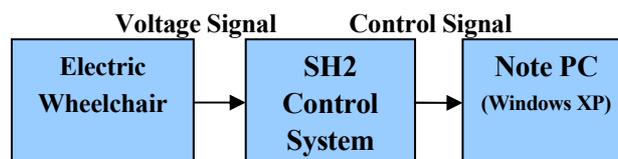


Fig. 2: System Flowchart

Table 1: Regulations of output character string

	w	s	x	a	d
Move ment	Forth	Stop	Back	Left Revolution	Right Revolution
Word	For-ward	Stop	Back	Left	Right

Table 2: Relation of movement of input voltage

Movement	Forth and Back Signal	Revolution Signal
Stop	1.29~2.39V	1.29~2.39V
Forth	0~1.28V	1.29~2.39V
Back	2.4~3.6V	1.29~2.39V
Left Revolution	1.29~2.39V	0~1.28V
Right Revolution	1.29~2.39V	2.4~3.6V

### 3. 画像処理

#### 3.1 画像処理の流れ

画像による電動車椅子の制御はリアルタイム性を重要視しているために画像処理に時間を取られてリアルタイム性を失うことは避けなくてはならない。よって比較的ノート PC に負荷を掛けない画像処理を行うことによりこの問題を回避する。

また、一枚の画像から二値化の閾値を変えることだけでもさまざまな情報を所得することができる。この違いにより使用する画像処理が異なる。これら一つ一つの処理から得られる情報での自律走行制御の正確性は 100%ではないが、これら複数の画像処理の組み合わせにより正確性を高め問題を解決する。

##### 3.2.1 二値化処理

USB カメラで取得した画像の各ピクセルの明るさを求め、それが一定の値よりも大きければ白(ハイライト)、小さければ黒(シャドウ)を出力する方法。通常、閾値の決定には明るさのヒストグラムを参考にする。Fig. 4 を閾値 0~255 の範囲で白黒画像に変換する方法により色々な情報を抽出することができる。この画像を閾値 240 で二値化すると Fig. 5 のような画像の中でも特にハイライトな情報が抽出でき、蛍光灯のような光源に着目するときに使用することができる。

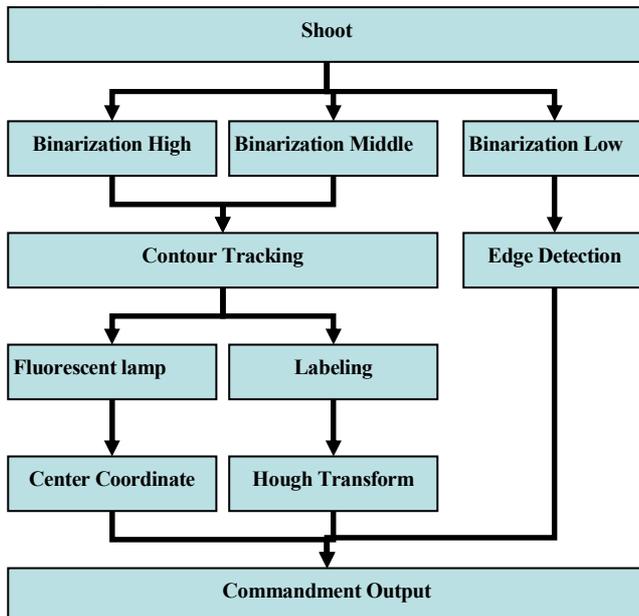


Fig. 3: Image Processing Flowchart

閾値 100 で二値化すると Fig. 6 のような廊下と天井、床のエッジが抽出できる。階調値が急激に変化する物が特に目立って抽出することができる。

閾値 40 で二値化すると Fig. 7 のような画像の中でも特にシャドウな情報が抽出でき、後に述べる消失点付近に集まった黒いエッジ部分に着目した処理に使用することができる。

この方法では中間調の部分がすべてハイライトかシャドウに振り分けられるので、画像の特徴が著しく強調されたものを得ることができる。

##### 3.2.2 輪郭線抽出処理

処理対象画像が二値の場合、境界線をたどるようにして輪郭線を抽出する。二値化処理をおこなった後の白黒画像 Fig. 5, Fig. 6 の画像に輪郭線追跡処理を行うと、それぞれ Fig. 8, Fig. 9 の画像のような輪郭線のみが残る画像になる。Fig. 8 ではどれが蛍光灯の塊なのか機械的に区別するために、白い塊それぞれの特徴として、縦幅・横幅・周囲長・面積・形状等を取得することにより、蛍光灯のみを抽出することができる。Fig. 9 では直線を抽出するための前処理として次の処理で計算回数を減らすために輪郭線情報を抽出する。



Fig. 4: Image of Passage



Fig. 5: Treshold240

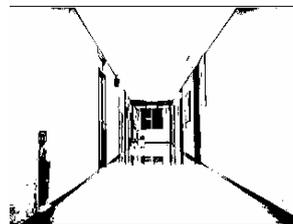


Fig. 6: Treshold100

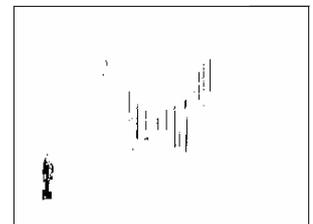


Fig. 7: Treshold40

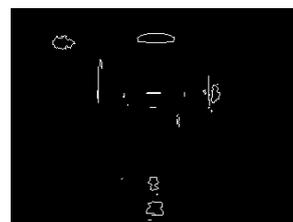


Fig. 8: Contour Tracking



Fig. 9: Contour Tracking

### 3.3 蛍光灯に着目した画像処理

Fig. 3の左のフローに当たるのがこの処理である。Fig. 5から廊下の中央に沿って電動車椅子を自律走行させる方法<sup>2)</sup>を検討する。蛍光灯の中心座標(廊下の中央に常に蛍光灯があるという前提)を求め、画像の中央から中心座標がどれくらい離れているかによって進行方向を決定し電動車椅子を自律走行させる。

#### 3.3.1 蛍光灯抽出処理

輪郭線追跡処理の際に得た白い塊の横幅と縦幅から、比率として「横:縦=3:1」以上になる横長の白い塊のみを表示する処理で、Fig. 8の画像に蛍光灯抽出処理を行うことにより蛍光灯以外の情報を取り除いた画像を得ることができ、Fig. 10のような横長の輪郭線のみが残る画像になる。

#### 3.3.2 中心座標取得処理

輪郭線追跡処理で得た白い塊のX座標Y座標と横幅縦幅を蛍光灯抽出処理で得た蛍光灯情報に組み合わせることにより中心座標を求めている。この情報から電動車椅子が廊下の中央からどれだけ離れているかを求め、この蛍光灯の座標を画面の中央に移動させるように電動車椅子に指示をだす。Fig.11に中心点を検出した図を示す。

### 3.4 ハフ変換を利用した消失点検出処理

Fig. 3の真ん中のフローに当たるのがこの処理である。Fig. 6から廊下の壁と床、天井のエッジについて廊下の消失点を求める方法を検討する。ここでは、消失点の特性を廊下の中心点として利用できないかと考え廊下の消失点を求める。消失点(ヴァニッシュポイント)とは、風景や、真っ直ぐに敷かれた線路などが遠くなるほど小さくなり、やがては点に収束してしまう。その点のことを言う(Fig. 12)。消失点が画面からどれくらい離れているかを求め、消失点を画面の中央に移動させるように電動車椅子を自律走行制御させる。

#### 3.4.1 ラベリング処理

初めに、消失点を求めるためにラベリング処理を行う。連結している画素の集合を連結成分と言う。連結している画素に同じラベルを付加することで複数の領域をグループとして分類することをラベリング処理と言う。ラベリング処理を行った2値化画像では、各画素にラベル(番号)を属性として付加することにより、特定の領域を抽出できる。複数の連結成分があるとき、ラベルを割り当てることでさまざまな処理がしやすくなる。

#### 3.4.2 ハフ変換

二値画像中の直線、円、任意の図形などの抽出を行う有効かつ汎用的な手法として用いられる。本研究では最も基本的で利用度の高い直線の抽出を行う $\theta-\rho$ -Hough変換を用いる。Fig. 13の左の図が示すように、点(x, y)を通る任意の直線は、その直線に交わる原点からの垂線の長さ $\rho$ とその垂線の成す角度 $\theta$ で表すことができる。点(x, y)を通る直線は多数あり、点(x, y)が決まると、 $\theta$ と $\rho$ の多数の組み合わせが得られる。もし、別の点と同じ直線状にあるとすると、二つの点は、 $\theta$ と $\rho$ の同じ組み合わせを共有することになる。 $\theta$ と $\rho$ の同じ組み合わせが多数あれば、元になる点はその直線を共有すると言うよりは、「そこに直線がある」ことを示しているといえる。Fig. 14はFig. 9の左上の塊を $\theta-\rho$ -空間に変換したものである。およそ $\rho=50$ 、 $\theta=140$ に重なりが見られる。この値を逆変換することにより直線を求める。

Fig. 3のフローで示したラベリング処理とハフ変換を使い、廊下の消失点の情報を得る。ラベリングした4つの塊に対してそれぞれハフ変換することにより直線を求め、直線の交点から消失点(廊下の中央)を求める。

### 3.5 消失点付近のエッジに着目した画像処理

Fig. 3の右のフローに当たるのがこの処理である。Fig. 4を閾値40で二値化するとFig. 7のような画像が得られる。Fig. 7から分かるように天井、床には階調値が急激に変化する物があり見つけら

れない。しかし、廊下の壁に着目して見るとドアや窓といった諧調値が急激に変化する物がある。これらの情報は3.4の説明にもあるように消失点の方向にぼやとした情報として表れる。このぼやとした情報のエッジ数を数えることによりFig. 19のようなエッジ数の一番大きい区間を廊下の中央として電動車椅子を制御する。

### 3.5.1 蛍光灯に着目した指令値

Fig. 15から「横:縦=3:1」以上になる横長の楕円がFig. 16のように3つ取得できる。画面を上から見て最初に出てきた楕円の中心点を廊下の中央として認識する。Fig. 16から蛍光灯の中心点は画面の中央にあることが分かる。そのため、電動車椅子は廊下の中央に位置していることが分かり、前進命令を出力する。指令を出力した図をFig. 16に示す。

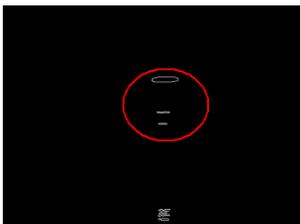


Fig. 10: Fluorescent lamp

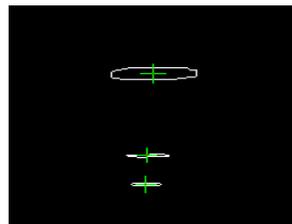


Fig.11: Center Point

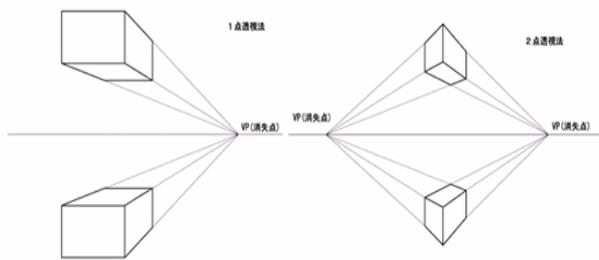


Fig12: Vanish Point

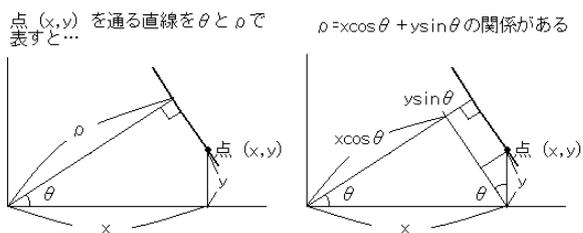


Fig13:Hough Transform

### 3.5.2 廊下のエッジに着目した指令値

Fig. 17から4つの塊にハフ変換の処理をそれぞれ行いFig. 18のように4本の直線を求めた。左上の塊をlabel1, 右上の塊をlabel2, 右下の塊をlabel3, 左下の塊をlabel4としてそれぞれに直線を求める。label1とlabel2の直線の交点, label2とlabel3の直線の交点, label3とlabel4の直線の交点, label4とlabel1の直線の交点をそれぞれ求める。それぞれの交点は必ずしも正確な消失点として求められず, 多少の誤差が出てしまう。そのため4つの交点の平均からおよその廊下の消失点を求め, その交点の値を廊下の消失点として認識する。Fig. 17から消失点は画面の中央にあることが分かる。そのため, 電動車椅子は廊下の中央に位置していることが分かり, 前進命令を出力する。指令を出力した図をFig. 18に示す。

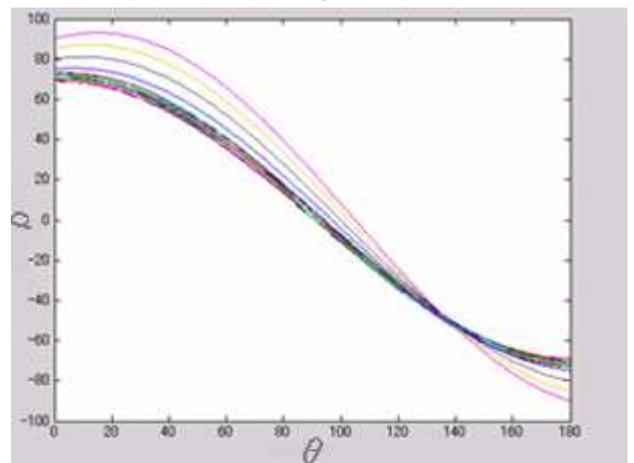


Fig14:  $\theta$   $\rho$ -Coordinate

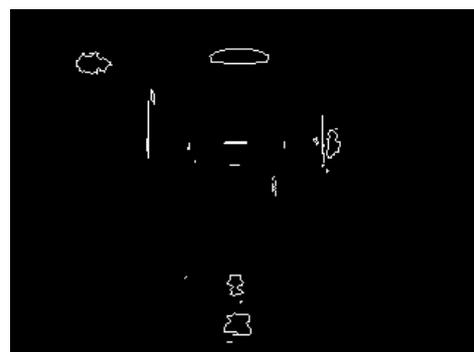


Fig15: Contour Tracking(Fluorescent Lamp)

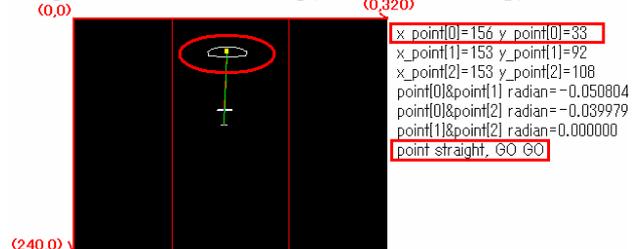


Fig16: Instruction Value by Fluorescent Lamp

```
x_point[0]=156 y_point[0]=33
x_point[1]=153 y_point[1]=92
x_point[2]=153 y_point[2]=108
point[0]&point[1] radian=-0.050804
point[0]&point[2] radian=-0.039979
point[1]&point[2] radian=0.000000
point straight, GO GO
```

### 3.5.3 消失点付近のエッジに着目した指令値

消失点の特性から Fig. 7 の画面手前に存在する大きな情報を取り除いた。よって消失点に収束する付近のエッジの数を数えることにより廊下の中央をおおまかであるが認識することができる。Fig. 19 のように領域ごとにエッジ数を調べ、どの領域のエッジ数が一番多いかによって廊下の中心位置を検出する。Fig. 19 からエッジ数が画面の真ん中の領域に一番多く存在することが分かる。そのため、電動車椅子は廊下の中央に位置していることが分かり、前進命令を出力する。エッジの数と指令を出力した図を Fig. 19 に示す。

### 3.6 指令値出力

Fig16, Fig18, Fig19 に示された三つの廊下の中心点座標を統合することにより電動車椅子の進行方向を決定する。統合した図を Fig. 20 に示す。画面は3つの領域から分かれており、この最終的に統合された廊下の中心点座標から Table3 に示している動作を行う。

## 4. 実験

画像処理は演算用計測機器に負荷の掛からない二値化の閾値の違いを利用した簡単な画像処理の組み合わせによる方法で構成されている。また、演算用計測機器は Windows のタイマーの機能を利用して5秒間のサイクルの間に撮影と画像処理を行い、検出した廊下の中心点を画面の中央に移動させるように電動車椅子に電圧信号を送信し走行する。結果、電動車椅子はジグザグ走行を繰り返しながら廊下の中央を自律走行することができた。

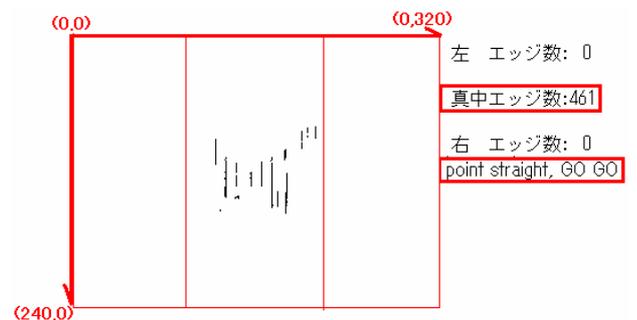


Fig19: Instruction Value by Edge Detection

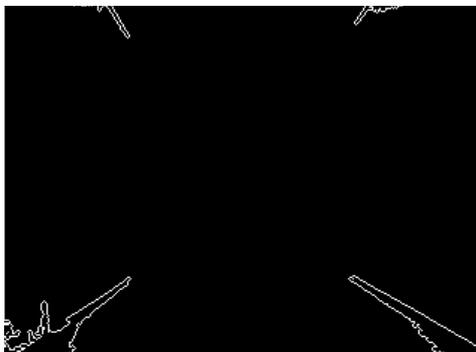


Fig17: Contour Tracking(Hough Transform)

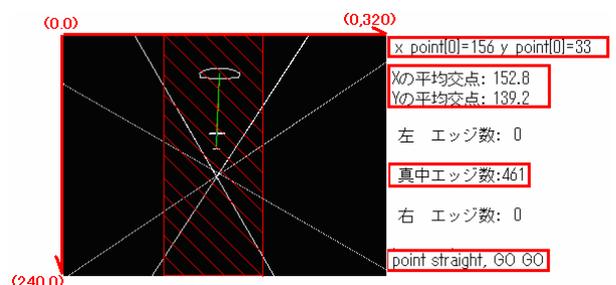


Fig20: Instruction Value of Three Images

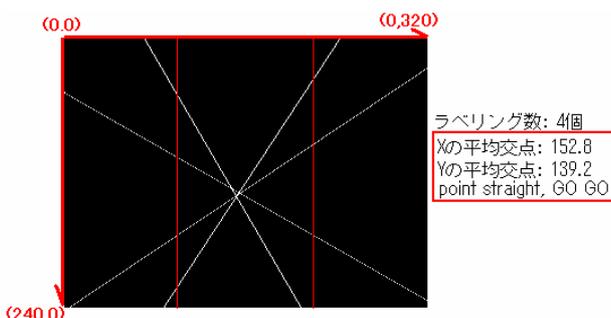


Fig18: Instruction Value by Hough Transform

Table 3: Regulations of Instruction value and screen area

Movement	Left Revolution	Forth	Right Revolution	Stop
Screen Area	0~100	101~220	221~320	No Target
Word	a	w	d	s

## 5. 結言

本研究では電動車椅子を視覚情報によりリアルタイムに自律走行させるための画像処理の提案をした。複数の画像処理の組み合わせによる自律走行の成立性を明らかにするために、実際に廊下で電動車椅子を自律走行させることにより検証した。この結果、

- ・電動車椅子は安定して廊下の中央を走行することができた。
- ・一つの画像処理による方法でもある程度の制御ができる。しかし、昼夜の違いや天候、窓から入り込む光の違い、部屋の電気の有無によりその時々で二値化の閾値を変更しなくてはならなかった。
- ・蛍光灯に着目した画像処理は夜間の場合には明確に蛍光灯の中心点が検出でき、消失点付近のエッジもはっきりと認識できるため優先度を上げた。蛍光灯の点いていない昼間の場合には廊下のエッジに着目した処理の優先度を上げることで、状況による優先度の使い分けを行った。
- ・複数の画像処理を重ね合わせることで、情報の信頼度を高めることができ、電動車椅子の自律走行制御が可能になった。

以上の結果から、提案する画像処理の組み合わせによる電動車椅子の自律走行制御の成立性が明らかになった。

本研究の画像処理のみによる電動車椅子の自律走行制御は障害物に対して回避行動を取ることができない。今後はPSDセンサなどの障害物を認識してそれを回避する機構を組み合わせることにより安全性の向上を目指す。

## 参考文献

- [1] G. K. H. Zupanc 著  
「行動の神経生物学」(2007)
- [2] 橋場 参生, 本間 稔規, 吉川 毅 著  
「視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発(第4報)-画像情報による周辺環境認識と走行制御への応用-」, 北海道立工業試験場報告 No. 296, 131/136

- [3] 安居院 猛・長尾 智晴 共著  
「C言語による画像処理入門」, 昭晃堂, (2000)
- [4] 糸井 康孝 著  
「猫でもわかる Windows プログラミング」, ソフトバンクパブリッシング, (2004)
- [5] 糸井 康孝 著  
「猫でもわかるC言語プログラミング」, ソフトバンクパブリッシング, (2004)
- [6] 林 晴比古 著  
「新 VisualC++6.0 入門」, (1998)
- [7] 佐藤 真二 著 山形大学 工学部 応用生命システム工学 渡部研究室 卒業論文(2005)  
「電動車椅子のための視覚制御の基礎研究」
- [8] 村田 賢文 著 山形大学 工学部 応用生命システム工学 渡部研究室 卒業論文(2004)  
「電動車椅子の障害物検出と回避制御」