

USB カメラと測域センサを用いた歩行支援システムの構築

木口 浩之[†] 渡部 広一[‡] 河岡 司[‡]

†‡同志社大学大学院工学研究科 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

E-mail: †dth0719@mail4.doshisha.ac.jp, ‡{hwatabe, tkawaoka}@mail.doshisha.ac.jp

あらまし 本研究では、USB カメラや測域センサからの検出情報により視覚障がい者の歩行支援を目的としている。USB カメラや測域センサが取り付けられたキャリーケースを歩行の際に押してもらい、歩行可能領域や段差・障害物等の情報を視覚障がい者にスピーカーの音で報せるというシステムである。歩行可能領域かどうかの判別には、カメラからの入力画像に対してクラスタリングという画像認識を行い、段差や障害物等の認識には測域センサからの検出情報を用いて実現する。

キーワード USB カメラ, 測域センサ, 視覚障害者, 画像認識

Construction of the walking support system using USB camera and range sensor

Hiroyuki KIGUCHI[†] Hirokazu WATABE[‡] and Tsukasa KAWAOKA[‡]

†‡Graduate School of Engineering, Doshisha University

1-3 Miyakodani Tatara Kyotanabe-shi, Kyoto, 610-0394 Japan

E-mail: †dth0719@mail4.doshisha.ac.jp, ‡{hwatabe, tkawaoka}@mail.doshisha.ac.jp

Abstract In this research, it has aimed at the visually handicapped person's walking support according to detection information from the USB camera and the range sensor. The carry case where the USB camera and the range sensor were installed when walking is pushed, and the system is report in the visually handicapped person because of the sound of the speaker as for information such as the area where he can walk, differences, and obstacles. It achieves it in the distinction whether it is an area where he can walk by doing the image recognition of clustering to the input image from the camera, and using detection information from the range sensor for the recognition such as differences and obstacles.

Keyword USBcamera, Range Sensor, visually handicapped, Image Recognition

1. はじめに

視覚障がい者が単独歩行する際には白杖や盲導犬などを利用して歩行することが一般的である。また公共のインフラ設備として、駅や街中に設置されている誘導ブロックや誘導サインを利用する場合もある。しかし、白杖は知覚できる範囲が狭い、盲導犬は育成の問題から絶対数が少ない、誘導ブロックは設計上の問題から機能していない物も多い、などの問題点がある。このような状況を踏まえて、ステレオ視による障害物検出[1]やカメラ画像からの白線・横断歩道の認識[2]等の歩行支援の研究が盛んに行われている。

そこで本研究では、USB カメラや測域センサからの検出情報により歩行可能領域を認識し、この情報を元に視覚障がい者の歩行支援を目的としている。具体的には、USB カメラや測域センサが取り付けられたキャリーケースを歩行の際に押してもらい、歩行可能領域や段差・障害物等の情報を視覚障がい者にスピーカーの音で報せるというシステムである。歩行可能領域かどうかの判別には、カメラからの入力画像に対してクラスタリングという画像認識を行い、段差や障害物等の認識には測域センサからの検出情報を用いて実現する。なお、ここで述べている歩行可能領域とは、障害物や段差ではなく、人間が普通に歩ける領域の事である。

2. 研究環境

本研究の歩行支援システムは図 1 であり、各機器が取付けられている。キャリーケースの幅は横幅 35cm、縦幅 25cm、高さ 53cm であり、その取っ手部分に 30 万画素の USB カメラ、バック上部の前面にセンサがそれぞれ斜め下の地面方向に向けて取付けられている。さらにノートパソコンやモバイルスピーカーも付いている。また真横から見た測域センサ等の測定範囲は図 2 である。

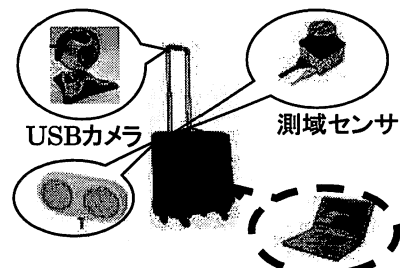


図 1 歩行支援システムの全体像

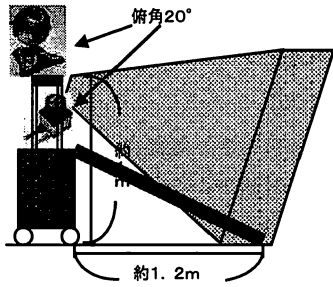


図 2 測定範囲の断面図 (真横)

また測域センサである URG-04LX の動作イメージは図 3 であり、仕様は表 1 の様になっている..

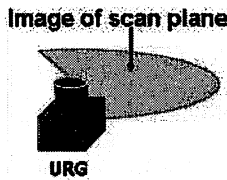


図 3 URG センサのイメージ図

表 1 URG-04LX の仕様

電源電圧	DC 5V
消費電流	500mA
検出距離	0.02~4m
測距分解能	1mm 単位
走査角度	240 度
角度分解能	約 0.36 度
走査時間	100ms/scan

入力画像の一例を図 4 に示す。またカメラ画像に対してセンサが検出している範囲は、図 4 の点線部分である。なお左下の隅が XY 座標の原点とする。

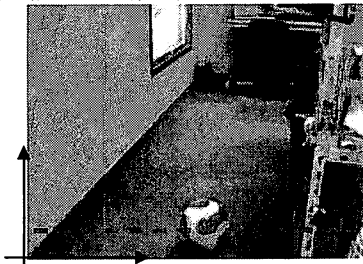


図 4 USB カメラからの入力画像

3. システムの流れ

図 5 に本研究のシステムの流れを示す。まずセンサ・カメラからの情報が入力される。そしてセンサからの検出情報を元に障害物や段差がないか調べ、障害物や段差だと認識した領域とカメラ画像の座標とが一致する領域に対して非歩行可能領域とする。次にセンサによって歩ける領域、つまり 1.2m 先に地面があると検出された領域を歩行可能領域の初期領域とし、クラスタリングという後述の画像認識を行って歩行可能領域を拡張していく。最後に求めた歩行可能領域から歩行経路を決定し、音声で歩行者に状況や指示を報せる。

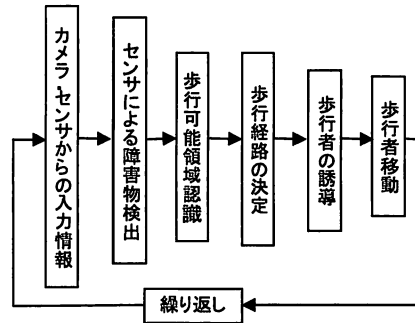


図 5 歩行支援システムの処理の流れ

4. L^* , a^* , b^* 表色系

本研究では、色差という基準となる色情報とカメラ画像内のある点の色情報との差を求め、障害物・段差や歩行可能領域の画像認識を行っている。色差を求める際に、 $L^*a^*b^*$ 表色系というものをを用いている。 $L^*a^*b^*$ 表色系とは、XYZ 表色系で表される三刺激値 X , Y , Z を用いて次のように求めることができる。

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$a^* = 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right\} \quad \dots \text{式(2)}$$

$$b^* = 500 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right\} \quad \dots \text{式(3)}$$

5. センサによる状況認識

センサによる役割は障害物・段差の検出による除去と歩行可能領域の初期パラメータを決定する事である。この 2 つの処理について以下に記す。

5.1. 障害物・段差検出における入力画像の除去

本システムにおけるセンサの前方中心における検出結果は約 1300(mm) であり、これを基準とし 1200~1400 の閾値内にあれば、歩行可能な値としている。このように閾値に幅を持たせている理由は、上り坂や下り坂、歩行中の振動等による検出値のずれを考慮しているためである。

そして 1200 より小さな値が検出されれば障害物の検出値と認識し、1400 より大きい値または 10 以下の値 (反射する物体が何もない空間) が検出された場合は段差の検出値であると認識できるように閾値を設定している。

もし検出値が 8 個以上連続して障害物の検出値ならば、障害物領域と認識し、まず図 6 のようにセンサで検出された分だけを非歩行領域として黒く塗りつぶす。さらに図 6 の四角で囲まれた領域の画素の平均値を元に、センサの測定範囲外 (障害物領域の真上のみ) の各画素について色差を求め、色が近ければ同様に非歩行領域とする。この処理結果が図 7 である。また、図 7 の四角で囲まれた領域が歩行可能領域であり、これが次章のクラスタリングの初期パラメータを設定するための領域である。



図 6 縦幅 30 の障害物除去



図 7 Lab の色差による障害物除去

5.2. 歩行可能領域の初期パラメータの設定

歩行可能領域の場合も障害物・段差と同様にセンサの検出値が 25 目盛り分以上連続して歩行可能な値だと判別された場合、歩行可能領域であると認識する。なお 25 目盛りという基準は人がかろうじて歩けるのに最低限確保すべき長さであると実験によって求めた値である。次にセンサによって歩行可能領域だと認識された範囲から初期パラメータの設定を行う。この初期パラメータは次章で述べるクラスタリングによる歩行可能領域の拡張で使用される。初期パラメータの設定とは、XY 座標の平均値と Lab の平均値の 5 次元情報について求めるものである。求め方については、XY 座標がセンサによって歩行可能領域だと認識された中心座標、Lab の平均値は先ほど求めた X 座標を中心に横幅 60 画素、縦幅は Y 軸方向に 0~60、計 3600 画素分のデータから求める。図 7 の場合、点が初期パラメータの XY 座標の位置、四角内が 3600 画素分のデータとなる。

6. クラスタリングによる歩行可能領域の拡張

センサによって求められた領域の色情報を元にセンサの測定範囲外についても、色差を求めることで歩行可能領域の拡張を行っていく。障害物・段差の場合と同様に色差を求めるのに $L*a*b$ 表色系を用いる。ただし単純に色差を求めただけで歩行可能領域を拡張していくと、影等の環境にありふれたノイズによって思うように方向可能領域の認識ができない。したがって本システムではクラスタリングという手法を用いる。

まず図 8 の長方形内(3600 画素)の色情報(Lab)の平均値と XY 座標の平均値を求める。Lab の平均値をそれぞれ L_{ave} , a_{ave} , b_{ave} とし、X 座標、Y 座標の平均値を X_{ave} , Y_{ave} とする。求めたパラメータが表 2 である。カメラ画像内の非歩行可能領域以外の各画素に対して、式(4)に代入して上記の平均値との差を求める。また係数 m と n の値を 0.6 と 0.4 とする。

$$m * \sqrt{(L - L_{ave})^2 + (a - a_{ave})^2 + (b - b_{ave})^2} \dots \text{式(4)}$$

$$+ n * \sqrt{(X - X_{ave})^2 + (Y - Y_{ave})^2}$$

もし求めた差が閾値よりも小さければ、その画素を歩行可能領域とする。なお閾値は 90 としている。

これらにより拡張された歩行可能領域全体に対して、初

期パラメータを求めた時と同様に色情報と XY 座標のそれぞれ平均値を求め、前述と同様の処理を繰り返す。クラスタリング 1 回目の処理が図 9、5 回繰り返した処理結果が図 10 であり、表 2 が各パラメータの変動を表したものである。



図 8 入力画像(クラスタリング処理の一例)

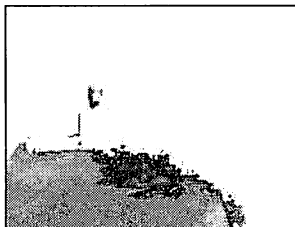


図 9 クラスタリング処理 1 回目の出力結果

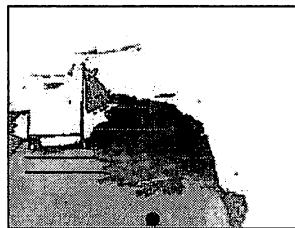


図 10 クラスタリング処理の 5 回目の出力結果

表 2 クラスタリング処理の各パラメータ

各パラメータの名称	初期	1回目	5回目
X 座標の平均値 X_{ave}	160	141	123
Y 座標の平均値 Y_{ave}	30	24	54
L の平均値 L_{ave}	178	170	167
a の平均値 a_{ave}	107	106	105
b の平均値 b_{ave}	96	96	96

7. 歩行経路の決定

歩行可能領域が認識されても実際にどの方向に行けばいいかわからない。なぜならセンサによって判別できる手前側の画像内に歩行可能領域が分かっていたとしても、センサの測定範囲外がクラスタリングによって歩行可能領域の拡張をどの程度されているか未知数だからである。下記の手法で拡張された歩行可能領域を調べていき、歩行経路を決定する。

クラスタリング処理によって歩行可能領域の X, Y の平均値は分かっているので、その Y 座標をスタート地点として X 軸方向に歩行可能領域の画素が連続していくつあるかカウントしながら走査していく。もし連続した画素が 80 以上あるならば、1 つ上の Y 座標についても同様に走査していく。これを繰り返して連続した画素が 80 未満になった場合、1 つ下の Y 座標を歩行経路の Y 座標とし、X

座標は連続した画素の中心とする。これが歩行経路の終着点となる。図 10 の場合だと、奥側の点が歩行経路の終着点である。手前側の点は開始点であり、Y 座標は 0、X 座標は歩行可能領域の連続した画素の中心点である

また決定した歩行経路によって、音声による視覚障がい者の誘導も決定される。

8. 実験・評価

本システムのキャリーケースを手で押しながら、筆者がキャンパス内を約 15 分ほど目隠しせずに歩いて精度を調べた。評価の仕方は、出力結果の画像を 1 枚 1 枚目視で判断していき、下記のような評価を行った。

成功の場合

・歩行可能領域を歩行可能領域と認識。歩行経路の決定も概ね正しい

・障害物・段差を認識して、非歩行領域と認識

失敗の場合

・センサの検出値がおかしく、障害物・段差を認識できない。または障害物・段差がないのに誤認識

・画像認識（クラスタリング処理）がうまくいかず、歩行経路の決定を失敗

実験結果を表 3 に示す。また成功例を図 11 に示し、画像認識による失敗例を図 12 とエラー! 参照元が見つかりません。に、センサによる失敗例を図 13 に示す。なお、処理結果画像内の 2 つの点は、手前が歩行経路の開始点で、奥側にあるのが終着点である。

表 3 実験結果

入力画像総数	849 フレーム
画像認識による失敗の出力数①	21 (2.4%)
センサの検出値による失敗の出力数②	53 (6.2%)
出力結果の失敗総数(①+②)	74 (8.7%)
出力結果の成功総数	775 (91.3%)

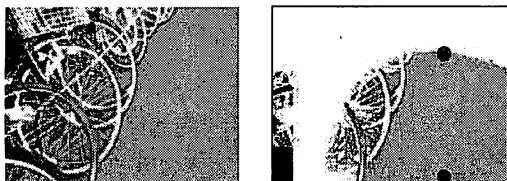


図 11 クラスタリング処理による成功例(駐輪場)

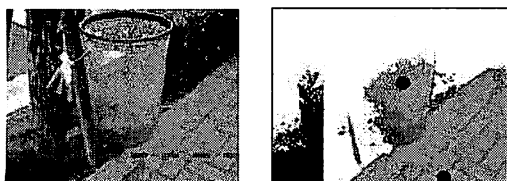


図 12 画像認識による失敗例1(ゴミ箱)

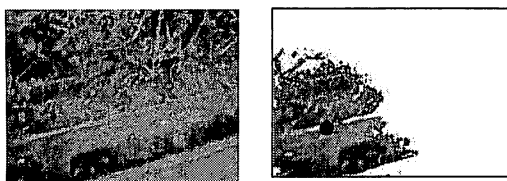


図 13 センサの検出値による失敗例(側溝)

まずは個々の出力結果について考察していく。図 11 は駐輪場のシーンであるが、自転車という障害物はセンサに

よって認識しにくい物体である。このような状況の中でも、クラスタリング処理によって歩行可能領域を認識し、自転車の障害物領域は部分的ではあるが白く塗りつぶされることにより、歩行経路の決定を成功させている。

図 12 では、点線がセンサの照射されている位置であり、障害物のゴミ箱までセンサが届いていない。そこでクラスタリング処理によって白く塗りつぶされることによって歩行経路を正しく決定できるはずなのだが、誤認識により失敗している。原因は歩道の色とゴミ箱の色が比較的に近い色だったからである。またセンサによる失敗例としての図 13 は、側溝が狭いために側溝の壁を地面として誤認識しているためである。

全体的な精度についての考察として表 3 の結果を見ると歩行可能領域の認識する精度が 91.3%であり、クラスタリング処理による画像認識の有効性があるように見える。しかし実験中には簡単に歩行経路の決定ができるような入力画像も多く、これらによって高い精度結果が出ている側面がある。実際歩行経路の決定が難しい入力画像では失敗する出力結果が目立った。

そこでもう 1 つの評価として視覚障がい者にとって目の前の状況が停止または回避行動迫られる場合に、本システムが認識できているかについてシーン別に総合的に評価する。シーンとは、例えば同じ障害物が映っている入力画像の 2,3 フレームを合わせて 1 シーンとする。1 シーンの中でいずれかのフレームが正しく歩行経路の決定ができていれば成功とする。その評価結果を表 4 に示す。

表 4 シーン別の評価

障害物・段差のシーン	34 シーン
失敗したシーン	8 シーン(24%)
成功したシーン	26 シーン(76%)

シーン別の評価では、危険を危険として認識できていないケースが多い事が分かるので、今後安全性をより高めていきたい。また段差等の失敗はセンサに依存する部分なので、センサを増やす等することによって、精度を上げていきたい。

9. おわりに

本システムにより白杖ではわからない、1.2m~3m 先の情報を視覚障がい者に与えられるといえる。また提案手法であるクラスタリングが歩行可能領域の認識に有効であったと考えられる。しかし、様々な状況により失敗も多々ある。これらを 1 つずつ改善していきたい。

文 献

- [1] 小山 善文, 井上 高宏, “歩行支援装置化のための障害物検知手段”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-2, No.10, pp. 2475-2479, 1998
- [2] 和賀 宗仙, 村田 優, 田所 嘉昭, “視覚障害者のための白線・横断歩道検出と誘導法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.738, pp. 19-24, 2003
- [3] 樋口 雄一, 林 清鎮, 渡部 広一, 河岡 司, “知能ロボットの自律移動のための実画像からの物体認識”, 第 17 回人工知能学会全国大会論文集, 2C3-05, 2003.
- [4] 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム, “OpenCV プログラミングブック”, 株式会社毎日コミュニケーションズ, 2007.