画像による横断歩道の距離推定

北 脇 卓*・呉 海 元**・塩 山 忠 義**

Length Estimation of Crosswalk from Image Data

Suguru KITAWAKI*, Haiyuan WU** and Tadayoshi SHIOYAMA**

For the purpose of assisting for the blind to cross a crosswalk alone in safety, this paper presents a method for detecting an endline of a crosswalk and estimating the length of the crosswalk from an input image. First, we extract a region of white lines at a crosswalk by binarizing a grey scale image. And outlines of white lines are detected by using the Hough transformation. Then, we get the direction of their three-dimensional (3-D) vectors from the image information under the perspective projection, and obtain the direction of the road surface normal on the basis of vector analysis. Finally, we estimate the distance between the blind and an endline of a crosswalk. Extensive experiments show the effectiveness of the proposed method for real images of crosswalks.

Key Words: perspective projection, the blind, image information, vector analysis, length estimation of crosswalks

1. はじめに

“見る”という機能は、われわれが歩行を正確、安全かつ迅速に行なうための大きな要因になっている。よって、この環境認知に重要な視覚に障害を持つ視覚障害者（以下、視障者とよぶ）が単独歩行することはたいへん困難である。特に道路の横断には大きな危険を伴う。視障者が単独で、かつ安全に横断歩道を渡るために、現在、国や地方自治体、企業が協力して、音声信号機や開発中の器具による交差点内のバリアフリー化を目指している。しかし、これらの装置の普及には時間がかかり、それをただ待っているわけにはいかない。一方では、レーザ・超音波・イメージセンサなどを用いた歩行補助のための、携帯できるような電子機器も研究開発されている。しかし、それらの機能は障害物・段差検知までにとどまり、それだけでは横断歩道を安全に横断することはできない。また、残存諸感覚をふさいでしまうという別の問題もあり、小型で軽量かつ高性能、しかも耐久性がある機器が必要である。

このような状況下で、われわれは視障者用単独歩行支援システムとして、横断歩道の距離推定に関する研究に取り組ん

でいる¹⁾。最近ではレーザによる距離計測が可能になっている²⁾が、その測定方法は一般に測定したい部分へレーザを照射し、その反射により距離を計測するため、視障者が立ち位置から横断歩道終端までの距離を計測することは困難である。そこで、本研究ではイメージセンサから得られた画像情報を用いた距離計測を行なった。画像による距離推定には、ステレオ画像と単眼画像を用いたものがある。ステレオ計測は2枚以上の画像における対応付けが必要となるが、画像に写っている横断歩道の背景や照明状況などは複雑で刻一刻と変化するため、その対応付けを正確に行なうことが困難となる。また、片手に白杖を持った視障者にできるだけ負担をかけず、キャリブレーションの手間を省くなどの理由から、本研究において、ステレオ画像ではなく単眼画像における距離計測を行なった。

いままで、われわれの研究グループの西部らは、地下の駅において、プラットホーム縁端の上方にある照明灯と駅構内の行き先表示板などの人工物を利用して、プラットホーム縁端までの距離とその方向の検出を行なってきた³⁾。本研究で対象となる横断歩道の特徴として、地下の駅構内より人工物が少ないことが挙げられる。本論文では、入力画像から横断歩道を構成する各白線の輪郭を抽出し、それを用いて立ち位置と横断歩道終端間の距離推定を行なうアルゴリズムを提案する。横断歩道の描かれた実際の路面には、かまぼこ状の傾斜が存在するが、その傾斜はわずかであるため、「足元の路面は平面である」と仮定できる。本論文では、その平面の面方位を求めるために、各白線の輪郭から横断歩道全体の輪郭を抽出する。横断歩道を観測した場合、水平方向への横断歩道の輪郭は、白線の水平方向への輪郭に対して Hough 変換を行

* 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
機械システム工学専攻

** 京都工芸繊維大学工芸学部機械システム工学科

* Dept. of Mechanical and System Engineering, Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

** Dept. of Mechanical and System Engineering, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology
(Received October 19, 2001)
(Revised March 4, 2002)

なうことで安定に抽出できる。しかし、奥行き方向への横断歩道の輪郭は、奥行き方向への各白線の輪郭に対して Hough 変換のみを行なっても正確に得られない。それは、路面がわずかにまばこ状であり、各白線の四隅を奥行き方向に結んだ包絡線は、画像上で直線にならないためである。そこで、本論文では、白線における四隅の座標を最小自乗法で結びつけることで横断歩道の奥行き方向へのより理想的な輪郭を抽出した。白線の四隅における座標の抽出は、SUSAN コーナー抽出アルゴリズム（以下、SUSAN オペレータとよぶ）で得られた特徴点と、白線の輪郭を比較することで行なう。

一方、小谷らは Hough 変換による横断歩道の輪郭抽出により、仮定したロボットと路面の相対関係が路面の傾斜やカメラの振動によりずれた場合、それを補正する研究報告をした^{4),5)}。しかし、本研究のような横断歩道における距離推定に関する報告は、これまでにまだされていない。

2. 横断歩道検知の原理

2.1 横断歩道のモデル

横断歩道は、通常正面から見た場合、横断歩道と自転車横断帯（あるいは、停止線）（Fig. 1(o)）における白線により構成されている。本論文では、横断歩道の白線におけるエッジについて、正面から見て水平に見えるものを水平エッジ直線（Fig. 1(p)）、それと垂直関係にあるエッジを垂直エッジ直線（Fig. 1(q)）とし、その白線の四隅を横断歩道のコーナー（Fig. 1(r)）と定義する。それらを用いて横断歩道終端部の推定、および終端部までの距離推定を行なう。

Fig. 1 The notional figure of a crosswalk

2.2 観測点・横断歩道終端間の距離推定原理

イメージセンサのレンズ中心 O を原点とすると、画像と実際の横断歩道には、透視変換（Fig. 2）の関係が成り立つ。よって、Fig. 3 に示しているように、3次元空間での横断歩道における水平エッジ直線のうち、本研究で抽出する終端部の直線 l_e 、他の手前における直線 l_1, l_2 は、実画像上では L_i ($i = 1, 2, e$) で表わされる。このとき、画像上の直線をそれぞれ $A_i x + B_i y + C_i = 0$ ($i = 1, 2, e$) で表わすとして、原点 O と L_i ($i = 1, 2, e$) で決定される平面における単位法線ベクトル $\vec{m}_i$ はつぎのようになる。

$$\vec{m}_i = \frac{1}{\sqrt{A_i^2 + B_i^2 + \left(\frac{C_i}{f}\right)^2}} \begin{pmatrix} A_i \\ B_i \\ \frac{C_i}{f} \end{pmatrix} \quad (i = 1, 2, e) \quad (1)$$

ただし、 $A_i = B_i = 0$ なら、無限遠直線であると解釈する。また、 f は観測カメラレンズの焦点距離とする。

Fig. 2 Perspective projection

Fig. 3 The definition of edgelines (L_1, L_2, L_e, L_3, L_4)

Fig. 4 The relation between the plane ($\bar{P}, \bar{P}_0, \bar{P}_e$)

Fig. 4 に示すように、直線 l_e と原点 O で定まる平面を $\bar{P}$ とすれば、直線 l_e は路面 $\bar{P}_0$ と平面 $\bar{P}$ との交線となる。直線 l_e の方向ベクトルを $\vec{u}$ とすれば、 $\vec{u}$ は路面の単位法線ベクトル $\vec{n}$ と $\vec{m}_e$ に直交する。また、3次元空間で l_i ($i = 1, 2, e$) が平行であることを考えると、直線 l_1, l_2 の単位方向ベクトルも $\vec{u}$ である。よって、直線 L_1, L_2 における $\vec{m}_1, \vec{m}_2$ もまた $\vec{u}$ と直交する。

これと同様に、3次元空間において平行である垂直エッジ直線 l_3, l_4 も、画像上ではそれぞれ L_j ($j = 3, 4$) で表わされ（Fig. 3）、直線 L_j ($j = 3, 4$) と原点 O で定まる平面の単

位法線ベクトル $\vec{m}_j$ ($j = 3, 4$) と直線 l_j ($j = 3, 4$) の方向ベクトル $\vec{v}$, そして路面の単位法線ベクトル $\vec{n}$ は直交する.

以上より, 以下の式が得られる.

$$(\vec{u}, \vec{m}_i) = 0 \quad i = 1, 2, e \quad (2)$$

$$(\vec{v}, \vec{m}_j) = 0 \quad j = 3, 4 \quad (3)$$

$$(\vec{u}, \vec{n}) = 0 \quad (4)$$

$$(\vec{n}, \vec{v}) = 0 \quad (5)$$

ただし, $(\vec{a}, \vec{b})$ は $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のスカラー積を示す.

本論文は, このような2次元 xy 画像から得られるベクトルを用いて, 3次元空間での横断歩道 (Fig. 4) を解析する. 路面 $\bar{P}_0$ とその路面の単位面方位ベクトル $\vec{n}$ は, d を路面から原点 O までの高さとする, それぞれ

$$\bar{P}_0: aX + bY + cZ + d = 0, \quad a^2 + b^2 + c^2 = 1 \quad (6)$$

$$\vec{n} = (a, b, c)^T \quad (7)$$

で表わせる. また, 原点 O をとおり, 単位法線ベクトルとして $\vec{u}$ を持つ平面を $\bar{P}_e$ とする. このとき, 平面 $\bar{P}_0, \bar{P}, \bar{P}_e$ の交点を R_e とすれば, 点 R_e は原点 O から最も近い直線 l_e 上の点である. 原点 O と点 R_e との距離を $\overline{OR_e}$ とし, 横断歩道終端最近点までの水平距離を h_e とすれば, h_e は

$$h_e = \sqrt{\overline{OR_e}^2 - d^2} \quad (8)$$

となる.

以上のように, カメラ座標系で立ち位置と横断歩道終端部までの距離推定を行なう. よって, 本システムは, 「足元の路面は平面である」という仮定のもとに, カメラの向きや傾きとは関係なく適応できる.

2.3 距離推定の流れ

本システムの流れを Fig. 5 に示す.

入力された1枚の画像から, まず, 横断歩道の水平エッジ直線 L_1, L_2, L_e を抽出する. つぎに, 鉛直方向の直線 L_3, L_4 を求める. 得られたこれらの情報から以下の手順で立ち位置から横断歩道終端までの水平距離を推定する.

手順(1) L_1, L_2 と原点 O を通る平面の単位法線ベクトル $\vec{m}_1, \vec{m}_2$ を求める. 直線 l_1, l_2 の方向の単位ベクトル $\vec{u}$ は (2) 式を満たし, $\vec{m}_1, \vec{m}_2$ の外積を用いて計算できる. したがって, $\vec{u}$ はつぎのようになる.

$$\vec{u} = \frac{\vec{m}_1 \times \vec{m}_2}{\|\vec{m}_1 \times \vec{m}_2\|} \quad (9)$$

同様に, L_3, L_4 と原点 O を通る平面の単位法線ベクトル $\vec{m}_3, \vec{m}_4$ を求め, $\vec{v}$ をつぎの関係より求める.

$$\vec{v} = \frac{\vec{m}_3 \times \vec{m}_4}{\|\vec{m}_3 \times \vec{m}_4\|} \quad (10)$$

手順(2) (4), (5) 式より, 路面の法線ベクトル $\vec{n}$ はベクトル $\vec{u}$ と $\vec{v}$ の外積を用いてつぎの式で表わすことができる.

$$\vec{n} = \frac{\vec{u} \times \vec{v}}{\|\vec{u} \times \vec{v}\|} \quad (11)$$

Fig. 5 The flow chart of the proposed method

手順(3) 求めた $\vec{u}, \vec{v}$ より路面 $\bar{P}_0$ を計算し, 求める直線 l_e と原点 O で定まる平面 $\bar{P}$, 原点 O をとおり法線ベクトルが $\vec{u}$ の平面 $\bar{P}_e$ は $\vec{m}_e = (m_{ex} \ m_{ey} \ m_{ez})^T$, $\vec{u} = (u_x \ u_y \ u_z)^T$ を用いてつぎのように表わすことができる.

$$\begin{aligned} \bar{P}: m_{ex}X + m_{ey}Y + m_{ez}Z &= 0 \\ \bar{P}_e: u_xX + u_yY + u_zZ &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

3平面 $\bar{P}, \bar{P}_e, \bar{P}_0$ の交点 $R_e = (X, Y, Z)$ は, $A = (\vec{m}_e \ \vec{u} \ \vec{n})^T$, $\vec{R}_e = (X \ Y \ Z)^T$, $\vec{a} = (0 \ 0 \ -d)^T$ としてつぎの式を満たす.

$$A\vec{R}_e = \vec{a} \quad (13)$$

ただし, A は列ベクトル $\vec{m}_e, \vec{u}, \vec{n}$ を並べて構成される行列の転置である. よって $\vec{R}_e$ はつぎのように得られる.

$$\vec{R}_e = A^{-1}\vec{a} \quad (14)$$

手順(4) 点 R_e から, (8) 式によって, 立ち位置から直線 l_e までの距離 h_e を計算する.

(13) 式の解 R_e の存在についての考察

行列 A の行列式 $|A|$ は $\bullet$ を内積, $\times$ を外積として

$$|A| = \vec{m}_e \bullet (\vec{u} \times \vec{n}) \quad (15)$$

と表わされ, $\vec{m}_e$ と $\vec{u} \times \vec{n}$ が直交するときのみ $|A| = 0$ となる. しかし, 本論文では Fig. 4 に示すように $d \neq 0$ の場合を取り扱うため, $\vec{m}_e$ と $\vec{u} \times \vec{n}$ は直交することはない, $|A| \neq 0$ となる. よって A の逆行列 A^{-1} が存在し, $\vec{R}_e$ は (14) 式によって得ることができる.

3. 横断歩道の直線抽出

ここでは画像から横断歩道の水平エッジ直線および垂直エッジ直線を抽出する方法について述べる。

3.1 水平エッジ直線の抽出

ほぼ正面から撮った横断歩道の画像において、白線の水平エッジ直線は比較的長く、かつ連続であるため、雑音に強い Hough 変換によって安定に抽出できる。よって、本研究ではつぎの手法で水平エッジ直線の抽出を行なう。

まず最初に、画像から変換された濃淡画像を Sobel オペレータにかけ、エッジを抽出する。それを細線化し、Hough 変換を行なうことによって、水平エッジ直線を抽出する。ただし、本研究の Hough 変換で用いる ρ は $x-y$ 平面上の直線に原点から下ろした垂線の長さを表わし、 θ は垂線と x 軸とのなす角を表わす。ここで、横断歩道の白線における水平エッジ直線以外の余計な直線がなるべく検出されないように、拘束条件を付ける。条件付き Hough 変換は、つぎのような手順で行なう。

手順(1) $\rho-\theta$ 空間を表わす 2 次元配列を用意する。

手順(2) 画像上の左上隅の画素から順に黒点の画素に対して ρ, θ を求める。 θ の範囲は $0 \leq \theta \leq 180$ (degree) とし、その計算結果から配列の要素に値 1 を加算する。これをすべての画素について繰り返す。

手順(3) 抽出した配列の要素から 1 要素ごとに $\rho-\theta$ 空間から $x-y$ 空間へ逆変換し、つぎの条件を満足する直線を水平エッジ直線として抽出する。

- $\rho-\theta$ 空間を表わす 2 次元配列から度数分布を求め、その度数が閾値以上であること。

- 8 近傍で度数が最大であること。

- 白線の水平エッジ直線はすべてほぼ同じ方向を向いていると考えられるので、画像上においても θ はほぼ同じ値となる。したがって、Hough 変換する際 $\rho-\theta$ 空間において水平エッジ直線の方と同じ θ 上に軌跡は集中する。そのため、 $\rho-\theta$ 空間において、 $0 \leq \theta \leq 180$ (degree) の範囲内で $1/3$ (degree) ずつに区切られたそれぞれの θ において θ 一定方向の ρ に関する和を取り、その和が最大となる θ を θ_{max} として算出する。この θ_{max} と θ の差が閾値以内となる直線を抽出する。

- 隣接する直線の ρ, θ を ρ_i, θ_i と ρ_j, θ_j とすると、 $|\rho_i - \rho_j| \geq C_1$ 画素の場合、両者を抽出する。

- $|\rho_i - \rho_j| \leq C_1$ 画素の場合、 (ρ_i, θ_i) (ρ_j, θ_j) のピーク値を調べ、より高い方の直線を抽出する。

また、 $\rho-\theta$ 空間から $x-y$ 空間への逆変換はつぎのようになる。

- $\cos\theta = 0$ かつ $\sin\theta \neq 0$ のとき

$$y = \frac{\rho}{\sin\theta}$$

- $\cos\theta \neq 0$ かつ $\sin\theta = 0$ のとき

$$x = -\frac{\rho}{\cos\theta}$$

- $\cos\theta \neq 0$ かつ $\sin\theta \neq 0$ のとき

$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta}x + \frac{\rho}{\sin\theta}$$

つぎに原画像 Fig. 6 (a) と、Hough 変換により得られた水平エッジ直線の画像例を Fig. 6 (b) に示す。

Fig. 6 The extracted horizontal edge lines

3.2 垂直エッジ直線の抽出

本研究で用いる画像において、白線の垂直エッジ直線は比較的短く、不連続である。また、実際の路面はかまぼこ型のわずかな傾斜が存在する。ゆえに、Hough 変換のみを用いても垂直エッジ直線は正確に得られない。本論文では、横断歩道の垂直エッジ直線を抽出するために、横断歩道のコーナーにおける特徴点を用いる。そのためには、水平エッジ直線での白線とアスファルトの境界を示す端点の座標を正確に抽出する必要がある。以下に、垂直エッジ直線の抽出における処理手順を示す。

手順(1) 得られた濃淡画像に対して、二値化処理を行なう。二値化された画像に Sobel オペレータをかけ、3.1 節の手順(1)から手順(4)までの手法で、水平エッジ直線を抽出する。(Fig. 7 (b))

手順(2) 手順(1)で得られた水平エッジ直線の画像 (Fig. 7 (b)) と、Sobel によるエッジ画像 (Fig. 7 (a)) を比較する。水平エッジ直線上に追跡した C_2 マスク内に、Sobel により抽出されたエッジが存在すれば、その中心画素は黒くし、ほかは白にする。つまり、2 枚の画像でほぼ一致する黒い部分だけを残す。(Fig. 7 (c))

手順(3) 手順(2)によって不連続な直線として得られた水平エッジ直線について、それぞれ黒または白の連続した画素数をカウントをした後、白線上の水平エッジ直線の部分だけを拾い集めることができるように、つぎの条件にしたがいながら、それぞれの水平エッジ直線を再構成していく。

- 黒または白が C_3 画素以上続く部分はそのまま残す。

- 白が C_4 画素以内の場合、それを挟む黒が共に C_5 画素以上続くなら、その白は黒にしてつなげる。黒が C_4 画素以内の場合も同様にする。

手順(4) 手順(3)により再構成されたそれぞれの不連続な水平エッジ直線について、一番長い黒い部分だけを抽出する。(Fig. 7 (d)) これを白線上の水平エッジ直線とみなし、その右端、左端それぞれの座標をとる。(Fig. 7 (e))

手順(5) 手順(4)で得られたすべての左端において、あらゆる2点を選び出し、その2点を結んだ直線を引く。この直線にしたがって追跡する C_6 マスクあるいは C_7 マスク内にある左端の数をカウントする。この処理で、カウント数が一番多い直線を導きだし、その直線にしたがって追跡する C_8 マスクあるいは C_9 マスク内にある左端だけを抽出し、座標をとる。右端についても、同様の処理をする。(Fig. 7 (f))

手順(6) 手順(5)で得られた両側端の座標と、SUSANオペレータ⁶⁾で得られた特徴点(Fig. 7 (g))とを比較し、側端点の座標を中心とした C_{10} マスク内にある特徴点だけを抽出する。(Fig. 7 (h))

手順(7) 手順(6)で得られた横断歩道のコーナーを示す特徴点を用いて、最小自乗法により、垂直エッジ直線を導き出す。

Fig. 7 The process of extracting vertical edge lines

3.3 横断歩道終端部の水平エッジ直線の検知

横断歩道の画像において、足下から距離が離れるほど白と黒の間隔が狭くなり、横断歩道終端の白線はばやける。よっ

て、透視変換で横断歩道終端部の直線を得るのは困難である。本論文では、より正確な横断歩道終端部の水平エッジ直線を推定するために、3.1, 3.2節で得られた情報を用いて、つぎの方法で処理を行なう。

手順1 3.2節の垂直エッジ直線の抽出における手順(5)により導き出されたすべての両側端点の座標を比較し、一番 y 座標が小さい側端点を選び出す。なお、本実験での座標の設定は、画像における左上を原点とし、右方向に X 軸、下方向に Y 軸をとる。

手順2 手順(1)で得られた座標を中心とした C_{11} マスクと3.1節での水平エッジ直線を比較し、マスク内を通る水平エッジ直線を選出し、その直線を横断歩道終端部とみなす。

4. 実験結果

提案手法の有効性を検証するために、京都市内の30カ所の横断歩道をビデオカメラで撮影し、それらの画像を用いて実験した。なお、本研究ではSony製DCR-VX1000のデジタルビデオカメラを用い、その仕様は1/3インチCCD固体撮像素子で、レンズの焦点距離は5.9mmである。画像の撮影は手持ちでカメラ原点を目の高さに設定し、日付や時刻を変えることで、天候(雨以外)や日照などが異なるさまざまな条件下で行なった。用いた画像の一部をFig. 10に示す。43枚の画像から得られた横断歩道の長さの相対誤差、絶対誤差の関係をそれぞれFig. 8, Fig. 9に示す。ただし、3章で用いた閾値 $C_i (i = 1, 2, \dots, 11)$ は、本実験のテスト画像に対する誤差を評価して経験的に決定しており、その値は以下のとおりである。 $C_1 = 10$, $C_2 = 11 \times 1$, $C_3 = 50$, $C_4 = 7$, $C_5 = 10$, $C_6 = 11 \times 1$, $C_7 = 1 \times 11$, $C_8 = 7 \times 1$, $C_9 = 1 \times 7$, $C_{10} = 7 \times 7$, $C_{11} = 9 \times 1$ 。

横断歩道は道路幅が5~21mのものを扱い、そのすべての実画像に対する実験結果で、立ち位置・横断歩道の距離推定値の相対誤差はすべて5%以下であった。絶対誤差は70cm以下の範囲内であり、rms誤差は38cmとなった。一方、垂直エッジ直線をHough変換のみにより抽出した場合、距離推定の相対誤差が最大30%弱になった。

Fig. 8 Relative error

Fig. 9 Absolute error

Fig. 10 Examples of test image

5. ま と め

本論文では、視覚障害者が歩行するのに大きな危険を伴う横断歩道において、その距離を計測する方法について提案した。実験により、提案手法による距離推定の相対誤差はすべて5%以下であった。白黒の周期が $45\text{cm} \times 2 = 90\text{cm}$ ⁷⁾である横断歩道の画像で、本手法の絶対誤差はすべて70cm以下となり、かまぼこ状のわずかな傾斜が存在する場合においても、横断歩道の距離計測に本手法が有効であることを確認した。また、この最大絶対誤差は歩行者用信号機が点滅し始めてから視障者が十分に歩くことができる距離であると考えられるため、本システムの精度は実際の視障者に必要とされる絶対誤差以内であると判断した。

本手法の処理時間は、現在 480×640 画素の画像に対してIntel Celeron 533MHzで4秒ほどであるが、ハーフサイズの画像に変更したり、横断歩道領域を特定しそこだけで処理を行なうなどの方法で、処理時間を短縮できると考えられる。

今後はより多くの場所における横断歩道について実験を行ない、安全性についての評価をしていくとともに、白線の消失部分やマンホール、また歩行者や車が原因で、2本以上の白線（端から端までの全体像）と横断歩道の終端部が画像上に写っていない場合など、さまざまな交通状況の下で、どのように距離計測していくかについて検討していく予定である。

また、横断歩道の検知と信号の検知・判別も行なっていく予定をしている。

参 考 文 献

- 1) 北脇, 呉, 塩山: 画像による視覚障害者用単独歩行支援システムの開発 -横断歩道の距離推定-. 第45回システム制御情報学会研究発表講演会, 201/202 (2001)
- 2) 中田, 近津: デジタルカメラと距離計とを用いた三次元計測システムに関する研究. 日本写真測量学会秋季学術講演会, 225/228 (2001)
- 3) 西部, 呉, 塩山: 画像によるプラットフォーム縁端の検知. 計測自動制御学会論文集, 37-11, 1104/1110 (2001)
- 4) 小谷, 中田, 森: 歩行ガイドロボットの交差点横断戦略. 画像の認識理解シンポジウム 講演論文集 II, 211/216 (2000)
- 5) 富松, 植田, 小谷, 中田, 森: 画像処理による横断歩道と交通信号認識. 第19回日本ロボット学会学術講演会, 977/978 (2001)
- 6) S.M. Smith and J.M. Brady: SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing, International Journal of Computer Vision, 23-1, 45/78 (1997)
- 7) 道路法 [S27 法律 108 号] および道路交通法 [S35 法律 105 号] に基づいた道路標識、区画線および道路標示に関する命令 [S35 総理府、建設省令 第三号]

[著 者 紹 介]

北 脇 卓

平成13年京都工芸繊維大学工学部機械システム工学科卒業。現在同大学大学院工学科学研究科機械システム工学専攻修士課程在学中。コンピュータビジョンの研究に従事。

呉 海 元

昭和59年中国西安交通大学情報と制御工学部制御工学科卒業。昭和62年同大学大学院修士課程了。同年同大学助手。平成2年同大学講師。平成6年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程に入学、平成8年同中退。同年京都工芸繊維大学工学部助手、平成14年和歌山大学システム工学部助教授、現在に至る。パターン認識、ヒューマンインターフェースの研究に従事。電子情報通信学会、ヒューマンインターフェース学会、システム制御情報学会各会員、工学博士。

塩 山 忠 義 (正会員)

昭和41年京都大学理学部物理学科卒業。同年大阪府立工業技術研究所（現産業技術総合研究所）入所。昭和54年同電子部主任研究員。昭和60年京都工芸繊維大学工学部機械工学科（現機械システム工学科）に移り、平成4年同教授、現在に至る。パターン認識、コンピュータビジョン、情報システム性能評価などの研究に従事。電子情報通信学会、日本機械学会、システム制御情報学会各会員、工学博士。