画像処理を用いた携帯型視覚障害者歩行支援システムの検討

Study of a Portable Traveling Support System using Image Processing for the Visually Impaired

カルワハンディ ササダラ[†], 正会員 田所 嘉昭[‡]Sasadara Kaluwahandi[†] and Yoshiaki Tadokoro[‡]

Abstract This paper describes a portable traveling support system that uses image processing to aid the visually impaired. We have already previously proposed a portable navigation system for the visually impaired. However, there are some places where this system is unable to provide the proper guidance. Since the travel direction of the user of this system is measured by a terrestrial magnetic sensor, there is a possibility that the wrong direction is measured, due to a distortion of the terrestrial magnetism caused by vehicles, etc. Road markings, e.g., pedestrian crossings, white lines of roadways, are reliable information that can be used to measure the correct direction. Furthermore, landmarks, e.g., electric poles, traffic-control signs and postal boxes, are also useful for a traveler to confirm his position. Therefore, we applied image processing to our portable navigation system to make it more reliable.

キーワード：視覚障害者、携帯型歩行支援システム、画像処理

1. ま え が き

障害者が自立して、円滑な社会生活や職業生活を営むことは、福祉社会の大きな目標の1つととらえられる。視覚障害者にとっては、安全に単独歩行できるかどうかはそのための1つのキーファクタとなる。そのため、この視覚障害者の単独歩行を支援するシステムがさまざまな機関で検討されている^{1)~8)}。しかしその多くは、道路側に何らかの装置を設けるものや、衛星からの信号(GPS信号)を受信する必要があるもので、その使用場所が限定されている。これに対し、筆者らは、白杖で単独歩行できる視覚障害者を対象に、手軽な携帯装置のみで任意の目的地まで誘導できる歩行支援システムを提案し、その評価を行ってきた^{9)~13)}。このシステムでは、あらかじめ視覚障害者を目的地まで誘導するために必要な情報である教師データ(歩行ルートデータと指示データ)を作成して、歩行者が携帯するマイコンに保存しておく。そして、実際に歩行するとき、地磁気センサで歩行方位、万歩計で歩行距離を検出し、そのデータを基に携帯するマイコンで歩行軌跡を計算し、保存されている目的地までの教師データと比較することで、適切な指示を歩行者に音声やブザーで与えながら、

目的地まで誘導するシステムである。このシステムでは、教師データさえ作成すれば、どこでも使用でき、歩行場所が限定されない特長を有する。

しかし、提案した歩行支援システムでは、進行方向を地磁気センサで決めているため、自動車などの外部要因で地磁気が乱れると、誤誘導の可能性がある。また、歩行者の現在位置を原点からの相対位置で求める推測航法の原理を用いるため、測定誤差が累積する問題がある。そのため、歩行途中の目印になる場所(曲がり角、電柱等)で、位置合せ(マップマッチング処理)を行い、測定誤差をリセットしている。このマッチング処理を行うため、視覚障害者は白杖等で目印を確認する必要がある。

これらの問題点は、路側の白線、横断歩道の白線、および電柱や交通標識等を画像処理によって検出するシステムを実現できれば解決でき、歩行者をより安全に確実に目的地まで誘導できる¹⁴⁾¹⁵⁾。

本論文では、これまでの携帯型歩行支援システムに画像処理の機能を追加して、歩行方位の確実な検出、また目印確認をより容易に行える歩行支援システムを提案する。現在、自動車の自動走行のためさまざまなレーン認識法(Hough変換、テンプレートマッチング、ニューラルネットワークなど)が検討されている^{16)~18)}。しかし、これをそのまま歩行支援システムに適用するには処理の負荷が大きくなり、簡易な処理装置では実時間処理が問題になる。提案システムでは、教師データを作る段階で検出対象物がわかっているため、その対象物の特徴に注目した、できるだけ簡

第26回感覚代行シンポジウムで発表

2001年3月28日受付, 2001年6月11日再受付, 2001年7月6日採録

[†] 豊橋技術科学大学 工学部 情報工学系

(〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1, TEL 0532-44-6754)

[‡] Dept. of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering, Toyohashi University of Technology

(Hibarigaoka 1-1, Tempaku-cho, Toyohashi, 441-8580, Japan)

単な処理を行うことにした。

本論文では、まず2章で提案する歩行支援システムの概要を説明する。次いで、3章では本論文で提案する進行方向検出と目印確認のアルゴリズムについて述べる。4章では、実際に歩行誘導実験を行った結果について述べ、誘導法の検証を行う。

2. 歩行支援システムの概要

2.1 歩行支援システム

歩行支援システムの構成を図1に示す。本システムは、情報入力部、演算処理部、情報出力部の3つの部分からなる。

本システムは、歩行者の現在位置の算出に、外部に特別な設備を必要としない推測航法の原理を用いている。推測航法では、歩行者の進行方位と歩行距離を基に原点からの相対的な位置を算出する。情報入力部は、歩行距離を測定する万歩計、進行方位検出のための CCD カメラおよび3個の応答スイッチ（動作確認、方向確認、残り距離確認）から構成されている。なお、参考までに地磁気センサを付けてある。演算処理部は、歩行軌跡の算出、教師データとの比較、歩行者への指示の選択等を行うマイクロコンピュータ (V25) と、CCD カメラからの画像を処理して、進行方位、目印確認、歩行状態等の処理を行うノートパソコン (PC) より構成される。情報出力部は、音声出力装置とブザーから成る。

提案するシステムの装着図を図2に示す。歩行者は、マイコンとバッテリーを装備したウェストバッグ、万歩計、地磁気センサーおよびデジタルカメラを装着する。ブザーと応答スイッチは、ウェストバッグ表面に取り付け

図1 視覚障害者歩行支援システムの構成
Configuration of the navigation system

図2 装着図
Overview of the navigation system

である。また、画像処理専用のノートパソコンはリュック内に入れる。耳を塞ぐことで、視覚障害者の音源定位を妨げてしまうことを避けるために、イヤホンではなく、骨伝導スピーカ (テムコ・ジャパン: 骨伝導ヘッドセット HG-16, HP-1) を使用し、騒音でも聴きやすくした。このときの CCD カメラとノート PC を除く総重量はおおよそ 1.1 kg となり、使用バッテリーは DC5[V] で、充電用単3乾電池4本で約3時間の駆動が可能である。画像処理専用の PC (TOSHIBA-DynaBook 2540S) と CCD カメラ (WINNOV VideumCam digital camera) の総重量は 3.3kg となり、駆動時間は約2時間である。

本システムでは、このような手軽な携帯装置のみで視覚障害者を目的地まで誘導する。

2.2 誘導方法

本システムの誘導方法を図3に示す。出発点から目的地までを交差点、横断歩道、電柱などの経路の目印 (ノード) ごとに区切って行う。このノード間をブランチと呼ぶ。まず、ノードを出発する際には進むべき方向を確認する。歩行者の進行方位が教師データの方位と一致するとブザーになる。そして、このようにして歩行者が方位を確認して動作確認スイッチを押すと、例えば「右端を白線沿いに50メートルまっすぐ、電柱まで」のように経路の距離と状況 (白線、路側の状況など)、歩行時に用いる目印などの情報からなる音声指示が与えられる。その情報により、CCD カメラで撮影された道路上の白線、路側、横断歩道などに画像処理を適用し、進むべき方向や目印までの距離がスピーカから与えられ、その指示に従って歩行する。このようにして誘導を行い、次の目印まで残り 10m の地点で、「目印確認、電柱」のような音声スピーカから出力される。視覚障害者は、指示された目印を白杖と画像処理による目印までの方向と距離情報を利用して確認する。その際、CCD カメラの撮影画像を PC カードより制御しており、10秒間隔で画像を PC に取り込む。PC のファンクションキーに設定してある各々の対象物の検出プログラム (白線、横断歩道、電柱、交通標識、郵便ポストなど) を適切な場所で実行する。

このように撮影された1枚の画像から目印の位置を把握

図3 誘導方法
Process of navigation

し、歩行者に対して目印までの距離と方向を教える。目印に対する誘導指示は、左、右と真直の方向(具体的な角度の情報はない)と視覚障害者から目印までの距離の2つの情報を含む。左、右の向きの度合いは、心もち少し方向を変えてもらうようにした。これは、具体的に 10° といっても、歩行者は正確に向きを変えることは困難である。その代わり、歩行途中で再度画像処理により方向の指示を行うことで歩行方向を修正するようにした。例えば、「右側にほぼ10m以上」、「左側にほぼ7~10m」、「真直にほぼ3~5m」など。

そして、目印に到着したことを確認した上で動作確認スイッチを押し、マップマッチング処理を行う。このようにブランチごとに同様な流れで誘導を行い、最終的に視覚障害者を目的地まで誘導する。

3. 歩行方向検出と目印確認

3.1 歩行方向検出

本章ではまず、白線と歩行者の向きの解析について述べ、次に横断歩道と歩行者の向きの解析について説明する。この場合、カメラは歩行者の腰部に、高さ90cm、仰角 20° で固定している。撮影された画像での道路の白線と横断歩道と歩行者からの距離の関係は図4に示してある。図4の右目盛りは、歩行者(撮影者)から対象物までの実際の距離と画面上での位置関係を、左目盛りは、それをピクセル表現したものである。

本アルゴリズムでは、視覚障害者が撮影した24bitRGB画像をグレースケール化 $((R+G+B)/3)$ し、累積法(投影法)で特徴抽出を行う。路側の白線の場合は、画像の縦方向に、横断歩道の白線の場合は縦と横方向に累積を行う。輝度分布は白に近い値が大きく、黒に近い値が小さいので累積結果の値が大きくなっているところに白線が存在していると予測する。予測された白線の状態より歩行者の向き(角度)と白線に対する位置の検出を行う。本アルゴリズムでは、路側の白線がある場合はその白線に沿って誘導し、横断歩道の場合は歩行者を縞模様の白線と直角に誘導する。撮影された画像に横断歩道や路側の白線が検出されていない時には、検出されるように歩行者の向きを修正する指示を出す。

(1) 路側の白線(歩行レーン)に対する解析

歩行レーンに沿って歩かせるには、撮影した道路画像からレーン形状とレーンに対する障害者の相対位置と姿勢を推定することが必要である。

まず、撮影された画像は、図4に示してあるように横方向に3つ(H1, H2, H3)に分割し、H1, H2に対して縦方向に累積値を求める。そして白線の部分が道路よりも輝度が高いことを利用して、H1, H2の2値化を行い白線を認識する。H1, H2を縦方向に3つ(V1, V2, V3)に分割し、認識した白線がどの部分に属するかによって白線に対する歩行者の位置と向きを求める。2値化処理の閾値は、H1に

対して Kittler 法により画像の濃度ヒストグラムから統計的な意味での最適閾値を求めた¹⁹⁾。

図5(a)の撮影された白線のH1とH2の部分の累積結果と2値化結果を(c), (d)に示す。H1とH2での白線の位置が、V1, V2, V3のどの部分に存在するかによって、白線に対する歩行者の位置と傾きをほぼ推測できる。例えば、図5(a)の画像の場合は、白線の位置がH1でV1, H2でほぼV2にあることより、歩行者が白線の右側にいて、進むべき方向に対して、やや左に傾いていることがわかる。歩行者の白線に対する位置と傾きの情報は、実際の路上で歩行者が白線上および左右に50cm離れた場所で、正しい進行方向に対して 30° の範囲で 10° 刻みで撮影した画像に対して解析した結果(H1とH2での白線の位置とV1, V2, V3との関係)を基に求めた。

(2) 横断歩道の解析

撮影された横断歩道の画像を、まず縦方向にその累積値を求める。そして、その画面を左右に分け、その累積値の大小関係から、歩行者の横断歩道に対する位置関係を判別する。例えば、撮影された図6(a)の横断歩道に対し、(c)は、その縦方向の累積値を示している。この図で左半分の累積値が右半分に比べて大きいため、横断歩道の多くが歩行者の左側にあると判断する。次に、撮影された画像を横方向に累積し、その累積結果の一番手前の傾き角より、横断歩道に対して歩行者が傾いている大よその角度の大きさを求める。

(d)には横方向の累積結果を示してあり、累積結果の傾き角度 β が求まる。歩行者の横断歩道に対する実際の傾きは、図7の関係を利用して求める。図7の実線は、横断歩道の真中の位置で、歩行者が左右に傾いた角度と、画像上の累積結果の傾き角度(β)との関係を実際に求めたものである。道路状態、光線の関係等で多少ばらついてはいるが、ほぼ歩行者の傾きの角度を求めることができる。点線は、その測定結果を直線近似したものである。この直線によって、実際の歩行者の傾き角度を求め、指示を出す。歩行者が傾きを修正し、横方向の累積値がくし形状(同図(b))に変化すれば、横断歩道の縞模様の白線と直交した正しい方向が検出できる。

図4 画像での距離関係
Distance relation of the image

図 5 白線の認識結果, (a) 撮影された白線, (b) 正しい方向の累積結果, (c) H1 と (d) H2 の白線認識

Recognition results of lane, (a) pictured lane, (b) correct direction's projection result, (c) H1 and (d) H2's lane recognitions

図 6 横断歩道の解析, (a) 撮影された横断歩道, (b) 正しい方向の横方向累積結果, (c) 縦と (d) 横方向の累積結果

Analysis of pedestrian crossing, (a) pictured crossing, (b) correct direction's horizontal projection result, (c) vertical and (d) horizontal projection results

3.2 目印確認

本節では、まず今回検討した対象物の電柱、交通標識および郵便ポストの各々の認識法と、その結果に対する指示法について述べる。実際は、撮影環境によって同じ対象物でも種々の画像になりえるが、今回は、本研究の第1ステップとして、良好に撮影された画像を対象にした。なお、この場合のカメラの向きは水平方向とした。また、画像の上方向を y 軸のプラス、右方向を x 軸のプラス方向とする。

図 7 実際の角度と解析角度の関係
Relation of the real and analysed angles

目印を確認する際、確認すべき目印を事前に知っているとして (誘導システムでは次に何があるかわかっている)、その目印の特徴を活かしたアルゴリズムを開発した。例えば、電柱の場合は縦棒、交通標識ではその丸形や四角形などの形、そして郵便ポストでは赤の色情報を利用した。郵便ポストは、R,G,B 画像の R 画像のみに注目し、他は R,G,B 画像の平均値を使用した。撮影された一枚の画像から目印の位置を把握し、歩行者に対して目印までの距離と方向を教えるのが目的である。そのために、対象物と歩行者との位置関係、距離を正しく読みとる必要がある。そのため、使用している CCD カメラの撮影可能範囲を測定し、そこから対象物までの距離を把握しやすくするための指標を設けることにした。その結果を図 8 に示す。

目印の位置は画像上での目印の中心点を求めることによって定める。各々の目印の中心の検出法を以下に説明する。まず、画像を図 8 に示してあるように縦方向に 3 つ (V1, V2, V3) に分割し、中心がどの部分に属するかによって目印の位置を決める。

(1) 電 柱

図 9(a) に示すような電柱を認識する際、画像の背景となる空と緑を対象外にするために、まず 2 値化処理 (図 9(b)) を行う。そして画像の上半分のみを対象にし白画素 (2 値化の 1 の部分) から縦棒を認識するため、画像を縦方向にランレングス符号化し最大のランを求める。次に、その範囲のみ横方向にランレングス符号化し、電柱の最大の幅 (最大のラン) と中心の x 座標 (図 9(c)) を求める。その x 座標

図 8 距離の認識
Distance recognition

によって歩行者からの電柱の方向を求め、あらかじめ用意してある電柱の幅と実際の距離との関係より歩行者から電柱までの距離を求める。

(2) 交通標識

交通標識は、丸や四角形などの形の特徴を使用して認識する。図 10(a) に示す画像の場合も、背景となる空と緑の画素を除くため 2 値化処理 (図 10(b)) を行う。そして画像の上半分を対象として、横方向のランレングス表現によって交通標識の形 (図 10(c)) を見つける。今回は丸形の交通標識のみを対象物とした。次に、認識結果のランがつながっているか離れているかを調べ、丸形を認識するラベリング処理を行う。この処理は、個々のランの特徴を調べるために各々のランに対して異なった名前のラベルを割り当てる処理である。その後、丸の面積と中心を求める。そして、あらかじめ用意してある撮影対象物の距離と面積の関係から対象物までの距離を、中心の座標から方向を求め、指示を与える。

(3) 郵便ポスト

図 11(a) に示すポストを画像から抽出するために、R 画像のみに 2 値化処理を行う (図 11(b))。そして、横方向のランレングス符号化により、図 11(c) のポストを認識する。この認識結果からポストの最大の連続画素の中心の x 座標を求める。その値によってポストの最小の y の値をデータから捜し出す。この (x, y) 座標から対象物の方向を、ポストの支柱の幅より距離を求めて、歩行者に指示を出す。

3.3 歩行支援システムの特徴

最後に、画像処理を利用した歩行支援システムの特徴をまとめておく。

(1) 白線検出

本アルゴリズムは、歩行者が白線上と白線より両側に 50cm 離れ、正しい向きから左右 20° まで傾いていても、

白線に沿って誘導が可能であることを確かめた。撮影された画像が路側の端で白線が検出されない時には、検出できるまで歩行者の向きを修正する指示を出す。

(2) 横断歩道検出

歩行者が横断歩道の真中にいる場合、歩行者の向きが左右 40° まで横断歩道を正しく判別でき、横断歩道に直角に誘導することが可能である。歩行者の位置が横断歩道の中央からずれている場合は、片方の誘導できる角度が狭まる。撮影された画像が横断歩道の端で白線が検出されない時には、検出されるように歩行者の向きを修正する指示を出す。

(3) 目印確認

電柱、交通標識、郵便ポストの目印が、歩行者から 3~10m の距離にある場合、これらを認識し、その目印までの

図 10 交通標識の認識結果, (a) 撮影された交通標識, (b) 2 値化結果, (c) 検出された交通標識

Recognition result of traffic-control sign. (a) pictured traffic-control sign, (b) binary processing result, (c) detected traffic-control sign

図 9 電柱の認識結果, (a) 撮影された電柱, (b) 2 値化結果, (c) 検出された電柱

Recognition result of electric pole. (a) pictured electric pole, (b) binary processing result, (c) detected electric pole

図 11 ポストの認識結果, (a) 撮影された郵便ポスト, (b) 2 値化結果, (c) 検出された郵便ポスト

Recognition result of post box. (a) pictured post box, (b) binary processing result, (c) detected post box

距離と方向等の誘導のための指示が可能である。

4. 歩行誘導実験

本研究で提案したアルゴリズムを評価するため、歩行誘導実験を行った。今回、歩行実験を行った大学周辺の2つのコースを図12に示す。目隠しをした晴眼者がカメラを高さ90cmの腰部に付けて、この2つのコースを支援システムが与える指示に従って歩いてもらった。

4.1 コース1の歩行誘導

コース1は大学の東出口から、正門の近くにある郵便ポストまでの375.3mのコースで、ここを10個のブランチに分けて誘導した。このコースでは、主に歩行者を溝の蓋が境となる路側に沿って誘導した。なお、溝の蓋は白っぽい写り、画像処理により白線と同様に方向指示に使えた。例えば、図のブランチAで与えた指示は「真直」、「右に10°」、「左に10°」、「右に20°」などである。なお、白線等に沿った直線歩行の指示では、上述のように角度の指示を与えて方向修正の度合を歩行者に認識してもらうようにした。前の指示に対して、今回の指示がどのようになったかで歩行者が自らの方向修正を加減する。今回の場合は、蓋の幅もかなり大きいのでほとんど「真直」の指示で誘導できた。路側に沿って歩行する際、途中の電柱も認識した。その時、下に向いてあったカメラを水平にするようにした。電柱は円周が112cmと85cmの2種類の他に古い物(黒っぽい)と新しい物(白っぽい)のものがある。これらのすべての電柱を別々に認識するようにしてある。例えば、図のブランチBで与えた指示は次のようなものである。「右側にある」、「右側にほぼ10m以上」、「右側にほぼ7~10m」、「右側にほぼ5~7m」、「右側にほぼ3~5m」等であった。

図12 歩行実験のコースと目印
Experimental courses and landmarks

コース1の終点はポストである。図のブランチCの道路からポストまでは、路側も白線もないため、この地点では音声指示を「90°右」として、進行方向を90°右に変えてもらい、歩行者にカメラを水平にしてもらいポストを撮影してもらった。その時の最初の指示は「右側に5~7m」であった。次に「真直に3~5m」の指示を与え、最終的に郵便ポストを認識することができた。

4.2 コース2の歩行誘導

コース2は大学の東出口から、正門と反対側の243.1mのコースで、8個のブランチに分けて誘導した。道路には歩道がなく、最初は白線もないため、溝が境となる路側に沿って誘導した。この場合、アスファルト道路に比べ、溝が黒っぽく写り、画像処理により方向指示に使用できた。ブランチDで与えた指示は、次のようになった。「真直」、「左に10°」、「左に20°」、「右に10°」、「わかりません」。左側の道路を自動車等が通るため、歩行者は、それを意識したせいか、右に寄っていく傾向があった。しかし、「わかりません」の指示が出たのは、左に傾き過ぎて路側を撮影されてなかった。このような場合は、左右どちらかに向きを変えてもらい指示が出るようにする。ブランチDでは、少し右に向いてもらった「真直」の指示が与えられ、そのまま誘導できた。コース2の最後の方では白線があったので、白線に沿って誘導した。ブランチEで与えた指示は「真直」、「左に10°」、「右に10°」、「左に20°」、「右に20°」、「分かりません」である。

途中の最初の4つの電柱を認識した際、与えた指示は次のようなものである。「右側にある」、「右側にほぼ10m以上」、「右側にほぼ7~10m」、「右側にほぼ5~7m」、「右側にほぼ3~5m」である。最後の2つの電柱が歩行者に対して左側にあったため、与えた指示は、「左側にある」、「左側にほぼ10m以上」、「左側にほぼ7~10m」、「左側にほぼ5~7m」、「左側にほぼ3~5m」になり、すべての電柱を認識することができた。

コース2の途中には幅と長さが6mの横断歩道があるが、信号機は設置されていない。自動車の音で横断時期の判断を行い、「左に10°」と「真直」の指示で横断歩道を正しく渡ることができた。

5. むすび

著者等が先に提案した携帯型歩行支援システムの問題点であった、地磁気センサの誤動作と目印確認の難しさを解決する目的で、このシステムに画像処理の機能を追加したシステムを提案した。これらの問題点は、実際に視覚障害者による歩行実験から明らかにしたものである。そして、路側と横断歩道の白線を画像処理で検出して、正しい進行方向を歩行者に与えることができることを確認した。また、今まで白杖で検出していた目印を、画像処理によってその目印までの距離と方向を歩行者に与えることで、より容易に目印確認ができることを確認できた。なお、撮影から指

示がでるまでの時間は、使用したノートパソコン(クロック 333MHz)で 8~10 秒以内である。本論文では、目隠した晴眼者に対して提案法の有効性を確認したが、今後は、実際に視覚障害者に対して実験を行うつもりである。なお、盲学校の先生方から、この提案法は以前のシステムより、安全性がまし、目印確認が以前より楽になりスムーズな誘導ができる可能性があるとの意見を頂いた。また今回は、歩行者を誘導するため道路上の限定された環境情報を画像処理によって利用したが、今後はより一般的な環境情報を系統的に画像処理で利用できるようにして、提案する携帯型視覚障害者歩行支援システムの実用化を図りたい。

本研究に対する貴重なご意見を頂いた岡崎盲学校の水谷厚彦先生、前田政治先生、森扶美子先生に感謝する。また、実験に協力頂いた研究室の皆様と論文作成に協力頂いた野口健太郎助手に感謝する。

〔文 献〕

- 1) 田内, 大倉: “視覚障害者支援技術の現状と問題点: 単独歩行について,” 計測と制御, 34, 2, pp.140-146 (1995)
- 2) 渡邊, 丹沢, 清弘, 森: “ソナーと地図情報に基づく歩行ガイドロボットのナビゲーション,” 第 21 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.137-140 (1995)
- 3) 山本, 岡田: “視覚障害者の白杖歩行を援助する 2 種類の情報,” 第 20 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.83-87 (1994)
- 4) 津村, 小松, 加藤: “視覚障害者のための光利用アクティブ方式パーソナルナビゲータ,” 第 24 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.137 - 140 (1998)
- 5) 内海電気(株): “音声誘導標識システム,” カタログ (1996)
- 6) NEC 環境エンジニアリング(株): “視覚障害者誘導 HMMYO,” カタログ (1995)
- 7) 牧野, 尾形, 石井: “GPS による携帯型盲人用位置案内装置の基礎研究,” 信学技報, MBE92-7, pp.41-46 (1992)
- 8) 岡島, 半澤, 曲谷, 築島: “DGPS を用いた視覚障害者用ナビゲーションシステムの開発,” 第 23 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.105-108 (1997)

- 9) 阿部, 田所: “オンライン処理による人間用ナビゲーションシステム,” 信学論, J76-A, 5, pp.743-751 (1993)
- 10) 中村, 青野, 田所: “視覚障害者歩行誘導型歩行支援システム,” 信学論, J79-D-II, 9, pp.1610-1618 (1996)
- 11) 青野, 大市, 田所: “案内杖による視覚障害者用歩行支援システムの性能,” 電学論, 116-C, 9, pp.1043-1050 (1996)
- 12) 坂本, 合志, 田所: “デジタルスチルカメラと携帯電話を用いた視覚障害者支援システムの検討,” 映情学誌, 51, 11, pp.1906-1914 (1997)
- 13) 宅野, 篠田, 田所: “視覚障害者歩行支援システムによる歩行訓練,” 信学論, J83-D-I, pp.293-302 (2000)
- 14) Kaluwahandi, 篠田, 合志, 田所: “画像処理の視覚障害者歩行支援システムへの適用,” 第 25 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.19-22 (1999)
- 15) Kaluwahandi, 田所: “視覚障害者歩行支援システムでの目印確認への画像処理の応用,” 第 26 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.121-124 (2000)
- 16) D. Jung Kang, J. Won Choi and In So Kweon: “Finding and tracking road lanes using line snakes,” Proceedings of Conference on Intelligent Vehicle, pp.189-194 (1996)
- 17) K. Kluge and S. Lakshman: “A deformable template approach to lane detection,” Proceedings IEEE Intelligent Vehicle'95, pp.54-59, Detroit, Sept. (1995)
- 18) 峯田, ほか: “レーンキープアシストシステムにおける白線認識システムの開発,” HONDA R&D Review, 12-1, pp.101-108, (2000)
- 19) 高木幹雄, 下田陽久監修: “画像解析ハンドブック,” 東京大学出版会 (1991)

カルワハンディ ササダラ
Kaluwahandi Sasadara 1999 年, 豊橋技術科学大学工学部情報工学課程卒業。2001 年, 同大学大学院修士課程情報工学専攻修了。同年, 株式会社富士通中部システムズ入社。在学中, 視覚障害者歩行支援システムの研究に従事。

たどころ よしあき
田所 嘉昭 1967 年, 東北大学工学部電子工学科卒業。1969 年, 同大学大学院修士課程修了。同年, 同大学助手。1978 年, 豊橋技術科学大学大学講師, 助教授を経て, 1986 年, 教授。デジタル信号処理, 福祉工学の研究に従事。工学博士。正会員。