

車載カメラによる道路上の標示認識

三宅 智彌*, 三矢 武法**, 船橋 典克***, 長坂 保典****, 鈴木 宣夫****

Recognition of Signs on Roads Taken by a Car Mounted Camera

Tomoya MIYAKE*, Takenori MITSUYA**, Norikatsu FUNAHASHI***
Yasunori NAGASAKA**** and Nobuo SUZUMURA****

(Received June 15, 1998)

Extraction and recognition of signs on roads were examined. The processing procedure consists of (1) limiting the searching range in the image, only the road area is extracted from whole image first, (2) signs are extracted based on both the horizontal and vertical gray level histograms calculated from the extracted road area, (3) the extracted sign's size and gray level are normalized, then recognized by a neural network.

At the stage of extraction of the road area, the left and right edges of the road are estimated from a small area. This area has been previously determined to include the whole road area inside. Hough transform is used to estimate the straight edges, while the spline curve is used to estimate the curved edges. Using these two algorithms, the accuracy of estimation was improved. To adapt the bad conditioned images like backlighted images and rainy day images, the improved preprocessing for images (HSI transform and tuning up the filter coefficients) are also incorporated.

As a result, the recognition rate of 96.5% was obtained for the normal daytime images, while the recognition rate of 100.0% was obtained for the normal night-time images.

Keywords: Neural network, Hough transform, Road sign

1. はじめに

視覚は、人間が外界に関する情報を得る上で最も重要な役割をもち、自動車の運転に必要な情報の大部分は視覚から得ていると考えられる。この優れた認識機能を機械で実現することがコンピュータビジョンの研究目的の一つであり、ロボットや自律走行車のためのビデオカメラで撮影した周囲の画像を用いた外界認識の研究

として、現在道路標示や標識等の自動認識の研究が盛んに行われている。

本研究では道路標示を対象として画像から自動的に抽出し認識する手法を検討する。原画像として車載8mmカメラにより撮影した道路画像を白黒256階調に変換して用いる。標示の認識では、最初に原画像に対してハフ変換等の画像処理を行い道路領域を切り出す。この道路領域に対してソベル変換等の前処理を行い、得られたヒストグラムをもとに道路標示の切り出しを行う。さらに切り出された道路標示の画像に対し階調値の引

*電気工学専攻大学院生 (Graduate Student, Electrical Engineering)

**アイシン・エンジニアリング㈱

***日立通信システム㈱

****電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

き延ばし, 大きさの正規化等の処理を行った後, 3 層の階層型ニューラルネットワークを用いて認識する。これまでは好条件下で撮影された直線道路の昼間, 夜間画像のみを対象としていたが, 今回は曲線道路における道路端の検出を可能とし, 逆光下, 雨天時の画像にも対応できるようにした。その結果従来よりも広範な条件下で動作させることが可能となった。

2. 道路画像の撮影方法

実験に使用する道路画像は, 8mm ビデオカメラを車内のフロントガラスの中央に吸盤を用いて固定し撮影する。撮影した画像は 640x480 の解像度で取り込みを行い白黒 256 階調の画像に変換する。撮影した画像の例を図 1, 図 2 に示す。

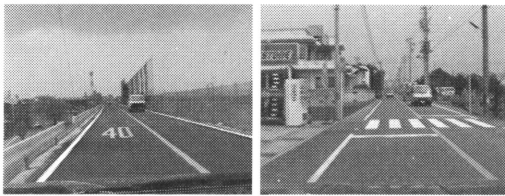


図 1: 撮影した道路画像 (昼画像)

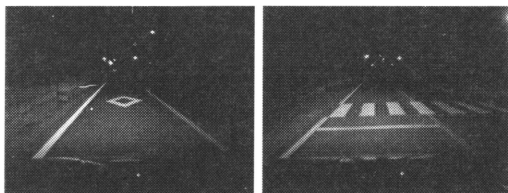


図 2: 撮影した道路画像 (夜画像)

3. 道路領域の切り出し

道路領域を切り出すアルゴリズムを図 3 に示す。(1) 車載カメラにより撮影した道路画像 (白黒 256 階調, 大きさ 640x480: 図 4) から道路の左端, 右端が含まれる位置に設定された小領域 A, B を切り出す (図 5)。(2) この部分に対して階調値の引き延ばしを行い, 道路両端のエッジを強調する。(3) ソベル変換を行った後, ハフ変換で車線のエッジとなる直線を検出する (図 6)。(4) この直線から求めた道路の先となる部分 (図 7) を小領域 C として切り出し同様の処理を行い道路の先となる部分の直線を検出する。(5) これらの直線の座標を元にスプライン補間を行い道路のエッジとする (図 8)。(6) 車線のエッジは左右で並行ということを制約条件として, 道路領域を切り出した後に 194x194 の正方形に正規化する (図 9)。

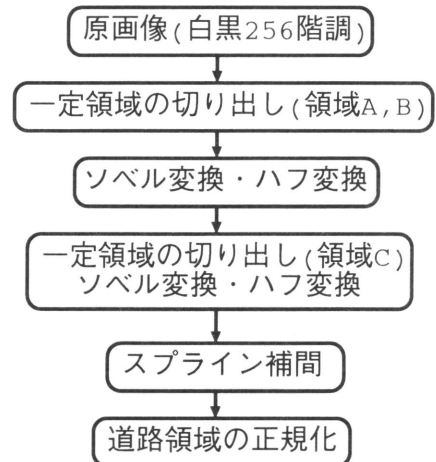


図 3: 切り出しのアルゴリズム



図 4: 原画像

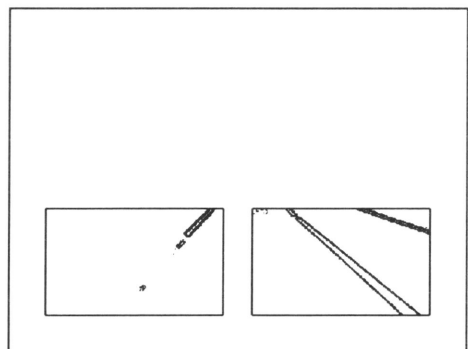


図 5: ソベル変換 (領域 A, 領域 B)

図 10 にスプライン補間で求めた道路エッジを示す。道路が直線の場合はハフ変換で求めた直線がそのままエッジとなり, カーブの場合は上下二つの直線が通る点を結ぶ曲線でエッジが得られる。正規化は, 両側の道路エッジの間に交点があった場合はその交点から下の部分を, 交点がなかった場合はスプライン補間が行われたエッジの範囲で正規化する。この処理によりカーブで

も車線を区切る白線などを含まず切り出しが行えるようになる。問題点は、急なカーブに対応できるようにするとエッジの曲線が不安定になることがあり、曲線を安定させようとすると急なカーブで曲線がエッジに一致しなくなることである。この点は直線道路と曲線道路を場合分けして処理すれば対応できるので今後検討する予定である。

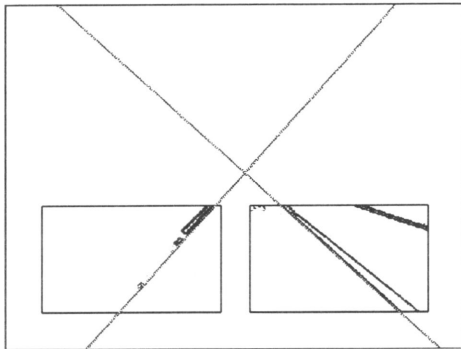


図 6: ハーフ変換



図 7: 道路の先となる部分 (領域 C)

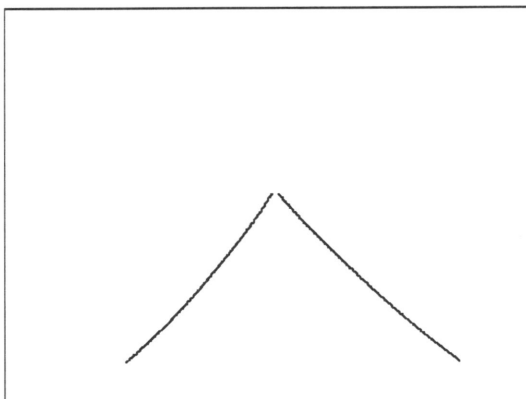


図 8: 道路のエッジ



図 9: 正規化画像

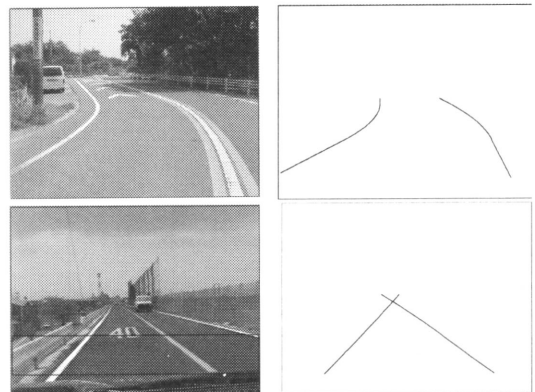


図 10: 推定された道路のエッジの例

4. 道路標示の切り出し

求めた道路領域中から道路標示を切り出す。道路標示切り出しのアルゴリズムを以下に説明する。正規化した道路領域において車線等の雑音が入らないように、左右の一定の幅をカットする。そして平滑化(スムージング)を施す。その後、階調値の引き延ばしを行った後にソベル変換と2値化を行う(図12)。この結果標示と他の部分の分離が容易になる。その画像に対して縦横両方向の濃度値のヒストグラムを求め、その情報により道路標示を切り出す(図13)。縦方向のヒストグラムの大きさが一定以上のものを道路標示の候補として複数(最大4つ)選択しておく。これは複数の標示を認識できるようにするため、及び一つの記号が分割されて抽出された場合にも対応可能とするための措置である。選択されたそれぞれの候補について横方向のヒストグラムの大きさが一定以上のものを切り出す。そして、切り出したそれぞれの道路標示を128x128の画像に正規

化する(図14)。図14に“横断歩道”と“とまれ”を切り出した結果を示す。

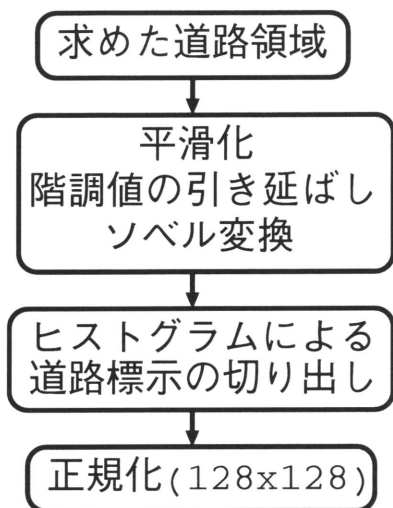


図11: 道路標示切り出しのアルゴリズム

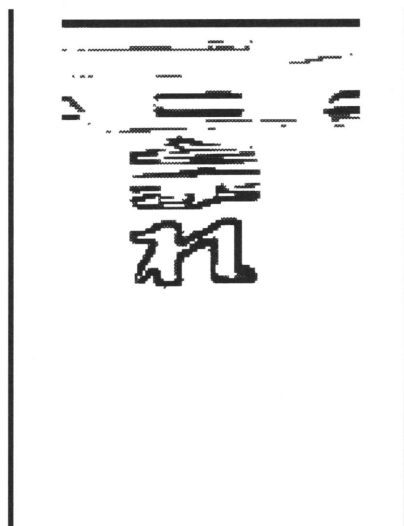


図12: ソベル変換と2値化後の画像

5. 距離推定

遠近法により、ある基準より2倍の距離にあるものは1/2の大きさに、3倍の距離にあるものは1/3の大きさに見える。一方、道路の幅は実際には一定のため、その縮小の割合により標示が描かれている場所までの距離が推定できる。

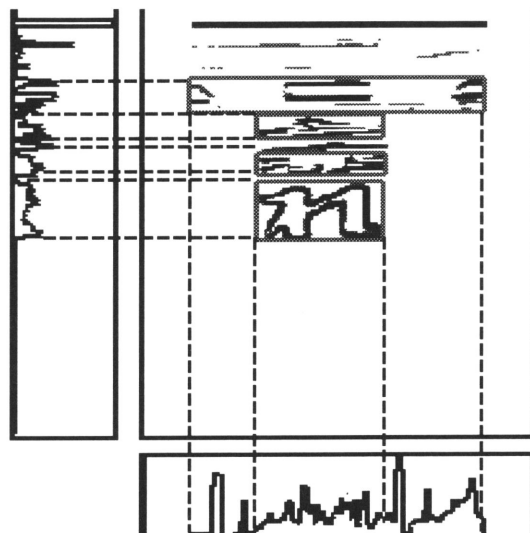


図13: ヒストグラム処理

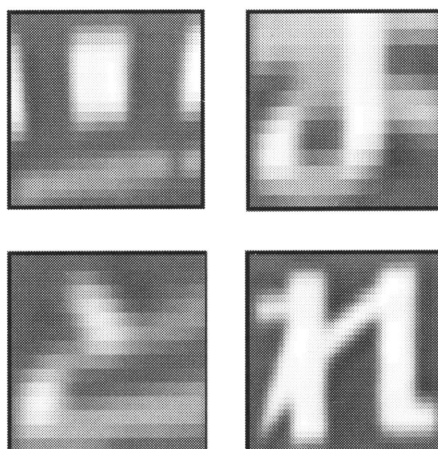


図14: 切り出した道路標示の例

5.1 方法

ヒストグラムにより標示を切り出す時、その縦方向の座標を求めておきハフ変換で求められた直線からその座標に対応する道路の幅を計算する。また基準として用いる道路の幅も求め、この2つの幅の比に距離に換算する係数を掛け、標示までの距離を計算する(図15)。

5.2 結果

標示までの距離が異なる5枚の画像を用いて推定を行った結果を表1に示す。

この結果より道路の幅を用いることにより実際の距離と誤差1.0%程度で標示までの距離の推定が行えるということが解る。また、この処理は簡単な計算のみで済むため処理時間が短く、リアルタイム処理に利用できる

と思われる。評価に用いた画像の枚数が少ないので、異なった種類の車を用いて撮影するなどさらに検討の必要がある。



図 15: 距離推定

表 1: 各距離における推定結果と誤差

撮影した距離 [m]	推定した距離 [m]	誤差 [%]
9.0	8.9	1.1
12.0	11.8	1.7
15.0	14.9	0.6
18.0	18.2	1.1
20.0	20.1	0.5
平均	-	0.8

6. 標示認識

6.1 ニューラルネットワークの構成と学習

道路標示は“とまれ”、“規制速度 (40)”、“横断歩道”、“前方に横断歩道あり (◇)”、“前方優先道路 (▽)”、“直進 (↑)”の 6 種類を認識対象として切り出しを行った。しかし“とまれ”については記号が別々に切り出される場合があるので“とま”、“ま”、“れ”、“とま”、“まれ”、“とまれ”をそれぞれ別の種類の標示として認識する。そして最終的にすべて“とまれ”であるとする。このことによりニューラルネットワークにより認識する道路標示の種類は 11 種類となる。切り出した道路標示は、(1) 階調値の引き伸ばし、(2) 平滑化、(3) 大きさ 128x128 の画像を 16x16 に縮小という前処理を行いニューラルネットワークに入力する。

ニューラルネットワークの構成は、入力層ユニット 256(16x16)、中間層ユニット 20、出力層ユニットは 11 の階層型 3 層ニューラルネットワークで出力層のユニット 1 つが 1 つの標示に対応している。

学習には、道路標示以外の画像を入力した時の誤認識を防ぐために、誤って切り出されやすい白線や前走車などの抑制画像を含む合計 70 枚を用いた。また学習後には学習に用いた画像では 100% の認識率となり、正しく学習が行われたことを確認した。

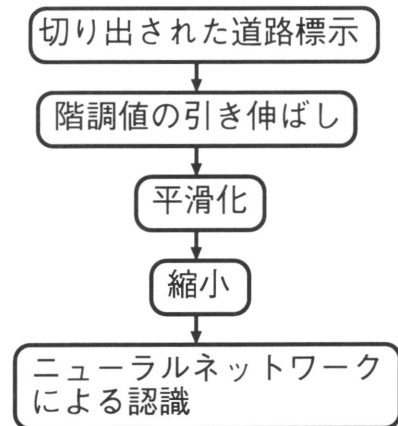


図 16: 認識のアルゴリズム

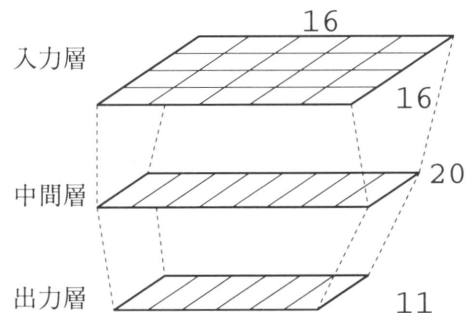


図 17: ニューラルネットワークの構成

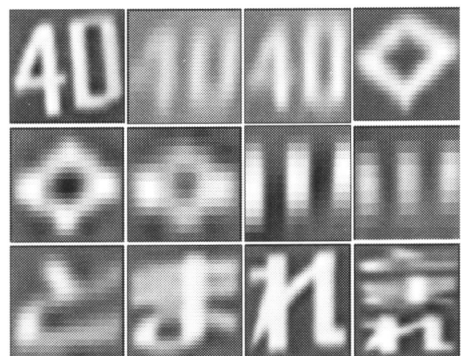


図 18: 学習画像の例 (標示画像)

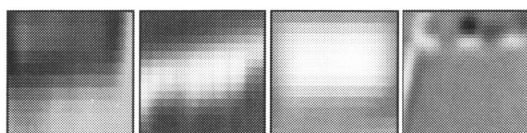


図 19: 学習画像の例 (抑制画像)

6.2 結果

ニューラルネットワークにより認識実験を行った結果を表 2 に示す。道路標示の認識結果は、昼画像の道路標示で 96.5[%], 夜画像の道路標示で 100.0[%] と高い認識率を得た。夜画像が昼画像より認識率が高くなったのは、道路標示が光を反射しやすい塗料で描かれており、周囲とのコントラストの差が昼間よりも拡大され雑音となる濃度変化が抑えられたためと考えられる。

認識結果の例を図 20 に示す。上図が昼画像の認識結果、下図が夜画像の認識結果である。それぞれの図で上段に認識時の画像、下段に認識した道路標示までの距離と道路標示の種類が表示されている。

表 2: 昼画像と夜画像の認識率の比較

	未学習画像 (昼)	未学習画像 (夜)
正解/試行枚数	55/57(枚)	48/48(枚)
認識率	96.5%	100.0%

7. 画像補正

自動車を運転する際には、標示の認識が困難な悪条件の場合もある。そこで、夜の雨上がり・逆光などの場合について認識率を向上させるために画像処理を行い補正する。

7.1 方法

車内から撮影した道路画像の輝度 (0~255) の平均値を求める。この平均値が 10 以下の時は夜の雨上がりの画像、平均値が 100 から 130 の間で、かつ任意に定めた道路領域に対する輝度の平均値が 5 以下のときは逆光の画像とする。

夜の雨上がりの画像は画像全体が通常の画像と比べ大幅に暗く標示が目立たなくなっている。そこで HSI 変換を用いて補正を行う。HSI 変換とは、通常の R, G, B の各原色の濃度を指定する方法からマンセルの表色系等の顕色系で使われる色相 (H: hue), 彩度 (S: saturation), 明度 (I: intensity) を指定する方法に変換することであり、画像の色相, 彩度, 明度を自由に調整することができ

るようになる。変換後の画像において輝度の調整を行い画像を明るくして通常の画像に近付けることを行う。



約 19.8[m] 前方 '40'



約 13.5[m] 前方 '横断歩道'

図 20: 認識結果の例

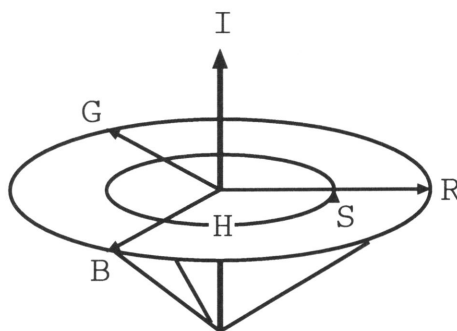


図 21: RGB → HSI 変換模式図

逆光の場合については標示の背景となる道路の部分
が明るくなり標示とのコントラストの差が小さくなっ

ている。そこでソベル変換を行う際に、ソベルフィルタの係数を2倍にし通常よりも強くエッジの強調を行うことによりコントラストの差が小さくても通常と同様にエッジを検出できるようにする。

-1	0	1	-1	-2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

図 22: 通常のソベルオペレータ

-2	0	2	-2	-4	-2
-4	0	4	0	0	0
-2	0	2	2	4	2

図 23: 補正用のソベルオペレータ

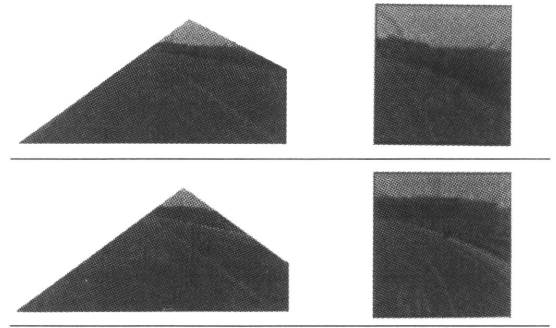


図 24: 補正前の画像から切り出された道路領域の例

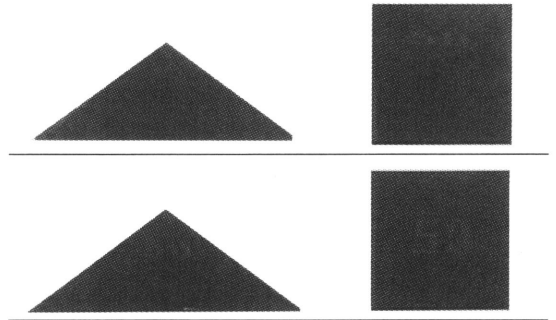


図 25: 補正後の画像から切り出された道路領域の例

7.2 結果

補正が必要となる画像で評価した結果、補正を行わない場合(図 24)では逆光で撮影しているため画像が暗く、エッジが十分に検出できないため道路領域の切り出しに失敗している。しかし画像の輝度の調整などの補正を行うことにより、道路領域を通常条件の画像と同じように切り出すことが可能になった(図 25)。

通常の方法で悪条件の画像の認識実験を行うと 30 枚中 8 枚正解となり認識率は 26.7%と通常の画像の場合より大幅に低くなる。一方、この方法で画像補正を行うと 30 枚中 15 枚正解で認識率は 50.0%となり通常の方法と比較して 2 倍程度向上する。

認識に失敗しているものは、標示部分と道路部分にコントラストの差が少なくヒストグラムによる抽出ができなかったり、光の反射など雑音成分を抽出してしまうものが多い。悪条件の場合には道路標示の切りだしが正確に行われるような前処理をさらに検討する必要がある。

表 3: 補正を行った場合の認識結果

	通常条件	悪条件
補正処理なし	98.3%	26.7%
補正処理あり	-	50.0%

8. まとめ

本論文では、車載カメラにより撮影した道路画像から自動的に道路標示の切り出しと認識を行う手法を提案した。実験は 1 車線という条件において撮影した画像を用いて行い、道路標示の抽出と認識が良好な精度で実現できるという結果を得た。

昼画像と夜画像との道路標示の認識率の比較を行うと、夜画像の方が昼画像よりも認識率が高くなるという結果を得た。夜画像は余分な雑音となる濃度値の変化が少ないために、昼画像よりも認識率が高くなることが分かった。

標示の切り出しをするとき候補を 4 個にすることにより、これまで前を走っている車など標示以外の物を切り出してしまうことで誤認識していた画像にも対応できるようになった。これは候補を複数にしたことにより標示以外の物が候補に含まれていても標示の方にニューラルネットワークが強く反応することから正しく認識を行えるようになったからである。また道路部分の切り出しにスプライン補間を用いた結果、カーブにも対応できるようになりハフ変換のみの切り出しより柔軟性が増している。

本研究の目的はリアルタイムでの道路標示の認識を行うことである。現在のアルゴリズムでは1画像につき1秒程度の処理時間を要することが分かった。しかし、リアルタイムという条件を達成するためには、更に処理時間を短縮する必要がある。また、道路標示については、道路標示の種類を6種類で認識実験を行ったが、その他の道路標示についても認識実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 舟橋 典克, 長坂 保典, 鈴木 宣夫: "道路上の標示認識", 電気学会道路交通研究会資料, RTA-97-2, (1997)
- 2) 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)
- 3) ニューロンネットグループ + 桐谷 滋: "入門と実践 ニューロコンピュータ", 技術評論社, (1993)
- 4) 知能システム研究会: "C でつくる続・脳の情報システム", 啓学出版, (1992)
- 5) 舟橋 典克: "道路標示の認識に関する研究", 中部大学大学院電気工学専攻 1997 年度修士論文
- 6) 三矢 武法: "道路上の記号の抽出と認識", 中部大学工学部電子工学科 1997 年度卒業研究論文