

道路情報処理とコンピュータビジョン

安居院 猛 中嶋 正之

東京工業大学・工学部・像情報工学研究施設

本報告では、安居院・中嶋研究室で行っているコンピュータビジョンの研究に関係する各種の道路情報処理の概要について紹介する。まず始めに、画像処理の技法を利用した自動操縦の研究として、従来の主な研究を紹介し、我々の研究室で行っている高速道路における先行車の自動同定およびハフ変換を利用した車両のナンバープレート領域の抽出実験について述べる。次に、道路網地図処理に関する研究として、車載型自動航法システムの概要について紹介し、我々が検討を行っている道路データベースの構成、最短時間経路の割り出しに関する研究および道路地図の自動読み取りに関する研究について紹介する。

今後、益々自動車のエレクトロニクス化が推進され、また近い将来人工衛星を通して車の現在位置が正確に把握される状況が到来した時には、本報告で紹介した技法が重要な意味をもつものと考えられる。

Information Processing on Roads and Computer Vision

Takeshi AGUI Masayuki NAKAJIMA

Imaging Science and Engineering Lab., Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama-shi, Japan, 227

In this report, we describe researches on information processing about roads. At first, studies on automatic drive and navigation technique, i.e., automatic identification and tracking of a preceding car and automatic number plate recognition algorithm, are introduced. Next, studies on road map information processings, i.e., a road database construction technique for automatic navigation system, the shortest drive time calculation algorithm and automatic road extraction algorithm from road maps, are described. In future, these studies will become more important after we have been able to use a car positioning system by satellites.

1. はじめに

画像処理手法特にコンピュータの手法が産業、医学、工学、芸術、等、広い分野において有効に活用される時代となった¹⁾。特に、ロボットビジョン、自動検査、計測、等の産業への応用が試みられ多くの報告²⁾がなされている。筆者らが属する東工大像情報工学研究施設安居院中嶋研究室においても積極的に画像処理の産業分野への応用を試みており、その関連テーマとして自動車や道路情報処理の研究を進めている。そこで本報告では筆者らの研究室で行っている、特にコンピュータビジョンと関連の深いテーマについて紹介する。

筆者らの研究室で行っている道路情報処理のテーマは、大きく分けて次に示す2つに分類される。

- (1) CV技法を利用した自動追跡関連テーマ
- (2) 道路地図処理に関連するテーマ

(1)に関しては、主として、オートドライブのインテリジェント化を目的とする高速道路における先行車両の自動認識や、自動車の同定を目的とするナンバープレートの自動読み取りの研究、等があり、(2)に関しては、2点間の最短経路抽出や、道路地図からの道路領域の抽出、等がある。本報告ではこれらのテーマの内容およびその背景について述べる。コンピュータビジョンの応用の方向として、今後ますます自動車や道路に関係する研究が活発に行われその重要性も増大するものと考えられる。

2. 自動車の情報化について

自動車を陸上交通機関の1つとして見た場合、その大きな特徴は鉄道と違って、はるかに高い自由度を持ち、運転者の意のままに移動することが可能である点にある。自動車は、発明されてからしばらくの間このような大きな特徴を持っているにもかかわらず、その性能を発揮できる道路が整っていなかったため大きな発展はなかった。しかし20世紀に入り、特に1914年に勃発した第一次世界対戦後、エンジンの改良など部品から道路の舗装まで含めたいわゆるハードウェアの部分での研究改良が進み、自動車の需要は飛躍的に伸びた。以後、自動車の生産台数はオイルショックの影響はあったものの順調に伸び、1983年には主要7カ国で合計約3200万台にまで達した。

一方、自動車におけるソフトウェアともいうべき“道順の選択”については、ハードウェアの進歩ほどは進んでなく自動車の登場以来今日まで、道順の決定は常に運転者一人一人にまかされたままである。これは自動車が他の輸送機関、例えば鉄道や飛行機などのように専用通行路を持たず、道路の一使用者にすぎないことによるところが大きい。そのため、道順選択に対しては間接的な方法でしか援助することが出来ず、自動車の大きな特徴である“意のままの移動”を行うためには、あらかじめ運転者はその

土地の道路に関する知識を持っていなければならない。しかし、一般の運転者は初めての土地を走行することも多く、その場合運転者は他の土地を走った経験や勘をたよりに走るため、現在のように道路網地図や道路標識があっても、不案内な土地において適切な道を選ぶことは至難の業である。このような不案内な土地での道の迷いや、幹線に車が集中して混雑した渋滞路などで、運転者のこうむる肉体的・精神的な疲労、時間・燃料のロスはその一車両だけの問題ではなく、走行中の全車両分を合計すると相当な量に達すると考えられる。エネルギー資源の節約が叫ばれて久しいが、今後とも社会生活の中で自動車の果たす役割が拡大するのにしたが、自動車利用の時間的・経済的効率化および適正化は、今後の重要な課題である。

このような状況、及び“情報化社会”と呼ばれる社会情勢、さらに今述べた経済的理由の他、安全性という面からも、自動車の“情報化”又はコンピュータとの組合せによる“システム化”が望まれている。自動車の“情報化”をより発展させるためには、車に搭載されたコンピュータの他に周囲の情報を得るための各種センサおよび発信機・受信機などの装置も必要になる。これらの各装置が実用上十分な性能を持ち車への搭載が可能であるとした場合、自動車の効率的利用及び安全性の面から、運転者に対し次のような情報の提供が望まれる。

1. 前方障害物の検出
2. 自己位置の同定・進行方向の認識
3. 前方道路の渋滞状況
4. 目的地への最短時間経路
5. 路側の見逃ししやすい標識などの確実な認識

上記5つの情報の中には、自動車単体では得られず相手側からの発信を必要とするものもあるため、現段階でこれら全ての問題を一度に解決することは困難であり、個々に研究が進められている。

3. 自動操縦に関する研究

3. 1 従来の自動操縦車に関する研究

自動操縦車の研究は、米国では1957年からRCA社やGM社で実施されている。わが国でも、通産省工業技術院機械技術研究所で研究が行われており、1967年には時速100kmの安定な自動操縦を実現した³⁾。

この自動操縦車は、道路に誘導用ケーブルを埋設してこれに交流電流を流すことによって路面に磁界を形成し、これを車に装着したコイルで検出して制御するものである。しかしこのような方式だと、ケーブルが埋設されていない道路では走行できない。また、ケーブル埋設後に生じる障害物を回避することもできない。このため人工眼を備え、道路環境を認識できる知能自動車に関する研究が、同じく機械技術研究所で行われている⁴⁾。

知能自動車とは、人工知能を持った一種の移動口

ポットであり、文献4)によると、それが持つべき機能は、以下のようなものである。

- (1) 進行予定路面の状態、障害物の分布などの外部環境を認識する機能。
- (2) 目的地に対する自分の位置や、方向、コースなど目的地へ誘導する情報を検出する機能。
- (3) (1)と(2)の結果から、障害物を回避する径路や、道路の分岐点での径路を決定し、移動機能に対する制御指令を出す問題解決機能。
- (4) (3)の指令どおりに動くことのできる移動機能。

機械技術研究所における研究は⁴⁾、主に(1)を目的にしており、TV信号を直接時間微分することによって高速処理を実現している。また、Sobel変換で水平エッジを抽出することによって障害物の占める領域を検出する方法が文献5)で報告されている。

一方、機能(2)の中の自己位置の同定法としては、機械技術研究所の福井らの研究が有名である^{6)~9)}。これは自動車ではなく、例えば工場内で働くロボットの様なものを想定している。その特徴は、対角線をX-Y軸とするような正方形を基準マークとして基準位置に設定し、TVカメラで撮影した基準マークの像のひずみを解析することによって、移動ロボット自身の3次元の絶対位置を測定することである。別な立場のものとして、スタート位置からの距離と方向の変化を積算して、現在位置を計るものがある。例えば本田技研のシステムは、タイヤの回転数によって距離を計測し、ガスレートジャイロによって方向の変化を検出している⁹⁾。

筆者らは、自動操縦に関する研究として、機能(2)の目的地への誘導を目的として外部環境から特定の先行車を認識し、これを追跡することを第一の目標とした高速道路における先行車両の認識に関する研究を行っている^{10), 11)}。次にその研究内容について紹介する。

3. 2 先行車の自動同定

自動操縦に関する従来の研究が、主として道路上のすべての立体を障害物として検出するだけであったが、筆者らは、任意の先行車が追跡できるように先行車にマーカを取り付けず、しかも画像処理だけで先行車の相対的位置関係を把握することを目的とした先行車追跡システムを検討した。

3. 2. 1 先行車の同定方法

筆者らが行った研究¹⁰⁾では、特定の先行車の同定を行うために、入力画像から抽出した特徴でモデルを作成し、これを利用してマッチングを行っている。ここで提案したモデルの構成には、次に示す二つの特徴がある。

- (1) 2次元モデルの採用

対象にしている世界は3次元世界であり、対象とする物体も3次元物体であるから、マッチングに用いるモデルは3次元モデルであることが望ましい。

ところが、自動同定の最終的な目標はリアルタイム処理であるため、モデルの作成やマッチングの処理時間を考慮すると、モデルはできるだけ単純な方がよい。そこで、走行中に先行車が見せる姿が主にその背面であることを考慮し、背面の持つ2次元情報を利用する2次元モデルとする。

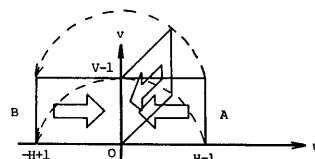
- (2) 対称性の利用

文献10)で提案したモデルの最も大きな特徴は、先行車の抽出とモデルの作成に自動車のリア・ビューが左右に対して一般に対象であるという性質を利用した点にある。

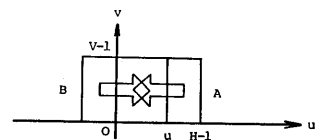
まず始めにデジタル画像入力装置を用いて入力された階調画像に対し、微分を施し、2値線図形を作成する。図2(a)に入力画像、(b)に微分2値画像の例を示す。次に、先行車の2次元位置を把握するため、先行車の対称軸候補を抽出する。この方法は、図1(a)に示すように、鏡像を作成し、(b)に示すようにに相関を求め、その相関値が最大となる位置を対称軸に決定している。

次に対象物体以外の領域を簡単に除去する方法として、対称軸を中心に微分2値画像を2つ折りにして重なった部分の論理積を求めることを行い、先行車の基本的な対称成分を含む画像を得た。このようにして得られた先行車の対称名水平エッジ成分は、数カ所で分断されていることが多いので、接続処理¹⁰⁾を施すことにより、図2(c)に示す先行車のモデルが求まる。この水平エッジ成分を利用して、逐次得られるフレーム内の水平エッジ成分とのパターンマッチングを行うことにより、先行車の同定が行われる。

以上、示したのが基本的な同定アルゴリズムであるが、現在、更に良好に先行車の抽出と同定が行えるように改良を行っている。例えば、図3は、先行車の抽出の際に、容易に抽出が可能な白線を利用して、先行車領域の限定を行った¹¹⁾ものであり、また水平成分の正確な抽出が特に重要であることを考慮して、文献12)では矩形Sobelオペレータによる先行車両の水平エッジ成分の抽出を行っている。

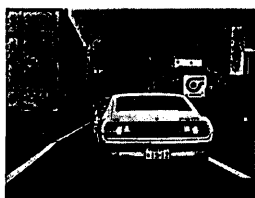


(a) 鏡像の作成

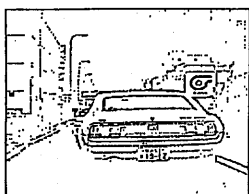


(b) 相関の計算時

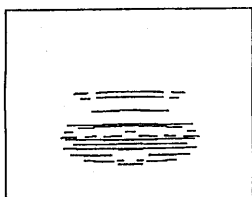
図1 相関の計算法



(a) 原画像

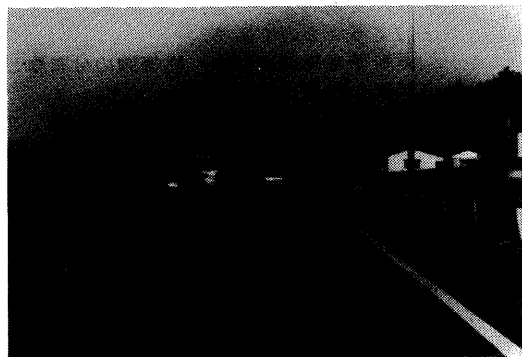


(b) 微分2値画像

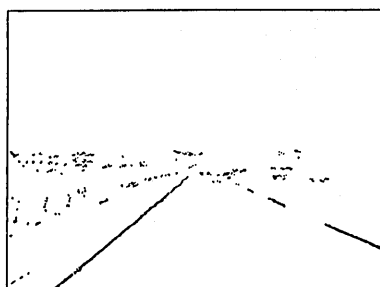


(c) モデル

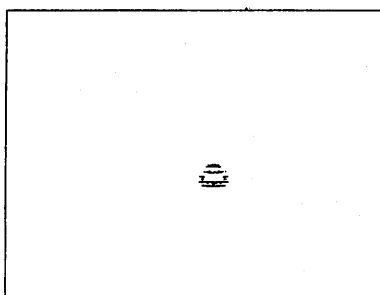
図2 先行車のモデリング



(a) 原画像



(b) 白線の抽出



(c) 先行車の切り出し結果

図3 白線を利用して先行車を切り出した例

3. 2. 2 車両番号の読み取りシステム

3. 2. 1で述べた方式においては、車両の形状の認識を行っているため個々の車両に対する完全な認識を行うことが不可能であった。そこで筆者らは、計算機画像処理の手法を利用して、自動車のナンバープレート上の車両番号を認識し記録するシステムの検討を行っている。文献13)では、その第1段階として、ナンバープレート領域の抽出実験を行った結果について報告している。良く知られていることであるが、車のナンバープレートの特徴について以下に列挙する。

- [1] ナンバープレートの大きさや書体が規格化されている。例えば、ナンバープレートは横と縦の長さの比率が2:1である。また、ハイフンの長さをAとしたとき、ナンバープレートの1つの数字の線の太さは $(2/3)A$ であり、1つの数字の横幅B、高さCはそれぞれ $2A$ 、 $4A$ であり、また数字左右の空白の幅Eは $(2/3)A$ である。
- [2] 車を前方から見ると、ナンバープレートは車の高さの半分より下にある。
- [3] ナンバープレートのエッジ部分で明るさが急激に変化している場合が多い。
- [4] 車のフロントビューは、一般に水平エッジ成分を多く含んでいるが垂直エッジ成分はほとんど含んでいない。

これら4つの特徴を用いることによりナンバープレートの領域の抽出が効果的に行うことができる。

文献13)では、車の前方から撮影した画像から、垂直線と水平線に囲まれる車のナンバープレートの領域を抽出する方式を提案している。

本方式では、車のフロントビューを撮影した画像から計算機を用いて、直線群を抽出する。そのため、パラメータ平面領域制限をしたHough変換を用いる。パラメータ平面領域制限Hough変換により、従来のHough変換の問題点となっているメモリ量や処理時間を大幅に削減できる。

すなわち、抽出する直線の方向が、あらかじめ限定されていると仮定すると、その場合、各エッジ点に対するパラメータ平面での軌跡を、限定された範囲内の部分だけ描く方式である。ここではナンバープレートの水平と垂直線成分を抽出するために図4に示すように θ 軸の $-3 \sim 3$ 度と $87 \sim 97$ 度以内の領域に制限している。図5(a)は、本方式により水平・垂直線成分を抽出した例であり、(b)図はその中から横と縦の長さの比率が2:1であるという特徴を用いてナンバープレートを囲む4本の線を抽出した例である。

以上述べた方法が基本的なアルゴリズムであるが、文献14)ではさらに処理を高速化するためにピラミッド階層を利用した高速Hough変換の提案を行っている。

本手法により、ナンバープレートが持つ特徴を用いることによって、ナンバープレートの領域を抽出することができた。これより車のフロントビューの中央付近にナンバープレートが付いていないトラック等の場合でも、ナンバープレートの領域を抽出することが可能になった。

4. 道路網地図処理に関する研究

前章においては、画像処理手法を用いた先行車両の自動認識に関する研究について述べた。我々の研究室では、関連する研究として、自動車の自動航法システムの確立を目的とする道路網地図処理に関する研究を行っている。以下にその概要を示す。

4.1 車載型自動航法システム

数年前から、自動車関連メカによって、車へのコンピュータの搭載、特にエレクトロニック・マップに関する研究が行われている^{15), 16)}。CD-ROMによる記憶装置の開発など、ハードウェアの進歩に伴って、車載型自動航法システムの実現は、より現実的になってきていると考えられる。

一般に、車載型自動航法システムを構成するハードウェアは、次の4つが基本であると考えられる。

1. マイクロコンピュータ
2. ディスプレイ
3. センサ
4. 入力装置

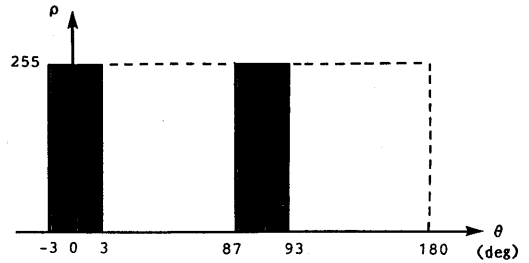
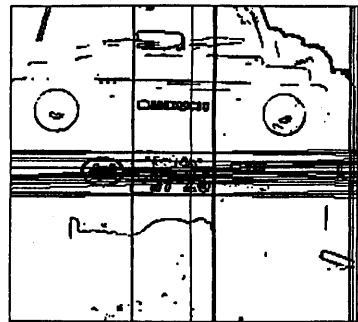
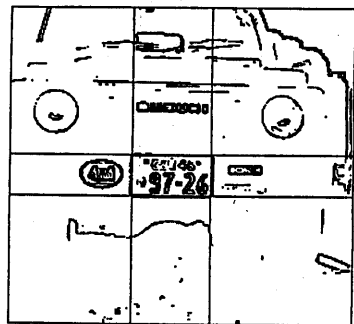


図4 領域制限したパラメータ平面



(a) Hough変換により線成分を抽出した例



(b) ナンバープレートを囲む4本の線成分の抽出例

図5 パラメータ制限Hough変換を用いたナンバープレートの抽出例

システムの中心であるマイクロコンピュータは、センサなどからの電気信号を高速に処理することが可能で、かつ積分計算を多く行うため、累積誤差が問題とならないような高精度な処理が要求される。

ディスプレイは、コンピュータからの信号によって運転者に対して自己位置や道順などのあらゆる情報を示す窓口であり、次の3つの使用を考慮しなければならない。

1. 形状が大きく、しかも視界を妨げないこと。
2. 周囲の明るさに比べて表示輝度が十分明るいこと。
3. 衝突事故などに遭遇しても、危険ではないこと。

自己位置や走行方向・距離を測定する方法は、現段階ではセンサを用いる手法が最も一般的である。センサとしては、なるべく精度が良く周囲の影響を受けにくいものが要求される。この他に、アメリカなどで研究が進められ日本の電機メーカ各社も一斉にその製品を公開した、衛星からの信号を利用する方法などがあるが、これらは現在のところ利用できる環境には至っていない。

実際にシステムを利用する場合、自動車の初期位置の入力や目的地の入力を行うために入力装置が必要になる。現在入力装置として提案されているものは、キーボード、タッチスイッチ、ライトペンなどがある。

我々は、主として、道路データのディスプレイ方法に関する研究を行っており、文献17)では、特に道路網に対するデータ構造、データ量、データ入力実験を中心に述べている。

道路網データに関する問題は、次の3つに分けることができる。

1. どのようなデータ構造を用いるか。
2. どの程度の範囲の地域を扱うか。
3. どの程度の細かさまで扱うか。

これらの問題は、地理データベース^{18)・20)}共通の問題である。特に車載型自動航法システムでは、搭載する記憶装置に物理的・経済的制限があるため、上記3つの問題は密接に関連しあっている。文献17)では、まず最も基本的かつ一般的であると考えられるデータ構造を決定し、実際の道路網のある程度の細かさまで入力する。これによって得られた道路網地図のデータの基礎資料を基に、上記3つの問題に対して検討を加えている。

ここでは、道路網のデータ構造として、交差点基準のポイント型を採用した。また、高速道路・有料道路・一般国道をレベル0、主要地方道をレベル1、一般地方道をレベル2、その他の道路をレベル3として階層化した。図6は埼玉県道路網地図を表示したものであるが、文献17)で提案したデータ構造で実際に入力したところ、地名や鉄道など、道路以外の情報も含めて、約58Kバイトであった。

また文献21)では、道路表示のための車載型自動航法システムにおける道路形状の表示条件について検討し、良好な道路表示アルゴリズムについて述べている。

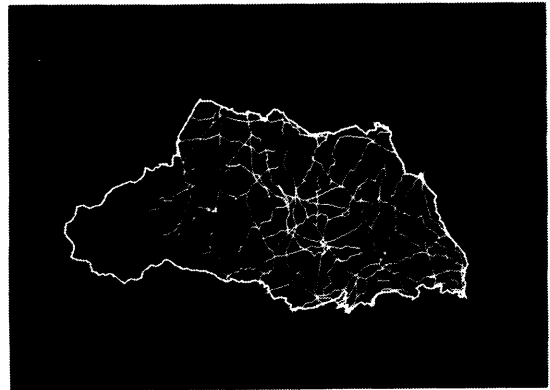


図6 埼玉県道路表示の例

4. 2 最短時間経路割り出し

車載型自動航法システムが実用化された場合ユーザが最初に望むと考えられる機能に、目的地までの最短時間経路割り出し問題がある。車載型自動航法システムが本質的にエレクトロニック・マップであり、ディスプレイ上に目的地を含む道路が全て表示されていても、目的地までの道順を選び出す作業は容易ではない。また、地理に不案内な土地においては一方通行・進入禁止・右左折禁止などの知識もないため単にディスプレイ上に表示されている道路をたよりに走ることはかえって遠回りになることもあり、無駄な労力を使うことになりかねない。このような時、たとえ目的地が近いところであっても最短時間経路割り出しの機能を利用すれば、前もって通行不可能な道路を知り、余計な労力を使わずに快適な運転を行うことができる。

そこで、筆者らは、最短時間経路割り出しに関する研究を行っている。文献22)においては、グラフ理論における2節点間最短経路問題で有名なダイクストラ²⁴⁾、ニコルソン²⁵⁾による方法を適用した実験結果について考察している。

図7は埼玉県内の2点間の最短時間経路割り出し例である。また文献23)においては、さらに処理の高速化を実現するために道路に対して、0から2までのレベルを付与し、優先順位の高い道路を積極的に利用し最短経路を求めるアルゴリズムの提案を行っている。

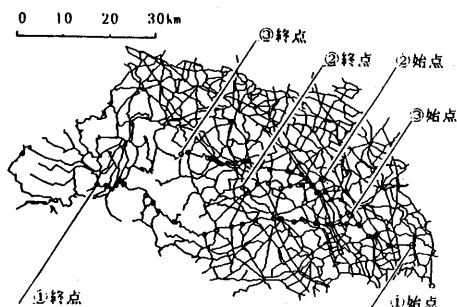
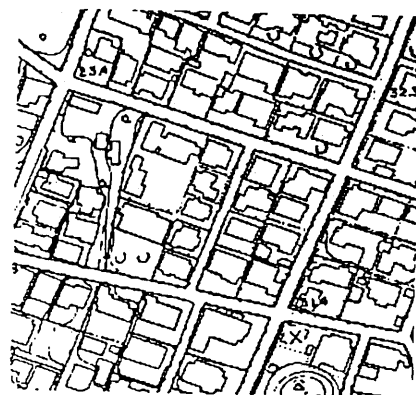


図7 最短時間経路割り出しの例



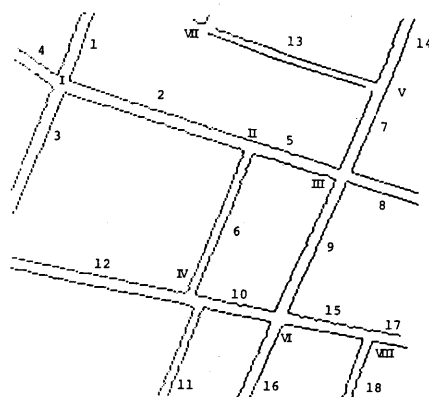
(a) 入力地図

4. 3 道路地図の自動読み取り

車載型のエレクトロニック・マップを作成する際の問題点として、各種の地図情報の入力である。現在はデジタイザを用いて人手により入力しているが、多大の労力を必要とするため自動入力が見込まれていた。

現在図面の自動読み取りに関する研究が精力的に行われており、筆者らも各種の図面処理の研究に取り組んでいる²⁶⁾。文献27)においては、パラレルベクトルトレサを利用して多くの情報が含まれる市街化地図から道路だけを自動抽出するアルゴリズムについて述べている。図8は、(a)の市街化地図から(b)の道路を自動抽出した例である。また文献28)においては、市販の2万5千分の1の地図から効率良く道路網情報を自動抽出し、そのベクトル化を施すアルゴリズムについて提案している。

筆者らの研究室では、今後とも各種地図からの道路情報の自動抽出に関する研究を行う予定である。



(b) 道路の抽出結果

5. おわりに

本報告では、東工大像情報工学研究施設の安居院中嶋研究室において現在積極的に取り組んでいる自動車および道路情報処理に関する研究の最近の成果について紹介したものである。

今後益々自動車のエレクトロニクス化が推進され²⁹⁾、また、近い将来人工衛星を通して車の現在位置が正確に把握される状況が到来するものと考えられる。このような状況においては、本報告で述べた各種の手法が有効に活用されるものと考えられ、今後ともこの方面の研究を推進させる予定である。

図8 道路情報の目的抽出の例

《文献》

- 1)安居院, 中嶋: 画像工学の基礎
- 2)例えば, 「第1回産業における画像センシング技術シンポジウム」
- 3)谷田部照雄: 人工の目を持つ知能自動車, 人工知能百科, 日本の最新技術シリーズ(8), pp.192-194 (1982).
- 4)広瀬武志: 両眼視による立体障害物認識手法—知能自動車の人工眼一, 計測自動制御学会論文集, Vol.19, No.8, pp.650-658 (1983).
- 5)Inigo, R.M., McVey, E.S., Berger, B.J. and Wirtz, M.J.: Machine Vision Applied to Vehicle Guidance, IEEE Trans. Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol. PAMI-6, pp.820-826(Nov. 1984).
- 6)福井郁生, 中村達也: TV画像認識による移動ロボットの3次元位置決め, 昭和56年度電子通信学会総合全国大会, 1331 (1981).
- 7)Marge, M.I. and Aggarwal, J.K.: Robot Vision for Location Determination and Obstacle Avoidance, IEEE CONPCON '83, pp.201-210 (1983).
- 8)Courteny, J.W., Magee, M.J. and Aggarwal, J.K.: Robot Guidance Using Computer Vision, Pattern Recogn., Vol.17, No.6, pp.585-592 (1984).
- 9)田上勝利, 高橋常夫, 高橋文孝: 自動車用慣性航法装置エレクトロ・ジャイロケータ, 自動車技術, Vol.36, No.5, pp.528-534 (1982).
- 10)中嶋, 安居院, 春松: 高速道路における先行車の同定と追跡に関する検討, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.7, pp.663-670 (1986)
- 11)高橋, 安居院, 中嶋: 高速道路における先行車両の同定と追跡—第2報—, TV学会技報, IPA81-2 (1985).
- 12)中嶋, 安居院, 高橋: 矩形Sobelオペレータによるエッジ成分の抽出とその応用, 信学技報, IE86-6 (1986).
- 13)安居院, 崔, 中嶋: 画像処理を用いた車両番号の抽出に関する研究, 信学論(D)-2月号, 掲載決定.
- 14)安居院, 崔, 中嶋: ピラミッド階層を利用した高速Hough変換について, 信学技報, IE86-67 (1986).
- 15)杉江衛, H.T.Kung, D.Menzilcioglu: 磁気バブルメモリを用いたエレクトロニクス・マップ, 信学技報, EC83-45 (1986).
- 16)Peter haeussermann: On - Board Computer System for Navigation, Orientation and Route Optimization, SAE Technical Paper Series (840485) (1984).
- 17)安居院, 長尾, 鈴木, 中嶋: 道路網地図処理に関する研究—第1報—, 信学技報OS86-7 (1986)
- 18)坂内, 大沢: 背景地図画像と中間媒介図形を用いた地理情報システム TOGIS, コンピュータビジョン 14-5 (1981).
- 19)吉野, 吉村, 田中, 市川: 地理情報システムにおける基本操作機能, コンピュータビジョン 32-3 (1984)
- 20)宮武, 松島, 角本, 江尻: 地形図からの道路網作成の試み, 情報処理学会第27回全国大会 40-5 (1983)
- 21)安居院, 長尾, 鈴木, 中嶋: 道路表示のための曲線補間に関する一考察, 信学全大通信部門大会 1563 (1986).
- 22)安居院, 三沢, 中嶋: 道路網データにおける最短時間経路割り出し, 昭和60年信学システム部門全大 42 (1985).
- 23)安居院, 三沢, 中嶋: 主要道路網を用いた最短時間経路割り出し法, 昭和61年度信学全大 1586 (1986).
- 24)Dijkstra: A note on two problem in connection with graphs Numerische Mathematik, 1, p.269.
- 25)Nicholson: Finding the shortest route between two points in a network, Computer J., pp.275-280, 9 (1969).
- 26)安居院, 中嶋: 画像処理手法を利用した地図図形の解析, 第2回オートカルトジャパン, D-2.
- 27)中嶋, 安居院, 飯塚: 市街化地図に対するパラレルベクトルトレーサを用いたグラフ構造解析, 信学論, Vol.J67-D, No.12, pp.1419-1426 (1984).
- 28)長尾, 安居院, 中嶋: 地図画像中の道路網に対するベクトル化手法, 信学全大, 昭和62年.
- 29)原島, 笹山: 自動車における最近のエレクトロニクスの応用, 信学誌, Vol.69, No.5, pp.453-461.