

道路情報自動抽出における未抽出道路の協調的推定法

西 嶋 征 和[†] 渡 邊 豊 英[†]

既存の市街地地図より道路情報を自動的に抽出することは、地図情報処理システム (GIS) の構築時に効率的にデータ・リソースを作成するうえで重要とされている。この課題に対し、今まで様々な手法が提案・報告されているが、いまだ実用の段階には至っていない。地図内の道路が文字列や地図記号などの地図要素と相互に、また複雑に重なり合っており、これが道路情報の自動抽出を困難にしている。本稿では、ボトムアップ処理によって抽出した道路情報をトップダウン処理で精練するとき、道路片に対する仮説を1つずつ単独に生成し解釈するのではなく、同時に仮説を生成して総合的に解釈し、推定する道路形状に整合するように精練するというアプローチを提案する。同種の地図要素間の認識結果を相互に参照して、また異種の地図要素の認識結果を参照して精練処理を実行する。また、我々が提案する協調的推定法と本研究室にて以前提案された推定法を比較し、実験を通して本手法の有用性を明らかにする。

A Cooperative Inference Method to Extract Un-detected Roads in Urban Map Recognition

MASAKAZU NISHIJIMA[†] and TOYOHIDE WATANABE[†]

The subject for extracting road information automatically from map images has been recognized as effectual means to construct GIS (Geographical Information Systems). Until today many researches on this subject have reported different methods/approaches. However, it is not easy to extract road information successfully because various kinds of map elements are overlapped and intersected mutually. In this paper, we propose an advanced approach to identify road information refinedly on the basis of cooperative inference mechanism. This mechanism generates hypotheses for unextracted roads simultaneously and interprets them cooperatively with respect to the mutual correspondence relationships. Namely, roads, disjointed by the existence of other map elements or not extracted as road fragments, may be connected as a result of checking up the conformity, consistency and adequacy among hypotheses or the correspondence/adjustment between hypotheses and other map elements. This paper discusses such an approach and also makes the recognition ability clear through some experiments.

1. はじめに

近年、カーナビゲーション・システムをはじめ、既存の地図を計算機に入力し、そのうえで各種情報サービスを提供する地図情報処理システム (GIS) が普及してきている。市街地地図中の道路の接続関係、つまり道路情報は、これらのシステムにおいて最も重要な要素の1つである^{1),2)}が、現在その入力の多くは人手を介した作業に依存しており、システムを構築する際の労力、時間の浪費、また入力誤差といった問題もある。それゆえ、計算機を用いて既存の地図より自動的に道路情報を抽出することが望まれている。

今日まで、この課題に取り組んできた研究として、大きく分けて、ボトムアップ・アプローチによるものとトップダウン・アプローチによるものがある³⁾。ボトムアップ・アプローチでは、入力画像から得られる構成要素を順番に組み上げて全体を構築していく。画像中の平行で連続した画素を追跡する手法⁴⁾、パラレル・ベクトル・トレーサを用いた手法⁵⁾、飛び越し走査による手法⁶⁾などが提案されている。入力画像に対して画素および線分レベルで直接処理しているため、道路以外の情報や画像取込み時に混入した雑音に対処しておらず、処理能力に限界がある。一方、トップダウン・アプローチでは、システムが認識対象のモデルとそのモデルに関する知識を有し、そのモデルと知識に従って構成要素に該当する形状を探索し、抽出する。ボトムアップ処理とトップダウン処理に基づいた連携

[†] 名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻
Department of Information Engineering, Graduate
School of Engineering, Nagoya University

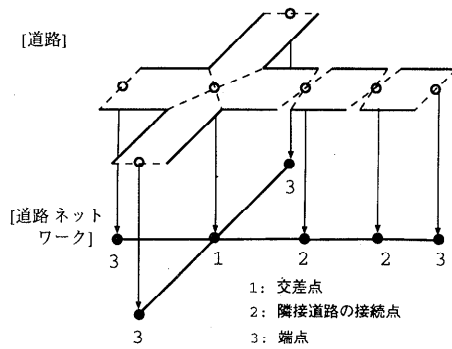


図1 道路ネットワーク
Fig.1 Road network.

的手法^{7),8)}, 仮説生成/検証パラダイムに基づいた手法^{9),10)}などが報告されている。これらの手法では、ボトムアップに抽出した道路情報を道路ネットワークというモデルを用いて表現し、道路形状に関する経験的な知識によってトップダウンにモデルを解釈し、道路情報を精練する。ここで、道路ネットワークとはノードとエッジを基本要素として道路の接続関係を表現するグラフである（図1参照）。

しかし、これらの手法を用いても道路情報を十分に抽出できない場合がある。地図では道路が他の地図要素と重なって描かれ、局所的に道路片だけを抽出してもその大局的な接続関係を得ることができないためである。すなわち、これらの精練プロセスでは、知識と既抽出の道路情報を1つずつ単独に照合・解釈し、仮説を生成するが、生成された仮説も単独に検証するために、仮説相互の関係による大局的、総合的な照合・識別制御が実現されていないためである。また、道路形状に関する知識のみしかシステムが有していないために、文字などの地図要素による道路の消去・分断に対して十分に補完できないためである。

本稿では、ボトムアップ処理で抽出した道路ネットワークを、トップダウン処理で精練するとき、道路ネットワーク内に存在する推定可能な事実、矛盾を1つずつ単独に解釈するのではなく、同時に、総合的に解釈し、推定する道路形状に整合するように精練するというアプローチを提案する^{11)~13)}。このような未抽出道路の推定を協調的推定と本稿では呼ぶ。また本アプローチでは、協調的推定を実現するために、協調領域を導入し、その推定する範囲を有効に限定し、推定の効率化を図る。

2. アプローチ

本稿で提案するアプローチでは、同種の地図要素間

の認識結果を相互に参照して、また異種の地図要素の認識結果を参照して道路情報を精練する。本来の道路が直線ではなく、曲線を描いていたたり、複雑に交差していて、さらにその上に他の地図要素が重ね書きされてうまく抽出されていない場合には、道路の切断部[☆]を単独に調べていく方法ではけっして精練できない。これに対処するには、大局的に各切断部を調べることが、また道路切断の原因となっている他の地図要素との関係を識別することが必要である。これを実現するのが協調的推定法である。本推定法は、道路ネットワークにおける生成仮説の同時・総合的な解釈・検証と、他の地図要素と生成仮説との整合性の検証という2つの仮説推定法から成る。ここで、仮説とは道路ネットワークを推定・解析して得られる道路片の存在可能性であり、切断部に対して設定される。

大局的な仮説解釈を行うために、複数の切断部から同時に仮説を生成し、これらの仮説間の整合性、無矛盾性、妥当性を調べ、適合した仮説間で最良の解釈を採用する。もちろん、この仮説解釈をすべての道路の切断部に対して実行することは多大な処理時間を要し、またまったく無関係な仮説間で処理することは意味がない。複数の関連する仮説が相互に検証される画像上の領域を協調領域^{☆☆}と呼ぶ。すなわち、ある協調領域に存在する仮説間で、同時、総合的な解釈が実行され、処理の有効性を保証する。図2に、ある協調領域に存在する仮説間の解釈機構を概念的に示す。図2では、仮説を切断部から延びた矢印で示している。

一方、他の地図要素によって切断された道路片を補完するために、道路の各切断部から道路の延長方向に他の地図要素を探索し、探索された要素と切断部の間にリンクを張り、同一の地図要素を探索できた切断部どうしを接続する。ここで、リンク元の切断部がリンク先の地図要素によって生成されたと解釈され、1つの地図要素に対する複数のリンク元の切断部は、その地図要素が本来接続されている道路を分断して生成されたと解釈される。したがって、設定されたリンクは道路片の存在可能性を表し、リンク間に整合があるとき道路片が存在するという推定の下に処理が実現される。図3に、この推定法を概念的に示す。図3では、リンクを切断部と地図要素の間に引かれる両方向矢印で示している。

以上のように、本アプローチでは切断部間、切断部

☆ 道路の切断部とは図1の端点などのようにエッジの両端および片端が他のエッジと接続されていないノードのことである。4章で定義する。

☆☆ 4章で定義する。

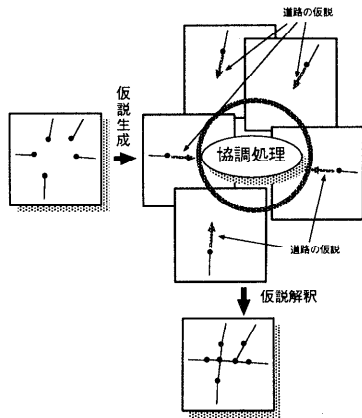


図2 切断部間の協調の概念図
Fig.2 Cooperation among break-points.

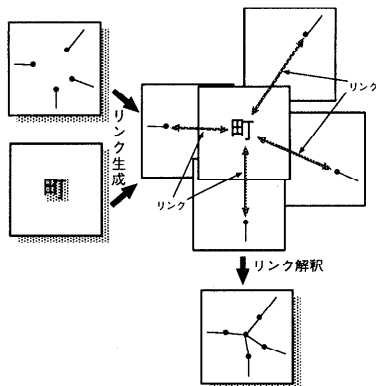


図3 文字と切断部間の協調の概念図
Fig.3 Cooperation between character region and break-points.

と他の地図要素間で道路片の存在可能性を推定し、原地図画像における検証の下に道路ネットワークを精練する。

3. システム概要

道路情報を自動的に抽出するシステムの概要を図4に示す。地図要素識別部、道路ネットワーク構築部、道路ネットワーク精練部から構成されている。

3.1 地図要素識別部

様々な要素が相互に重なり合っている市街地地図から個々の地図要素を明確に区別して抽出することは一般に困難である。本アプローチでは、できるだけ正確に個々の地図要素を識別し、研究目的を明確に実現するために色情報を用いた。色情報によって区別された画素集合は、ラベリング処理、領域統合処理などを経て、それぞれ個別の地図要素として抽出される。これ

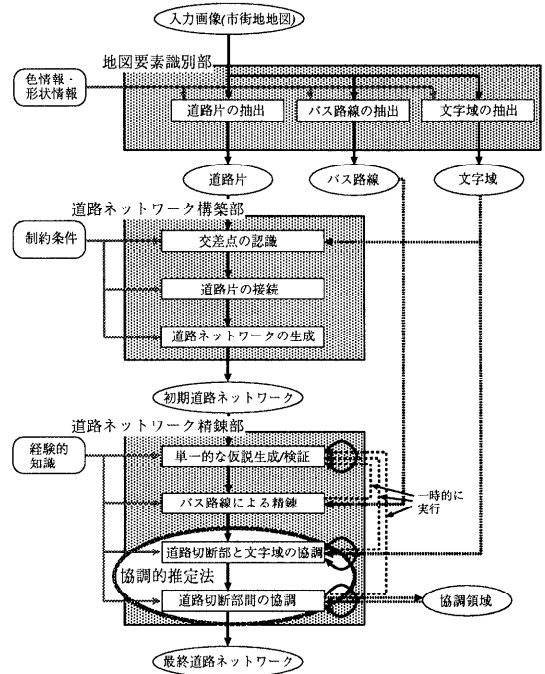


図4 システム概要図
Fig.4 Processing flow.

らの処理により、文字列、バス路線などの要素が識別される。

一方、道路は二値化、細線化、ベクトル化の前処理を経た後、平行な1組のベクトルで構成される平行線分対として抽出される。

3.2 道路ネットワーク構築部

原画像からボトムアップに抽出された平行線分対を道路の一部と見なし、順次接続していくことにより道路ネットワークを構築する。正確に道路情報を抽出するために、交差点を認識し、認識された交差点を接続処理の出発点としている^{7)~10)}。

3.3 道路ネットワーク精練部

地名などを表す文字列や地図記号などの地図要素と道路の相互の重なり、また画像取込み時の雑音混入および画素劣化により、道路の基本要素である平行線分対は必ずしも道路ネットワーク構築部では正しく抽出されない。ボトムアップ処理で構成される道路ネットワーク構築部は画素間の関係に強く依存するためである。道路ネットワーク精練部では、道路ネットワーク上に存在する推定可能な事実、矛盾に基づいて仮説を生成し、検証する機構^{9),10)}に加えて、協調的推定法により道路ネットワークを精練する。以下、4章では協調領域に基づいた道路の切断部間の精練手法、5章では道路の切断部と他の地図要素間の精練手法について

述べる。

4. 道路切断部間の協調的な精錬

道路ネットワーク構築部で生成された初期道路ネットワーク、および単一的な道路ネットワーク仮説生成・検証[☆]の繰返しによって修正された道路ネットワークでは、抽出できなかった平行線対周辺の道路情報は接続関係が断たれた状態である。これらの接続関係が断たれた部分（切断部）から、それぞれその先に続く道路を推定し、協調領域内でそれらの推定道路の相互関係を調べ、同一道路であると判断された場合に、断たれた接続関係を復興する^{12),13)}。

4.1 協調領域の抽出

接続不能な切断部間でそれらの接続形態を推定することは無意味であり、接続可能な切断部間で推定処理を実行することが必要である。任意の2つの切断部を一本のエッジで接続することを仮定した際に、そのエッジが道路ネットワークのいずれの既存エッジとも交わらないとき、それら切断部は接続可能である。協調領域とは、相互に接続可能な切断部を領域内に含む矩形領域である。推定結果と抽出済みの道路ネットワークとの整合性を保証するため、協調領域の内部に切断部以外のいずれのノードも含まれないように、協調領域を抽出する。以下に協調領域の抽出手順を示す。

【抽出手順】

- (1) すべての切断部を対象として、接続可能な切断部のペアを抽出する。
- (2) (1)の抽出結果を用いて、相互に接続可能な切断部の集合を抽出する。たとえば、3つの切断部 i, j および k からなる集合を抽出するためには、切断部ペア $(k, i), (i, j)$ および (j, k) が抽出されていなければならない。
- (3) 集合内の切断部をすべて包含する最小矩形領域を設定する。

4.2 切断部の判断

切断部とは、その先に道路片を推定可能な特徴点である。以下に道路ネットワークの切断部として扱う3つの特徴点をまとめる。

- (1) TypeA：道路ネットワーク中の端点ノード
このノードはその位置より先に接続可能な平行線対を探索できなかったノードであり、道路ネットワークの切断部である（図5(a)参照）。

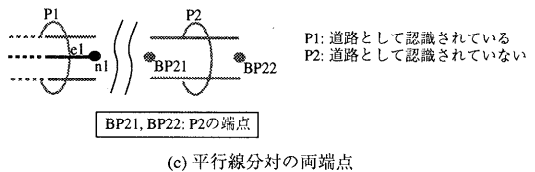
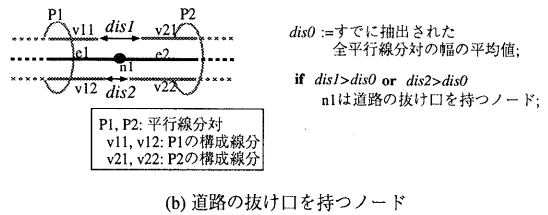
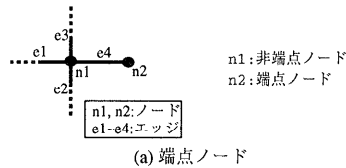


図5 切断部の例

Fig. 5 Examples of break-points.

- (2) TypeB：道路の継目を示すノードで、道路の抜け口を持つノード
接続された2組の平行線対の構成要素である各線分間の距離がある閾値以上であるとき、その線分間の領域が道路の抜け口である。もし、道路の抜け口が存在する場合、平行線対間の接続点を示すノード、すなわち道路の継目を示すノードはその抜け口の方向へ道路を推定可能である（図5(b)参照）。
- (3) TypeC：道路として認識されていない平行線対の両端点
ある平行線対の両延長方向に文字列などが存在する場合、この平行線対はボトムアップの道路ネットワーク構築処理において接続されず、道路として認識されていない。道路ネットワークの欠落を埋めるためには、双方向からの道路の推定が必要となるので、道路と認識されていない平行線対の両端点も特別に道路ネットワークの切断部として扱う（図5(c)参照）。

4.3 仮説の生成

道路片を推定した事実が仮説である。本処理では、始点、長さ、方向を持ったベクトルで表現する。このベクトルを仮エッジ（Virtual Edge）と呼ぶ。各切断部から生成される仮エッジの数は、切断部の種類およ

[☆] 文献10)で実現されている処理とは若干異なる。本システムでは、仮説の検証を平行線対レベルに限定して行っている。文献10)においては、さらに下位レベルのベクトルレベルによる検証処理を実現している。

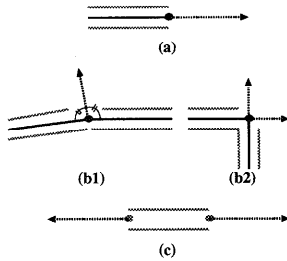


図6 仮エッジの例

Fig. 6 Examples of virtual edges.

び切断部に隣接しているエッジの形状によって決定される。また、仮エッジの生成方向は切断部に隣接するエッジのベクトル情報を用いて、仮エッジの長さは仮エッジの始点位置に存在する切断部の属している協調領域のサイズから自動的に算出する。仮エッジの生成例を図6に示す。

4.4 仮説の解釈

仮エッジは推定された道路片を表している。初めに、各切断部から生成された仮エッジの集合に対して、ひと続きの同一道路を表現していると考えられる仮エッジ対を抽出する。2本の仮エッジ VE_i , VE_j が次の2つの関係のいずれかを満たしているとき、同一道路を表現していると思われ、これらを生成した各々の切断部を対ノードとする。

関係1：向合い 2本の仮エッジがお互いに相手の切断部へ延びている場合、これら2本の仮エッジの関係は向合いである(図7(a)参照)。以下の条件により判断する。

【条件：向合い】

- 2本の仮エッジのなす角： $\alpha < \alpha_0$

ここで、 α_0 は経験的に求めた閾値であり、本システムでは $\alpha_0 = \pi/4$ としている。

関係2：交わり 2本の仮エッジを線分としてとらえたときに、その間で交点が存在し、かつその交点が双方の切断部の属する協調領域内に存在する場合、これらの2本の仮エッジの関係は交わりである(図7(b)参照)。

しかし、2本以上の複数の道路が互いに交差する協調領域においては、必ずしも各切断部が1対1に対応しているわけではない。この場合、関係付けられた各切断部対を協調領域ごと一括して扱い、領域内の道路形状を理解し、道路ネットワークの構造に対して仮説を生成することが妥当な対応である。初めに「向合い」の関係を持つ2つの切断部間に道路の仮説が生成され、その後それらに付随する「交わり」の関係を持つ切断部との間で、先に仮説が生成された道路と交

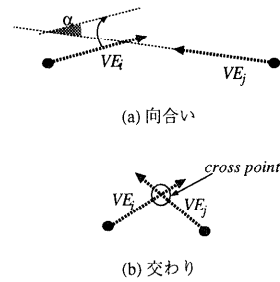


図7 仮エッジ間関係

Fig. 7 Relationship between two individual virtual edges.

るようにその仮説を修正する。そして最後に、既存道路ネットワークに対して協調的に仮説を解釈し、ノードとエッジを追加する。その後、以上の処理によって新たに接続された道路の切断部が、TypeC(道路として認識されていない平行線分対の端点)であった場合、その反対側の端点方向に向かって、再び平行線分対の接続処理を開始する。

仮説の解釈結果に基づいた道路ネットワークの推定処理の様子を図8に示す。協調領域(図8(a)内の各切断部間に存在する関係 R を表としてまとめたものを図8(b)に示す。この表は、図8(a)と対応しており、たとえば $R1$ はノード対 (a,b) 間に「交わり」の関係があることを示している。

この関係表(図8(b))を用いて、道路ネットワークに対して推定する(図8(c)参照)。切断部が接続されたか否かを判定するために *checklist* を用意する。この *checklist* は、推定処理が実行される以前には空であるが、処理中に生成されるエッジによって接続された切断部の *id* が随時挿入される。道路情報を推定する際には、道路の全体の形状を維持するために、ノード対のノードどうしを単に接続するのではなく、推定途中の結果を利用することが必要である。推定手順を以下に示す。

【推定手順】

- step1*: 関係表で定義されている「向合い」の関係を持ったノード対の各ノード間にエッジを生成し、それらのノードを接続する。同時に、*checklist* に接続されたノードの *id* を挿入する。
- step2*: 新たに生成されたエッジ間の交差状況を調べ、もし交差している場合には新たにノードを生成し、ノード・エッジ間を整合させる。
- step3*: 関係表で定義されている「交わり」の関係を持ったノード対のいずれかのノードが *checklist* 内に保存されていない場合に、そのノードから仮エッジを無限遠まで延ばす。そして、推定済

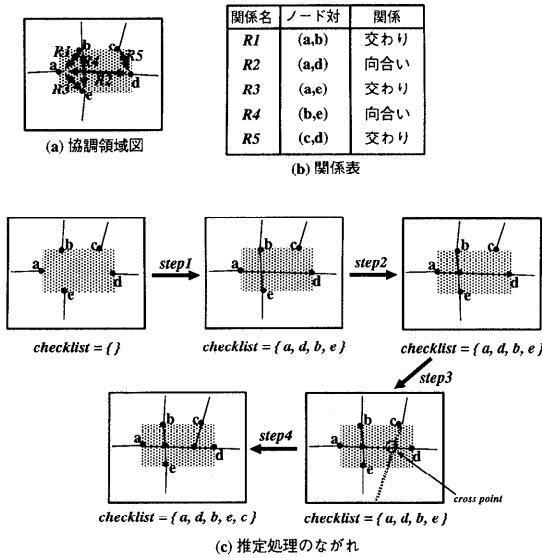


図8 仮説の解釈結果に基づいた道路ネットワークの推定処理
 Fig. 8 Inference process of road network, based on interpretation of hypotheses.

みのエッジとの交点を求める。複数の交点が存在した場合、切断部に最も近い交点を選択する。
 step4: step3 で求めた交点の位置に新たにノードを生成し、このノードと切断部の間にエッジを挿入し、ノードどうしを接続する。

4.5 道路ネットワークの検証

空領域を用いて推定された道路ネットワークを検証する。空領域とは、その領域内に道路、文字、地図記号などの地図要素をいっさい含まない閉領域であり、事前に色情報を用いて抽出する。推定した道路ネットワークと空領域の包含関係を調べることにより、推定した道路ネットワークを検証する。つまり、空領域を通過するエッジは誤りであり、推定した道路ネットワーク内に誤ったエッジが存在するとき、その推定が間違っていたと判断し、削除する。

5. 道路切断部と他の地図要素間の協調的な精練

道路以外の情報を利用することにより、道路ネットワークを補完的に精練する¹¹⁾。この精練処理は、地図要素間に定義される位置的關係、意味的關係に基づいて実行される。

5.1 位置的關係と意味的關係

位置的關係とは、相互に重なりあって地図上に表記されている関係であり、意味的關係とはある地図要素が別の地図要素に依存している関係である。我々の認識対象は道路情報であるので、たとえば次のようなも

のが該当する。

- 位置的關係—道路と文字
- 意味的關係—道路とバス路線

市街地地図上では、文字の方が道路よりも優先されて表記されている。つまり、道路と文字が重なっている箇所では、文字が道路の上にかかれているため、道路情報は文字によって遮られている。したがって、文字（または文字が存在する領域、すなわち文字域）を識別することにより、その文字の下の道路片を推定可能である¹¹⁾。また、バス路線が地図上に表記されている場合、必ず道路はそのバス路線に沿って描かれている。つまり、バス路線の抽出結果を用いて道路情報を補充可能である。

5.2 他の地図要素を用いた精練処理

文字域、バス路線を用いて道路を協調的に推定・補充する精練処理の様子を以下に示す。

- (1) バス路線要素を用いたバス・ネットワークの構築
- (2) 交差点、T字路の認識
- (3) 道路ネットワークの端点からの文字域の探索、および文字域に基づいた道路の接続
- (4) 未接続の平行線分対からの文字域の探索、および道路の接続再開

上記の(1)の処理で得られたバス・ネットワークを道路ネットワークに加えた後、上記の(2)から(4)の処理を道路ネットワークが変化しなくなるまで繰り返す、最終的な道路ネットワークを得る。

バス路線を用いた精練は、色情報により識別されたバス路線要素に対し細線化、ベクトル化を施し、その後ベクトルを順次接続することによりバス・ネットワークを作成し、そのバス・ネットワークを既存道路ネットワークに追加して実現する。

一方、文字域を用いた精練は、切断部からの文字の探索処理より始まる。その後、探索された文字と切断部との間にリンクを張る。そして、リンクの張られた文字ごとにその数を調べる。もし数が1つの場合は、その道路が文字によって遮られる可能性がある判断し、切断部に隣接しているエッジを文字域の境界線まで延長する。また、もし本数が複数の場合は、文字周囲の道路がこの文字の下で交わると判断し、文字域の中心に新たにノードを作成し、そのノードに各切断部を接続する。

リンク生成処理を図9に示す。切断部から長さ l_0 の探索エッジを道路の延長方向へ生成する。ここで、 l_0 は閾値である*。そして、探索エッジの下に存在す

* 本処理では $l_0 = 9$ としている。

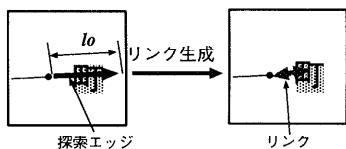
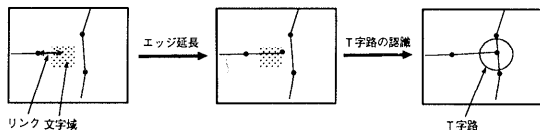
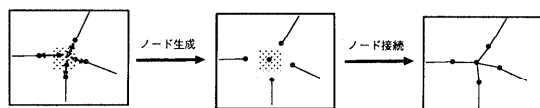


図9 リンクの生成
Fig. 9 Generation of links.



(a) リンク元の切断部数が1つの場合



(b) リンク元の切断部数が複数の場合

図10 文字域を用いた道路ネットワーク推定処理

Fig. 10 Inference process of road network, based on character regions.

る文字域と切断部の間にリンクを生成する。もし、探索エッジの下に複数の文字域が存在した場合、切断部と最も距離が近い文字域に対しリンクを張る。図10に文字域を用いた道路ネットワークの推定処理の様子を示す。この推定処理の実行はリンク元の切断部の数に依存している。リンク元の切断部数が1つの場合(図10(a)参照)、切断部から道路の延長方向に延ばした無限遠の探索エッジと切断部から見て遠い方の文字域の領域線との交点を求め、その位置に新たなノードを作成する。同時にエッジを追加し、作成したノードとリンク元の切断部を接続する。文字域との協調による精練処理が終了し、単一的な仮説生成/検証内に存在するT字路の認識処理が実行された際に、近接しているエッジとの間にT字路が構成される^{9),10)}。一方、リンク元の切断部数が複数の場合(図10(b)参照)、各リンクの集約領域である文字域の中心を算出し、その位置に新たにノードを生成する。その後、リンク元の各切断部を作成されたノードに接続する。

推定処理により新たに接続された切断部がTypeC(道路として認識されていない平行線分対の両端点)であった場合に実行される処理を図11に示す。文字域との協調により接続された平行線分対データを道路ネットワーク構築部内の平行線分対接続処理へ引数として渡し、その平行線分対処理を一時的に実行することにより、道路ネットワークを生成する。探索可能な平行線分対が存在しなくなったら、平行線分対接続処

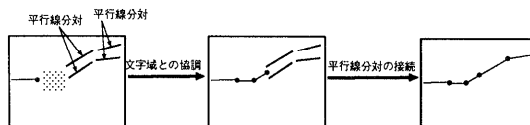


図11 平行線分対の接続処理

Fig. 11 Connection between pairs of parallel line segments.

理を終了し、推定処理を再開する。図11には、文字域と切断部間での協調により新たに接続された切断部の種類がTypeCであった場合に実行される道路ネットワーク生成処理を示したが、4章で述べた道路切断部間の協調により接続される切断部の種類がTypeCであったときも、同様な処理に基づき平行線分対が接続される。

6. 実験および評価

本手法の適用結果を示す。図12が入力画像であり、二万分の一の市街地地図をイメージ・スキャナにより72dpi、256階調で標本化した後、二値化した600×600(画素×画素)の画像である。この入力画像から地図要素識別部において道路片を抽出した結果が図13であり、道路ネットワーク構築部においてボトムアップに道路ネットワークを構築した結果が図14である。また、図14に対して単一的な仮説生成/検証による精練処理のみを繰り返した結果が図15である。この道路ネットワークに対して、バス路線による精練を実行し、その後、T字路および十字路の認識処理を施した結果が図16である。新たに抽出された道路ネットワークの部分を印Aを用いて示す。道路片(図13)として抽出されていなかった箇所に道路ネットワークが正しく補完されていることを確認できる。

道路ネットワーク精練部での精練処理の流れに従い、切断部と文字域間の協調により道路ネットワークを精練した結果を図17に示す。精練された箇所を印Bで明示する。図17の右下位置において新たに発生しているノードおよびエッジは、文字域との協調により接続された道路の切断部の種類がTypeCであり、5章にて述べたように道路ネットワーク構築部内の平行線分対接続処理を一時的に実行した結果得られたものである。切断部と文字域間の協調による精練処理の途中結果を図18に示す。大きな矩形領域が探索された文字域を、また、小さな矩形領域が探索元の切断部を示しており、その間に引かれている線が、リンクを示している。この実験例では、探索された文字域の数は12であったが、そのうち、リンクの解釈の結果道路情報が接続された箇所は、図17に示されるように2カ所で

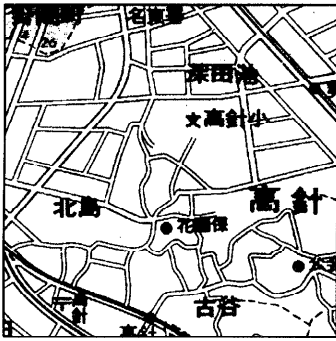


図 12 原画像
Fig. 12 Original image.

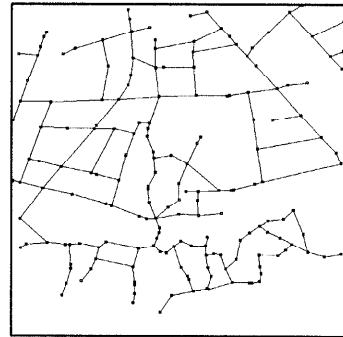


図 15 単一的な仮説生成/解釈により抽出された道路ネットワーク
Fig. 15 Road-network extracted in single hypotheses-generation/verification phase.



図 13 地図要素識別部にて抽出された平行線分対
Fig. 13 Parallel line segments extracted in identification of map elements.

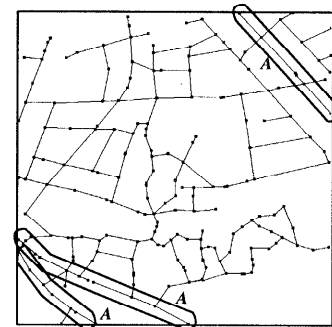


図 16 バス路線要素を用いて精錬された道路ネットワーク
Fig. 16 Road-network refined using bus-route information.

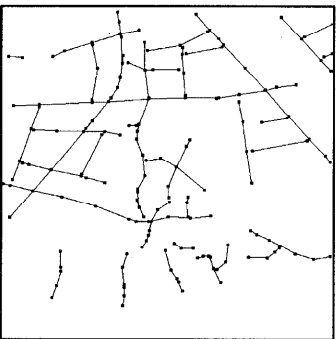


図 14 ボトムアップに構築された道路ネットワーク
Fig. 14 Road-network extracted in bottom-up processing phase.

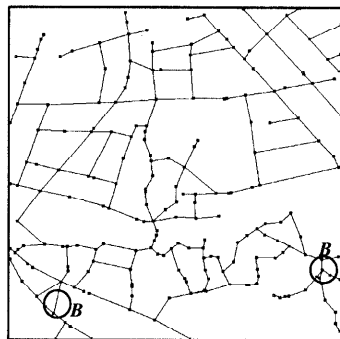


図 17 切断部と文字域の協調により精錬された道路ネットワーク
Fig. 17 Road-network refined in cooperation between break-points and character regions.

あった。それ以外の箇所は、T字路の認識処理において切断部の接続先のエッジが存在しないと判断された。

最後に、道路切断部間の協調に基づいた道路ネットワークの精錬処理を実行した結果を図 19 に示す。印 C を用いて、新たに抽出された道路ネットワークの部分を明示する。いずれの箇所においても正しく接続されているのを確認できるが、切断部の位置ずれにより、若干道路の形状が歪んだ箇所が存在している (図 19 右

上)。また、協調領域の抽出結果を図 20 に示す。図 19 と図 20 を比較すると、すべての協調領域内で、道路形状が抽出されているわけではない。これは後処理として検証処理を実行しているためである。

表 1 に複数の入力画像に対して実験した結果をまとめる。数値は道路片の数を示している。右からそれぞれ、原画像に対して目視により確認した道路片の数 (表 1 で“原画像”の欄)、道路ネットワーク構築部で

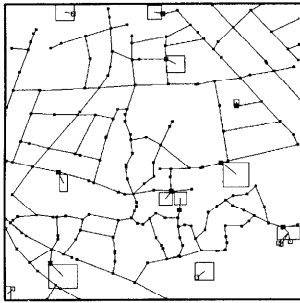


図 18 探索された文字域

Fig. 18 Character regions searched from break-points.

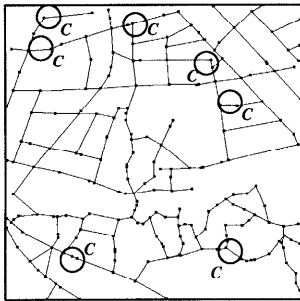


図 19 切断部間の協調により精錬された道路ネットワーク
Fig. 19 Road-network refined in cooperation among break-points.

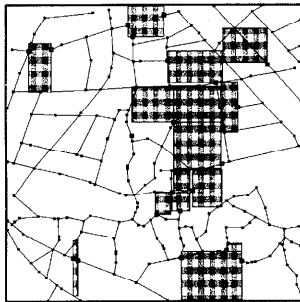


図 20 抽出された協調領域

Fig. 20 Extracted cooperative regions.

正しく認識された道路片の数(表1で“ボトム”の欄), 単一的な仮説生成/検証を繰り返した結果正しく認識された道路片の数(表1で“単一的”の欄), 協調的推定法に基づいた精錬処理により正しく認識された道路片の数(表1で“本手法”の欄)をそれぞれ示している。一方, 括弧内の数値は道路片の認識率を示している。認識率は, 分母を原画像内の道路片の数, 分子を各処理で認識された道路片の数として計算している。

表1に示すように, 本手法を適用することにより道路片の認識率が80.0%から93.7%に向上した。単一的な仮説生成/検証により道路情報を精錬する手法では抽出できなかった道路片の特徴および周囲の状況を以

表 1 適用結果
Table 1 Experimental results.

	原画像	ボトム	単一的	本手法
地図 1	132	75(56.8)	91(68.9)	122(92.4)
地図 2	157	102(65.0)	125(80.0)	152(96.8)
地図 3	155	139(89.7)	139(89.7)	149(96.1)
地図 4	164	103(62.8)	113(68.9)	155(94.5)
地図 5	124	101(81.4)	103(83.1)	112(90.3)
地図 6	193	156(80.8)	164(85.0)	177(91.7)
合計	925	676(73.1)	735(80.0)	867(93.7)

下に列挙する

- (1) ひとつ続きの道路に文字が表記されており, かつ文字の下の道路の形状が直線ではなく, 曲線や曲がり角を形成している。
- (2) 複数の道路が交差している上に文字が表記されている。
- (3) 交差点間を接続している道路上のほとんどを文字が覆っている。
- (4) ひとつ続きの道路に複数の文字列が表記されている。
- (5) 道路幅が設定した閾値よりも大きい。
- (6) 道路幅が設定した閾値よりも小さい。
- (7) 画像を取り込む際にノイズが発生している。

これらの状況により道路片は消去・分断される。単一的に道路片に対する仮説を立てて検証する方法では, 道路形状に関する知識を道路片の切断した箇所に随時適用してその先に続く道路を推定するために, その先に続くはずの道路片が完全に消えてしまった場合は推定不能となる。それに対して, 本手法では, 上記の(1)~(3)および(7)に対しては良好な結果を得た。また, (5)に関してはその道路がバスの通行する幹線道路であった場合のみ抽出可能であった。本手法を適用しても抽出できなかった(4)および(6)に対しては今後考えなければいけない課題である。(4)に対しては, リンク先の対象を文字から文字列へと拡張することなどが必要である。また, (5)も含めて(6)に対しては, 道路幅に設定する閾値を複数用意し, それぞれ個別に抽出した後にすべてを統合することなどが必要である。

7. おわりに

本稿では, 道路情報の自動抽出という課題に対して協調的, かつ大局的に道路の切断部を補完する手法について述べた。各道路の切断部ではその先に続く道路片を推定して互いの推定結果を有効に利用し, また他の地図要素を検出することにより, それらを接続の判断基準として処理するといったパラダイムである。実

験結果より、我々の提案した手法は道路情報の自動抽出に対して有効であることを明示できた。

問題点として、生成された仮説に対する検証が十分に実現できていないことがあげられる。本手法における仮説は道路ネットワーク内でのみ生成されるため、制約条件に縛られない反面、情報の誤りが増加する傾向がある。また、他の地図要素との協調的処理においても、現在文字との位置の関係、バス路線との意味的关系のみを利用しているのにすぎず、今後地図上に存在する様々な地図要素の認識やそれらと道路の間関係を定義する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、日々ご尽力を賜った中京大学の福村晃夫教授、本学の稲垣康善教授および鳥嶋純一郎教授に深く感謝するとともに、佐川雄二講師、朝倉宏一助手をはじめ、日頃より熱心に討論していただいた研究室のみなさまに感謝します。また、本稿を良くするために有益なご指摘をいただいた査読者の方に感謝します。

参考文献

- 1) Maderlechner, G. and Mayer, H.: Conversion of High Level Information from Scanned Maps into Geographic Information Systems, *Proc. IC-DAR'95 Vol.1*, pp.253-256 (1995).
- 2) Nakajima, C. and Yazawa, T.: Automatic Recognition of Facility Drawings and Street Maps Utilizing the Facility Management Database, *Proc. ICDAR'95 Vol.1*, pp.516-519 (1995).
- 3) Watanabe, T. and Fukumura, T.: Towards an Architectural Framework of Map Recognition, *Proc. ACCV'95 Vol.3*, pp.617-622 (1995).
- 4) 宮武孝文, 松島 整, 江尻正員: 平行線分抽出手法を用いた地図からの道路情報自動抽出, 信学論 (D), Vol.J68-D, No.2, pp.153-160 (1985).
- 5) 中島正之, 安居院猛, 飯塚久登: 市街地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 (D), Vol.J67-D, No.12, pp.1419-1426 (1984).
- 6) 長尾智晴, 安居院猛, 中島正之: 地図画像からの道路網ベクトル抽出手法, 信学技報, PRU87-35, pp.56-68 (1987).
- 7) Hayakawa, T., Watanabe, T., Yoshida, T. and Kawaguchi, K.: Recognition of Roads in an Urban Map by Using the Topological Road-network, *Proc. MVA'90*, pp.215-218 (1990).
- 8) 早川卓哉, 渡邊豊英, 吉田雄二, 川口邦雄: 市街地地図からの道路ネットワーク情報の抽出, 信学論 (D-II), Vol.J74-D-II, No.6, pp.757-765 (1991).
- 9) Watanabe, T., Hayakawa, T. and Sugie, N.: A Cooperative Integration Approach of Bottom-up and Top-down Methods for Road Extraction of Urban Maps, *Proc. ICARCV'92*, pp.61-65 (1992).
- 10) 早川卓哉, 渡邊豊英, 杉江 昇: 仮説の生成・検証パラダイムに基づいた市街地地図からの道路情報抽出, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.1, pp.62-78 (1994).
- 11) Nishijima, M. and Watanabe, T.: An Automatic Extraction Approach of Road Information on the Basis of Recognition of Character Regions, *Proc. ICSC'95*, pp.173-180 (1995).
- 12) 西嶋征和, 渡邊豊英: 協調的な仮説解釈に基づいた道路情報の自動抽出, *Proc. MIRU'96*, Vol.2, pp.301-306 (1996).
- 13) Nishijima, M. and Watanabe, T.: An Automatic Extraction of Road Information on the Basis of Cooperative Hypotheses Interpretation Mechanism, *Proc. MVA'96*, pp.147-150 (1996).

(平成8年11月5日受付)

(平成9年7月1日採録)



西嶋 征和

1972年生。1995年名古屋大学工学部情報工学科卒業。1997年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程前期課程修了。同年富士写真フイルム(株)入社。在学中、地図認識の研究に従事。現在、同社にてデジカメ、プリンタ周辺のアプリケーションの開発に従事。



渡邊 豊英

1948年生。1972年京都大学理学部物理学科卒業。1974年同大学大学院工学研究科数理工学専攻修士課程修了。1975年同大学大学院工学研究科数理工学専攻博士課程中途退学。同年同大学大型計算機センター助手。1987年名古屋大学工学部情報工学科助教授。現在同大学大学院工学研究科情報工学専攻教授。工学博士(京都大学)。マルチメディア・データベース、知的教授システム、事例ベース、分散協調、並列・分散処理、文書画像理解などに興味を有す。電子情報通信学会、人工知能学会、日本ソフトウェア科学会、ACM、IEEE Computer Society、AAAI各会員。