

白地図からの建物の認識と整形

三好孝治¹・李偉青²・金田和文³・山下英生⁴・中前栄八郎⁵

¹正会員 工修 広島工業大学助教授 環境デザイン学科(〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1)

²Ph. D 浙江大学助教授 CAD & CG 国家重点研究所 (中華人民共和国浙江省杭州市 310027)

³工博 広島大学助教授 大学院工学研究科情報工学専攻(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

⁴工博 広島大学教授 大学院工学研究科情報工学専攻(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

⁵正会員 工博 (株)三英技研取締役会長 (〒730-0014 広島市中区上鞆町 3-26)

本論文の目的は、既存のラスタ地図のデジタル化に際して、広領域に分布する建物を自動抽出し、その構成ベクトルチェーンを整形することである。この際の問題点は、多種多様な幾何形状の自然物、人工物、記号が輻輳して混在し、接触・重複・分断されていることである。本論文では、建物の幾何学的特徴である、ループ・直線・直角特性とその大きさに着目し、ベクトルチェーンのノード近傍の歪みの除去、およびループ間のブリッジの除去により、建物の幾何特徴に則ったループを検出し整形する方法を提案する。これにより、例えば、計画中の地物を含む 3DCG 画像を作成して、安全性・景観の評価作業の効率化と高信頼化が期待される。

Key Words: *automatic recognition, scanned topographic map, extraction of buildings, geometric features, progressive algorithm*

1. はじめに

デジタルマッピングは、空中写真、GPS 測量等によるもの、さらにデジタルフォトグラメトリ技術が開発されつつある。一方、既存の白地図からデジタル化、スキャナ等によって数値化する方法がある。前者は、国土地理院を始め各分野において進められている。後者については、道路建設計画時の路線選定・実施設計・詳細設計をはじめ、都市再開発・リゾート開発・港湾計画などに対して、その周辺の現況の 3 次元情報を取得する手段として活用されている。これら設計の諸段階において、建造物情報は、既存の等高線・道路・田畑・森林等の情報と共に 3D モデルの核をなすものである。本研究は、地図中の広い領域に分布している建物について、その自動抽出手法と構成ベクトルチェーンの整形法について提案する。例えば、計画中の地物(道路・橋梁等)と、その周辺の地形および建物を含む 3DCG 画像を作成し、設計結果の安全性・景観の評価作業の効率化が図れると共にその信頼性を高めることができる。また、長年に亘って蓄積されている白地図のデジタル化は、都市の歴史的発展過程の研究を容易にするものと推察する。

機械系および電子回路系の図面は、人工的な設計図を対象としているため、オブジェクトの種類は比較的少なく、その幾何形状、数値・記号の種類と配置は規則的で、比較的単純なものが多い。そのためラスタ図面のデジタル化は、早くから開発され、広く普及している^{1)~4)}。これに対して、

本論文の対象である白地図は、多種多様な自然物(等高線、河川、湖、池、露岩、散岩、崩土等)、人工物(建物、道路、鉄道、送電線、橋、塀、盛土、切土、被覆等)から構成されており、その幾何形状・配置は複雑多岐に亘り、それに付随する記号(市町村等の区界、植物・田畑等の各種記号、地名、数値等)の種類も極めて多く、その配置・方向も多様である。ラスタ地図のデジタル化におけるオブジェクトの自動抽出の主要な問題点は、これらの多種多様なオブジェクトが、任意の位置に、任意の方向で不規則に混在(例えば、文字は原則的には縦・横配置であるが、道路・河川名はその線形に沿って表示)し、時にはこれらのオブジェクトが輻輳して、接触・重複表示されたり、必要に応じてオブジェクトを分断して各種記号が記載されていることである。そのため、これらの詳細な半開明に、熟練者の判断を仰ぐ必要が発生することすらある。また、地図作成時の人為的ミスにより、本来連続すべき線分に途切れが生じていたり、スキャナ読み込み時に生じる線の掠れによる切断や、滲み・塵による線分の接触が発生している場合がある。

2 値画像の白地図のデジタル化は、1980 年代後半から盛んに試みられるようになり、これまでに彩色付き地図も含めて、等高線^{5)~10)}、海図¹¹⁾、および道路^{12),13)}などを対象とした自動抽出と整形法の研究が進められてきた。しかし、後述するように、建造物については、対象とする地図の複雑性、および建物と類似する多くの図形が存在するため、その自動検出が難しく、手つかずの状態であった。1990

年代に入って、コンピュータのパーソナル化とインタラクティブな入力技法が急速に進歩した。それに伴い、道路の初期座標を入力することによる道路探索、計曲線標高値と等高線に横断線を入力することによる等高線の探索、個々の田畑記号をクリックすることによるこれらの閉ループの抽出法が開発されてきた^{14),15)}。建物についても、個々の閉ループ内の一点をクリックすることにより、その閉ループを自動検出し整形する半自動化技法が開発されている^{16),17)}。これらは、発展途上国の低賃金の活用と相まって、手作業によるデジタル化が広く行われているのが現状である。これに対して、筆者らは、上述の地図中に存在する多種多様なオブジェクトの個々の幾何学的特徴に着目し、自動認識が比較的容易な等高線について、計曲線と主曲線の幾何学的特徴および計曲線上の標高値情報を活用した等高線自動抽出法を開発してきた⁹⁾。

本論文では、等高線抽出後の地図上の広い領域に亘って離散的に分布する建物について、その幾何学的特徴を活用した自動抽出法とその整形法について提案する。

5章の適用例でも示すように、建物の自動認識上問題となる事象を挙げると、

- i) 等高線や道路と異なり、地図中の建物は連続性に乏しく、他のオブジェクトと混在・接触・重畳している場合が多く、地域に依存して、集中したり分散して存在している。
- ii) 接触・重畳による建物の変形によって、建物の特徴である規則性のある幾何形状が損なわれることが多く、また、誤ったループを構成する場合がある。
- iii) 建物の形状と大きさが、地域により多種多様である。
- iv) 建物の特徴である閉ループの類似物（文字、記号、石段、切土、盛土、道路、等高線、河川、田、土手、塀、鉄塔等の線分が作る閉ループ）が多く、それらとの分別が必要である。
- v) 建物のループが他のオブジェクト（送電線、等高線等）によって、分断されている場合がある。
- vi) 本来ループ形状であるべき建物が、文字・記号・地図枠線・入力ミス・掠れのため、切断される。

本論文では、これらの問題に対処するため、はじめに線分の分類をおこない、明らかに建物を構成する候補とならない線分を除去する。次に、建物の幾何形状の特徴であるループ形状、直線性、直角性およびその大きさに着目する。これらの特徴の検出を容易にするために、i) オブジェクト間の接触、細線化時に発生するベクトルチェーンの歪を除去し、ii) 無用なブリッジを除去してループを分離する。これにより、ループ形状の建物の認識率を向上させ、iii) 建物の幾何特徴に則ったループを検出した後、iv) 建物形状と類似しているために、誤認識されやすい盛土などのつくるラダー形状のループを除く、v) 建物と認知したループを整形する。したがって、本提案手法は、開ループ形

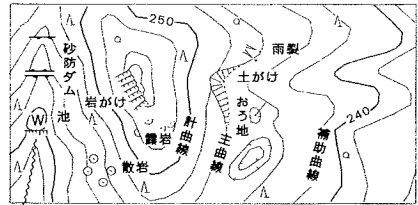
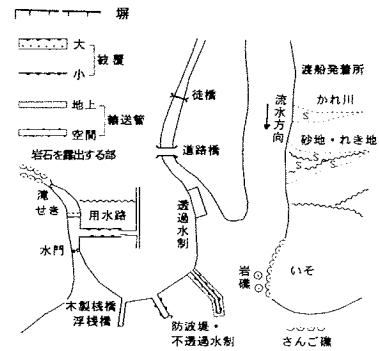


図-1 地図記号凡例 (一部)

状の建物の検出は不能である。この件については、6章において今後の課題点として議論する。

次章では、地図のもつ幾何学的特徴、建物の抽出に有効なループのデータ構造と認識率を高めるためのベクトルチェーンの整形法、3章では建物の構成チェーンの自動認識手法、4章では建物を構成するベクトルチェーンの整形法について論述する。5章では適用例をあげてその有用性を示し、6章では結論、および今後の課題と方針について述べる。

2. 幾何学的特徴と建物の構成チェーン

以下に、地図中に存在するオブジェクトの幾何形状の特徴を考察し、建物の主要な特徴であるループの性質について考察し、建物の抽出率を高めるためのベクトルチェーンの整形法について論述する。

(1) 地図内のオブジェクトの幾何学的特徴

スキャナで読み込んだ白地図の2値ラスタイメージの幾何学的要素は、点〔大点、小点〕と線分〔太線、細線、太細混在線〕から構成される。個々のオブジェクトは、それぞれ固有の要素集合からなり、特有の接続・配列関係をもつ。建物を構成する要素である線分に関する主な幾何学的特徴は、大略以下のように分類することができる。

- i) 線〔実線、破線、一点破線、点線等〕
- ii) 線幅 w 〔太線($w \geq 0.15[\text{mm}]$)、細線($w < 0.15[\text{mm}]$)、太細混在線〕

- iii) 線長 l {長距離線 ($l \geq k_1$), 中距離線 ($k_1 > l \geq k_2$), 短距離線 ($k_2 > l \geq k_3$), 極短距離線 ($k_3 > l$)}
- iv) 線形 1 {単純線, ひげ付き線}
- v) 線形 2 {独立線, 分岐線, ループ}
- vi) 線形 3 {幾何曲線, 自由曲線}

ここで, 線幅 w は白地図の製図の線幅, 線長 l のパラメータ k_1, k_2, k_3 のデフォルト値は抽出対象オブジェクトによって異なり, また同じオブジェクトでも処理対象の地域によって異なるものも存在する. 従って, システムは経験値としてのデフォルト値を用意し, ユーザーが変更できるようにオプションを用意しておく必要がある. ひげ付き線分とは, 堀, 被覆, 砂防ダム等(図-1)のように, 等間隔の突起または極短線を分岐と見なさず, 1つの特殊線分として認識し処理する.

例えば, 文献 9) で用いた等高線の計曲線および主曲線の幾何学的特徴を, これらの分類された線分を用いて表現すると, 以下の通りである.

計曲線 { (実線) \wedge (太線) \wedge (単純線 \vee ひげ付き線) \wedge (長距離線 \vee 中距離線) \wedge (自由曲線 \vee 直線) \wedge (他の等高線と交差しない線) \vee (標高値) } (1a)

主曲線 { (実線) \wedge (細線) \wedge (単純線 \vee ひげ付き線) \wedge (長距離線 \vee 中距離線) \wedge (自由曲線 \vee 直線) \wedge (他の等高線と交差しない線) } (1b)

参考までに, 文献 9) の等高線抽出に用いた線長は, $k_1=20[m]$, k_2 は使用していない (これに関しては 6 章の今後の課題で述べる). その他, 例えば堀は, 次式の特徴を持つ.

堀 { (実線) \wedge (細線) \wedge (中距離線 \vee 短距離線) \wedge (ひげ付き線) \wedge (ひげの長さはほぼ等しい) \wedge (ひげはほぼ等間隔に並ぶ) \wedge (ひげが出ている方向は, 基幹となる線からみて同じ側にある) } (1c)

本研究の主題である建物の幾何学的特徴については, 3 章で述べる.

(2) ベクトル化と前処理

a) ベクトルチェーンおよびループのデータ構造

ラストイメージの連結性の確度を向上させるため, スキャン時の濃さの調整, あるいは前処理として, 膨張処理をおこなった後, 細線化には, 周知の 3×3 マトリックスによるテンプレートマッチング法を用い, ピクセルチェーンのベクトル化にはコーン交差法¹⁰⁾で近似化したものを用いる (半径は 1 ピクセル). したがって, 周知のように細線

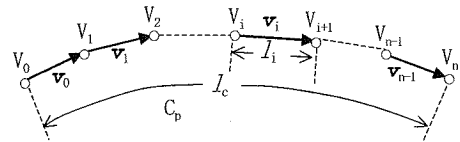


図-2 チェーンの構成: ○は頂点

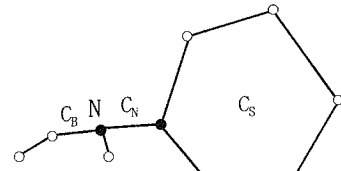


図-3 チェーンの種類: ●はノード, ○は頂点

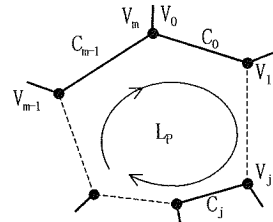


図-4 ループと構成チェーン

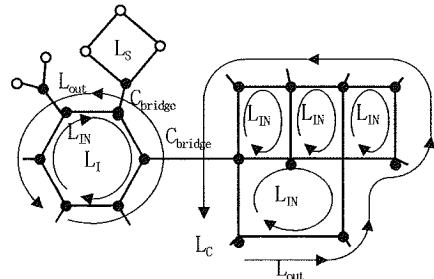


図-5 ループの種類

化後のベクトルチェーン (以下単にチェーンとも記述する) の交点における分岐数は 3 または 4 に限られる.

図-2 の示すように, 頂点 $V_i(x_i, y_i)$ と $V_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ を結ぶベクトルを \mathbf{v}_i とすると, 頂点列 $\{V_i | V_i (i=0, \dots, n)\}$ は, ベクトル列 $\{\mathbf{v}_i | \mathbf{v}_i (i=0, \dots, (n-1))\}$ からなるチェーン C を構成する. チェーン C は, その両端点 $\{V_0, V_n\}$ の接続関係によって, どのチェーンとも接続しない単純なチェーン C_p , 図-3 に示すように, 端点のいずれか一方が分岐点 (ノード) N となる枝チェーン C_B , 両端点がノードとなる接続チェーン C_N , および両端点が同一座標であるセルフループチェーン C_S に分類できる. 上述の手法によるノード N に接続するチェーン数は, 3 あるいは 4 である. なお, ベクトル \mathbf{v}_i の長さを l_i , チェーンの長さを l_c と表わす. 図-4 に示すように, ループ L_p が, 接続チェーン列 $\{C_j | C_j (j=0, \dots, m)\}$ から構成されるとき, L_p の両端点 $\{V_0, V_m\}$ は同一点である. 図-5 に示すように, ループは, そのチェーンの接続関係によって, 単一チェーンで構成される

セルフループ L_S , ノード同士が他のループを構成しない独立ループ L_I , およびノード同士が、他のループを構成する複合ループ L_C に分類できる。 L_C は、それ自身が他のループを含まない内ループ L_{IN} と、すべての内ループを包含する外ループ L_{OUT} に分類できる。ブリッジ (C_{bridge}) は外ループ同士を連結する接続チェーンである。次章で述べるように、これらのブリッジは、建物の候補となる内ループの抽出を容易にするために除去される。

b) 建物の認識率を高めるためのチェーンの整形

建物の特徴の 1 つである直線線分の認識率を高めるための前処理として、ノード近傍で生じるチェーンの歪みを補正する。すなわち、**図-6** に示すような 3 分岐の場合のチェーン C_j, C_{j+1}, C_{j+2} のノード N_j の位置を以下に示すように修正する。

3 分岐点 N_j に関して以下に示す式(2a)または(2b)が真であるとき、チェーン C_j の終端ベクトル \mathbf{v}_3 の延長線と、チェーン C_{j+1}, C_{j+2} のそれぞれの頂点 $V_{(j+1)}$ と頂点 $V_{(j+2)}$ を結ぶ直線との交点 N'_j を求め、 N_j を N'_j へ移動する。ただし、交点 N'_j が、線分 $V_{(j+1)}V_{(j+2)}$ 間にはない場合は、この交点から近い $V_{(j+1)}$ または $V_{(j+2)}$ の点を N'_j とする。

$$\begin{aligned} & (|N_j V_{(j+1)}| \leq k_4 d) \wedge (|N_j V_{(j+2)}| \leq k_4 d) \\ & \wedge (|V_{(j+1)} V_{(j+2)}| \geq k_4 d) \\ & \wedge (|V_{(j+2)} V_{(j+2)}| \geq k_4 d) \\ & \wedge (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \geq \cos \theta) \wedge (h < d) \end{aligned} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} & (k_5 d > |N_j V_{(j+1)}| \geq k_4 d) \wedge (k_5 d > |N_j V_{(j+2)}| \geq k_4 d) \\ & \wedge (|V_{(j+1)} V_{(j+1)}| \geq k_5 d) \wedge (|V_{(j+2)} V_{(j+2)}| \geq k_5 d) \\ & \wedge (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \geq \cos \theta) \wedge (h < d) \end{aligned} \quad (2b)$$

ここで、 θ は \mathbf{v}_1 と \mathbf{v}_2 のなす角、 d はデフォルト値として線幅 $0.2[\text{mm}]$ (以下、この値を用いる)、 $k_4=2$, $k_5=5$, $\theta=20^\circ$, h はノード N_j と線分 $V_{(j+1)}V_{(j+2)}$ との距離とする。

なお、4 分岐の場合は、分岐点での歪みが、建物の自動抽出を目的とする段階では問題がなく、整形をしない。

3. 建物の認識

本章では、本論文において処理対象とする建物の幾何学的特徴とその抽出手順について論述する。

(1) 建物の幾何学的特徴

本論文で抽出対象となる建物は、典型的な建物の特徴のみに注目して選定したものに限定する。すなわち、直線性および直角性を有しない建物、30 度未満の角、および曲線を有する形状の建物は除外している。その理由は、誤認識をできるだけ少なくすること、また、6 章で述べるよう

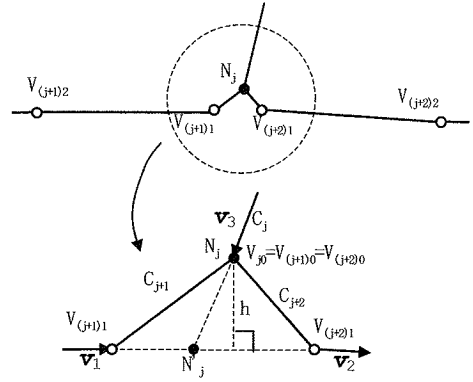


図-6 3分岐点での歪み補正

に、今後の研究課題であるが、建物ではないオブジェクト、例えば、道路、河川、塀、被覆、石段、盛土、切土などの認識後に、改めて残ったチェーンだけから再び建物およびその他のオブジェクトを繰り返し抽出するプログレッシブな手法が、有効であると考えられる。したがって、ここでは、2 章(1)で述べたチェーンの分類後、候補となりうる線分および形状の幾何学的特徴として以下の 1)~4)を用いる。

- 1) 構成線分: { (実線) \wedge (単純線) \wedge (太線 \vee 細線 \vee 太細混在線) \wedge (中距離線 \vee 短距離線) } (3a)
- 2) ループ $\{L_S, L_I, L_{IN}, L_{OUT}\}$ (3b)
- 3) ループ長: $\{k_6 > \{L_S, L_I, L_{IN}\} \geq k_7\}$ (3c)
- 4) 形状: $\{(直角頂点数 \geq k_8) \wedge (平行線対数 \geq k_9) \wedge (非曲線) \wedge (頂点角 \geq k_{10})\}$ (3d)

線分の太さの分類は、地図の堅牢建物の表記法による。 $L_S, L_I, L_{IN}, L_{OUT}$ は、それぞれ $L_S, L_I, L_{IN}, L_{OUT}$ の長さで、デフォルト値は、 $k_6=200[\text{m}]$, $k_7=10[\text{m}]$, $k_8=2$, $k_9=1$, $k_{10}=30^\circ$ である。

したがって、本論文で取り扱う建物は、原地図の欠落および枠による切断、および建物名その他の記号によって、ループを構成しない建物(例えば**図-7(a)**: A は欠落、B は枠による切断)、および円弧を含む特殊形状の建物は検出対象から除外している。なお、**図-7** は、5 章の適用例で示す市街地域である**図-13**の左端中央部(図中 A)を切り抜いたものである。

(2) 建物の抽出手順

建物の抽出手順は以下の通りである。なお、等高線は文献 9) によりすでに除去されているものとする。

a) ループを構成するチェーンの抽出

まず、すべてのチェーンの中から、ループを構成しないチェーンを除去する。すなわち、すべてのチェーンから、

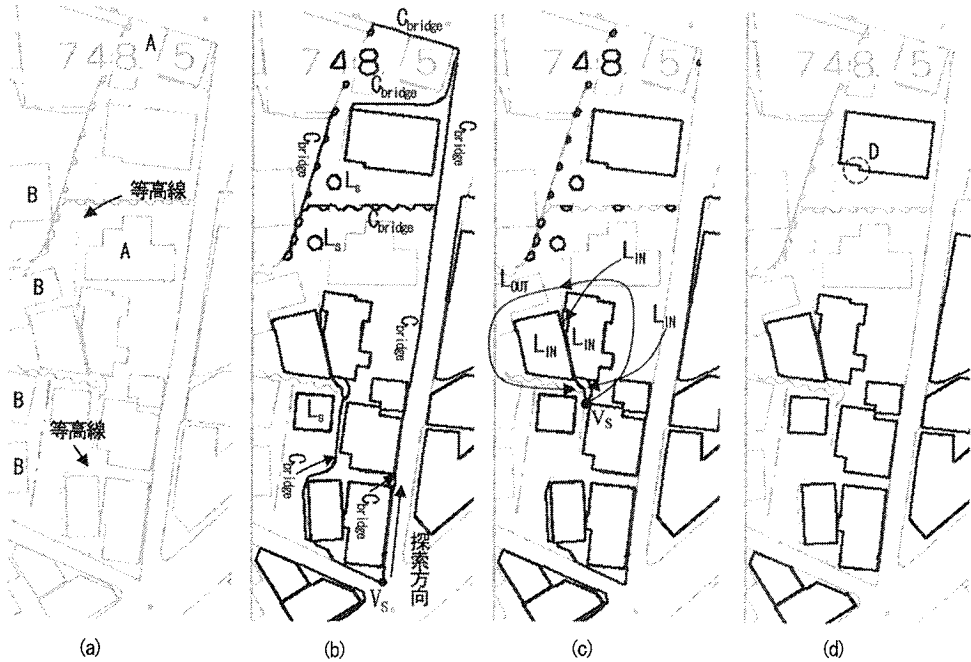


図-7 建物抽出概略手順, (a) ラスタ画像, (b) 全ループとブリッジ, (c) 内ループと外ループ, (d) 建物の抽出と整形

点, 点線, 破線, ひげ付き線分, 長距離線を除去した後のチェーンを $C_j (j=0, \dots, m)$ とする。この C_j に対して, 以下の手順により, ループの構成要素チェーンを抽出する。

- 1) もし, チェーンの両端点 V_{j0}, V_{jm} が同一座標値なら, 自己ループ L_s を形成する (図-7 (b), L_s)。自己ループ数を n_s とすると, 残りのチェーン数 m_1 は $m - n_s + 1$ である。残りのチェーンを $C_g (g=0, \dots, (m_1 - 1))$ として登録する。
- 2) C_g から {(曲線) \vee (曲線と直線の混在)} であるチェーンを除去する。曲線のチェーン数を m_2 , 曲線と直線の混在チェーン数を m_3 とすると, 残りのチェーン数 m_4 は, $m_1 - m_2 - m_3$ である。残りのチェーンを $C_g (g=0, \dots, (m_4 - 1))$ として登録する。
- 3) チェーン $C_g (g=0, \dots, (m_4 - 1))$ のすべてに対して,

- i) もし C_g が枝チェーン C_b なら, C_b を除去。

$$m_4 = m_4 - 1$$
- ii) もし $m_4 \geq 1$ なら, すべてのチェーンの連結関係を再構成して, i)へ。
- iii) 残りのチェーン C_g を登録する。

登録されたものは, すべて接続チェーン C_N である。除去した C_b のチェーン数を m_5 とすると, C_N のチェーン数 m_6 は, $m_4 - m_5$ である。

b) ループ探索開始点の検出

ループ探索は, a) で求めた接続チェーン $C_g (g=0, \dots, (m_6 - 1))$ についてのみおこなえばよい。 C_g を構成する頂点

列を, $\{V_{gi} | (g=0, \dots, (m_6 - 1)), (i=0, \dots, n_g)\}$ とする。ループ探索の開始点を以下の手順で検出する。

- 1) すべての頂点 $\{V_{gi} | g=0, \dots, (m_6 - 1), (i=0, \dots, n_g)\}$ に対して

$$\min_y = \min \{V_{gi} \text{ の } y \text{ 座標}\}$$
- 2) V_{gi} の y 座標が \min_y であるすべての頂点に対して,

$$\min_x = \min \{V_{gi} \text{ の } x \text{ 座標}\}$$
- 3) $V_s = (\min_x, \min_y)$
- 4) 探索の開始点 = V_s

c) 外ループ探索

b) で求めた V_s (例えば図-7 (b), V_s) に繋がるすべてのチェーンを包含する擬似的な外ループの探索を以下の手順でおこなうことにより, ループ間を接続するチェーン, すなわち C_{bridge} を除去する。

- 1) 探索開始点 V_s から探索方向を検出する。
 - i) V_s がノードでない場合: $V_s(x_s, y_s)$ に隣接する2つの頂点をそれぞれ, $V_{s1}(x_{s1}, y_{s1})$ および $V_{s2}(x_{s2}, y_{s2})$ とすると, ベクトル $\mathbf{a} = ((x_{s1} - x_s), (y_{s1} - y_s))$, $\mathbf{b} = ((x_{s2} - x_s), (y_{s2} - y_s))$, $\mathbf{a} \cdot \mathbf{e}$ と $\mathbf{b} \cdot \mathbf{e}$ のうち大きい値のベクトルを探索経路方向とする。ここで, $\mathbf{e}(1, 0)$ は単位ベクトル。
 - ii) V_s がノードの場合: 図-8 に示すように, i) と同様の手法により, V_s を共有する各チェーンのベクトル \mathbf{v}_k (3個)のうち, $\mathbf{v}_k \cdot \mathbf{e}$ の値が最大になるベクトル \mathbf{v}_k

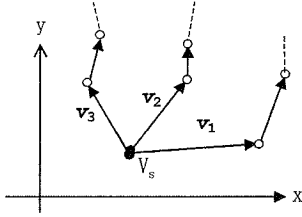


図-8 V_s からの探索方向

を経路探索方向(この例では v_1)とし、以下の探索をおこなう。

- 2) 経路探索方向に進み、分岐点では、進行方向から見て最も右側にあるチェーンを選択する。探索経路のチェーン番号を登録しながら、探索開始点 V_s まで探索をおこなう。
- 3) 登録回数が 2 のチェーン(図-7(b) : C_{bridge}) を除去する。
- 4) 分離したそれぞれの外ループ $L_{\text{OUT}} \{C_0, C_1, \dots, C_{(m-1)}\}$ を登録する。

次に、以下の手順により各 L_{OUT} に包含されるループ L_{IN} の探索をおこなう。ここで m_i は外ループ L_{OUT} を構成するチェーン数。

d) 内ループ探索

以下の手順で内ループの抽出をおこなう。まず、初期設定をおこなう。すなわち、

- 1) $m_i = m_p$, $m_f = 0$ 。
- 2) c)1) と同一手順により、探索開始点を抽出する(図-7(c) : V_s)。ただし、探索方向は $a \cdot e$ と $b \cdot e$ のうち小さい値のベクトルを探索経路方向とする。
- 3) 分岐点での経路選択は、進行方向から見て最も右側にあるチェーンを選択し、探索経路のチェーン番号を登録しながら、点 V_s までおこない、そのループ L_{IN} を登録する。

L_{IN} の構成チェーンのうち、外ループチェーン数を n_{OUT} 、新たに登録したチェーン数を n_{IN} とすると、

$$m_i = m_p - n_{\text{OUT}} + n_{\text{IN}}$$

$$m_i = m_p + n_{\text{IN}}$$

$$m_f = m_f + 1$$

- 4) もし $m_i \neq 0$ なら、2) へ

- 5) $m_f = m_f - m_i$ 。

もし $m_f \neq 0$ なら、b) へ。 $m_f = 0$ なら終了。

以上の操作により、地図中に存在する L_s および L_{IN} のすべて (m_f 個) が、建物候補ループとして登録される。

e) 建物の抽出

すべての L_{IN} および L_s について、3章(1)3) および 4) の特徴を満たさないもの、および大きさが同程度の矩形状ループが、4 個以上並んで存在する場合(石段、盛土、切土

等)、本論文における建物候補から以下の手順により除去する。

- 1) m_f 個の各ループについて $k_6 \cdot \{I_{\text{IN}}, I_s\} \geq k_7$ (式(3c) 参照) を満たさないループ (m_6 個) を除去する。
残りのループ数 m_6 は $m_f - m_6$ である。
- 2) m_6 個の各ループを構成するすべてのベクトルチェーンにおける、2 つのペアベクトルが平行かつ 2 ベクトル間の距離が既定値 ($k_{12} \cdot d$) 以上でないものを除去する。すなわち、ベクトル v_i と v_{i+q} の関係式(4)が偽のときとする。

$$\left(\frac{(|v_i \cdot v_{i+q}| / (|v_i| \cdot |v_{i+q}|)) > \cos(k_{11})}{\wedge (h \geq k_{12} \cdot d)} \right) \quad (4)$$

ただし、 h は 2 ベクトル v_i と v_{i+q} 間の距離とする。デフォルト値として、 $k_{11} = 10^\circ$ 、 $k_{12} = 3$ 。

(平行線対数) $\geq k_9$ (式(3d) 参照) を満たさないループ (m_7 個) を除去する。残りのループ数 m_7 は $m_6 - m_7$ である。

- 3) m_7 個の各ループ内のベクトルチェーンにおいて、2 つのベクトルが直角であるか否かの判定を以下の手順によりおこなう。すなわち、図-9 に示すように、連続するベクトル $v_i, v_{i+1}, v_{i+2}, v_{i+3}$ において、以下の 3 条件のいずれかを満足する 2 つのベクトルを直角性の判定対象とする。

- i) $(|v_i| \geq k_{13} \cdot d) \wedge (|v_{i+1}| \geq k_{13} \cdot d)$ の場合、 v_i と v_{i+1} を直角性の判定対象とする(図-9(a))。
- ii) $(|v_i| \geq k_{13} \cdot d) \wedge (|v_{i+1}| < d) \wedge (|v_{i+2}| \geq k_{13} \cdot d)$ の場合、 v_i と v_{i+2} を直角性の判定対象とする(図-9(b))。
- iii) $(|v_i| \geq k_{13} \cdot d) \wedge (|v_{i+1}| < d) \wedge (|v_{i+2}| < d)$

$\wedge (|v_{i+3}| \geq k_{13} \cdot d)$ の場合、 v_i と v_{i+3} を直角性の判定対象とする。(図-9(c))

デフォルト値として、 $k_{13} = 5$ 。 d は線幅とする。

判定の対象となる 2 つのベクトルを v_i, v_{i+1} とすると、式(5)を満たす場合に、2 つのベクトルを直角であると判定する。

$$|(v_i \cdot v_{i+1})| / (|v_i| \cdot |v_{i+1}|) < \cos(k_{14}) \quad (5)$$

デフォルト値として $k_{14} = 80^\circ$ を用いる。(直角頂点数) $\geq k_8$ (式(3d) 参照) を満たさないループ (m_8 個) を除去する。残りのループ数 m_8 は $m_7 - m_8$ である。

- 4) 図-10 に示すように、 m_8 個のすべてのループに対して、 L_p と L_{p-1} および L_p と L_{p+1} が、それぞれ共有チェーン C_{con1} および C_{con2} を有し、それぞれの両端点を結ぶベクトルが v_{con1} (破線部) および v_{con2} (破線部) とすると、式(6)を満たすループ (m_9 個) を除去する。

$$\left\{ \begin{aligned} & \{L_p \mid (L_p \subset \{L_{\text{IN}} \cup L_s\}) \wedge (L_{p-1} \subset \{\text{矩形}\}) \\ & \wedge (L_p \subset \{\text{矩形}\}) \wedge (L_{p+1} \subset \{\text{矩形}\}) \\ & \wedge (|I_p - I_{p+1}| / \max\{I_p, I_{p+1}\}) < \epsilon \\ & \wedge (|I_{p+1} - I_{p+2}| / \max\{I_{p+1}, I_{p+2}\}) < \epsilon \\ & \wedge (|I_{\text{con1}} - I_{\text{con2}}| / \max\{I_{\text{con1}}, I_{\text{con2}}\}) < \epsilon \\ & \wedge (v_{\text{con1}} // v_{\text{con2}}) \end{aligned} \right\} \quad (6a)$$

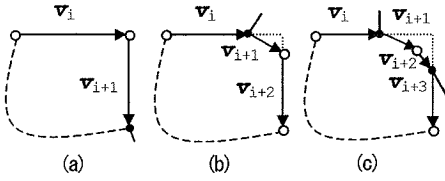


図-9 直交性の判定

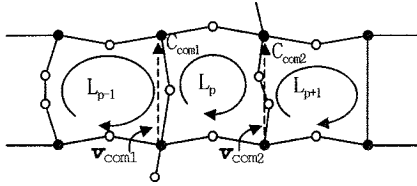


図-10 ラダー形状

ここで、 $(\mathbf{v}_{con1} // \mathbf{v}_{con2})$ は(6b)を用いる。

$$\left(\frac{|\mathbf{v}_{con1} \cdot \mathbf{v}_{con2}|}{(|\mathbf{v}_{con1}| \cdot |\mathbf{v}_{con2}|)} \geq \cos(k_{15}) \right) \wedge ((k_{16}d > h \geq k_{17}d) \quad (6b)$$

ε は、隣接するループの周囲長の比率を基準値以内にするための閾値である。デフォルト値は、 $\varepsilon=1.5$, $k_{15}=10^\circ$, $k_{16}=5$, $k_{17}=3$ 。

以上の処理結果により、 $m_p(m_p - m_i)$ 個の建物候補のループ $L_n(j=0, \dots, (m_p - 1))$ が抽出される。

4. 建物の整形

提案システムは、建物の抽出後、建物を構成するベクトルだけを対象として整形をおこなう。抽出対象となる建物特有の幾何形状特性、すなわち、直角性および平行性を考慮して整形する。整形後のチェーンはラスタ図形の中心線上に位置することが望ましいが、本論文では、1章で記した整形の目的から、整形後の線分が、ラスタ図形内にはいれればよいものとする。なお、本論文で取り扱う建物については、これ以外の任意の角度の修正はおこなわない。以下、3章で求めた m_p 個の L_n および L_s の整形法について議論する。

(1) 歪みの発生場所と大きさ

一般にベクトルチェーンの歪みは、第2章でも前処理として補正したように、ノードの近傍で生じやすい。その大きい順に、以下の3点が挙げられる。

- 1) 平行に近い線分が複数交差、または接触する場合(図-7(a) : c)。
- 2) チェーンの3分岐近傍。なお、この一部は2章(2)b)で整形される。

- 3) 折れ線部の頂点近傍の歪み。鈍角の場合に比べて、鋭角の場合に明らかな歪みが生じる。

(2) 建物を構成するベクトルチェーンの整形手順

まず建物候補のループ L_n の整形の基準となるベクトルを選択し、その向きを基準にして、建物の輪郭線が直角および平行になるよう、ベクトルチェーンを統合し、その後でそのベクトル方向を修正することにより、整形をおこなう。

整形対象のループの頂点列およびベクトル列を、それぞれ、 $\{P_j \mid P_j(j=0, \dots, n_p)\}$, $\{\mathbf{v}_j \mid \mathbf{v}_j(j=0, \dots, (n_p - 1))\}$ とし、以下の手順により整形をおこなう。

a) 直角と見なせる頂点の整形

- 1) ループを構成するベクトル $\mathbf{v}_j(j=0, \dots, (n_p - 1))$ すべてに対して順に、3章(2)e)3)で直角性の判定対象とした2つのベクトルの交点を求め、図-9(b), (c)の右上の点線で示すように、直接に連結する。
- 2) ループのすべての頂点列およびベクトル列を再構成する。再構成後のループの頂点列およびベクトル列をそれぞれ、 $\{P_j \mid P_j(j=0, \dots, n)\}$, $\{\mathbf{v}_j \mid \mathbf{v}_j(j=0, \dots, (n - 1))\}$ とする。

b) 基準ベクトルの選択

ループのすべての構成ベクトル $\mathbf{v}_j(j=0, \dots, (n - 1))$ に対して、

- 1) もし $\{|\mathbf{v}_j| \mid (|\mathbf{v}_j| \geq k_{16}d) \wedge (\mathbf{v}_j \text{ の両端点が } N) \}$ が存在すれば、 $|\mathbf{v}_{base}| = \max\{|\mathbf{v}_j|\}$
- 2) もし $\{|\mathbf{v}_j| \mid (|\mathbf{v}_j| \geq k_{16}d) \wedge (\mathbf{v}_j \text{ の片端点が } N) \}$ が存在すれば、 $|\mathbf{v}_{base}| = \max\{|\mathbf{v}_j|\}$
- 3) $|\mathbf{v}_{base}| = \max\{|\mathbf{v}_j| \mid (|\mathbf{v}_j| \geq k_{16}d) \wedge (\mathbf{v}_j \text{ の両端点が } N) \}$
 \mathbf{v}_{base} をループの基準ベクトルとして登録する。

c) ベクトルチェーンの統合とベクトルの向きの修正

ループのすべての構成ベクトル $\mathbf{v}_j(j=0, \dots, (n - 1))$ に対して順に、

- 1) $j=0$ 。
- 2) もし \mathbf{v}_j が \mathbf{v}_{base} に対して垂直と見なせるベクトル(判定は式(5)でないならば、7)へ
- 3) g 個 (≥ 1) のベクトルが連続して、 \mathbf{v}_{base} に対して垂直と見なせれば、1つのベクトルに統合する。すなわち、接続する g 個のベクトル $\mathbf{v}_j(P_j, P_{j+1})$, $\mathbf{v}_{j+1}(P_{j+1}, P_{j+2})$, ..., $\mathbf{v}_{j+g-1}(P_{j+g-1}, P_{j+g})$ において、各頂点 $P_j, P_{j+1}, P_{j+2}, \dots, P_{j+g}$ と線分 $P_j P_{j+g}$ との距離 $h_l(l=j, \dots, (j+g))$ の最大値 h_{max} が、 $h_{max} < k_{16}d$ を満たすとき、 g 個のベクトルを1つのベクトル $\mathbf{v}_{jg}(P_j, P_{j+g})$ に統合する。

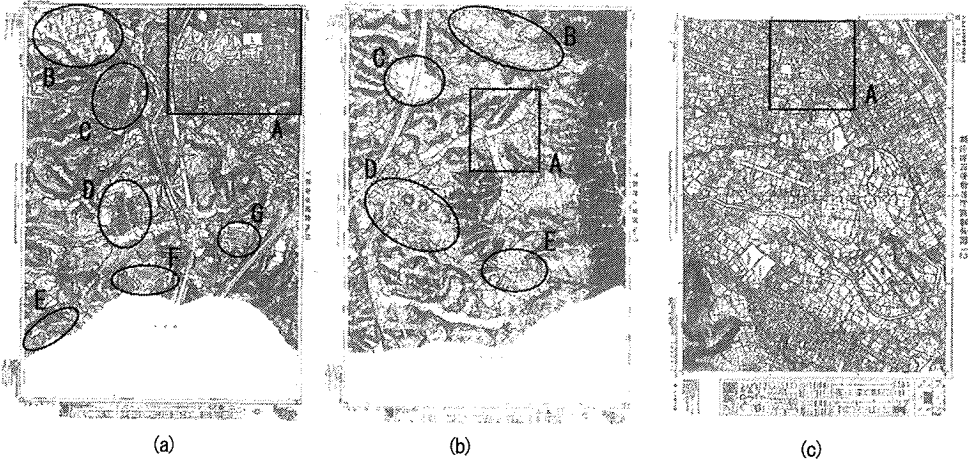


図-11 検討対象地図, (a)住宅地域, (b)村落地域, (c)市街地地域

4) $P_j P_{j+g}$ の中点を中心として, \mathbf{v}_{base} に垂直になるように \mathbf{v}_j を回転し登録する.

もし $P_j P_{j+g}$ の両端点のいずれか一方が基準偏位値 $k_{18}d$ (k_{18} のデフォルト値は 0.5) 以上移動する場合は, 回転を取り消す.

5) $j=j+g$.

6) もし $j > n-1$ ならば, ループを再構成して(頂点列, ベクトル列が再構成される), 終了する.

7) もし \mathbf{v}_j が \mathbf{v}_{base} に対して平行と見なせるベクトル(判定は式(6b))でないならば, 12)へ,

8) g 個 (≥ 1) のベクトルが連続して, \mathbf{v}_{base} に対して平行と見なせれば, c)3)と同様の手法により, \mathbf{v}_{base} に平行になるように \mathbf{v}_j を回転し登録する.

9) $j=j+g$.

10) もし $j > n-1$ ならば, ループを再構成して(頂点列, ベクトル列が再構成される), 終了する.

11) g 個 (≥ 1) のベクトルが連続して, \mathbf{v}_{base} に対して垂直とも平行とも見なせないベクトルならば, c)3)と同様の手法により, g 個のベクトルを1つのベクトル $\mathbf{v}_{jg}(P_j, P_{j+g})$ に統合する.

12) $j=j+g$.

13) もし $j < n-1$ ならば2)へ,

14) 統合された新しいチェーンベクトル \mathbf{v}_s ($s=0, \dots, t$) に対して順に,

もし式(7)が真でかつ \mathbf{v}_{s+1} が \mathbf{v}_{base} に平行と見なせるならば, \mathbf{v}_s を \mathbf{v}_{base} に対して垂直に整形し, 式(7)が真でかつ \mathbf{v}_{s+1} が \mathbf{v}_{base} に垂直と見なせるならば, \mathbf{v}_s を \mathbf{v}_{base} に対して平行に整形する(図-7(d) : D).

$$\begin{aligned} & |(\mathbf{v}_{s-1} \cdot \mathbf{v}_{s+1})| / (|\mathbf{v}_{s-1}| \cdot |\mathbf{v}_{s+1}|) \geq \cos(k_{18}) \\ & \wedge ((k_{19}d > h \geq k_{20}d) \wedge (k_{19}d > |\mathbf{v}_j| \geq k_{20}d)) \quad (7) \end{aligned}$$

デフォルト値は, $k_{18}=10^\circ$, $k_{19}=5$, $k_{20}=3$. ただし, d は線幅とし, h は2ベクトル \mathbf{v}_{s-1} と \mathbf{v}_{s+1} 間の距離とする.

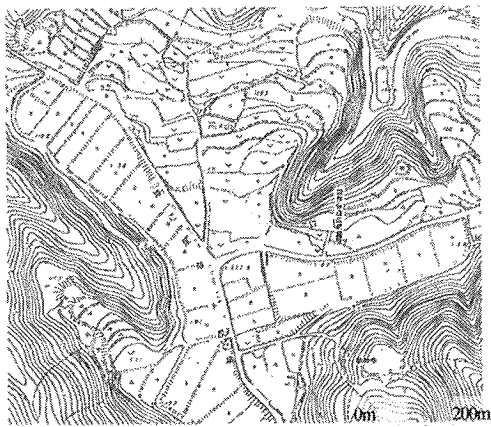
5. 適用例

(1) 検討対象地域と図形の特徴

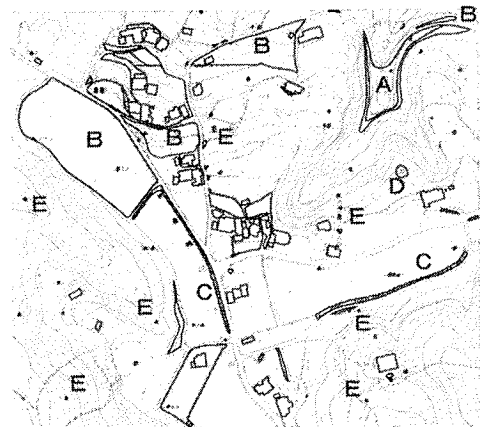
前章までに述べたアルゴリズムの検証を, 村落, 住宅, 市街地地域の例を用いておこなう. 図-11に, 検討対象となる3地域の全体画像(縮尺1:2,500)を示す. 各地図の特徴は次の通りである. 図-11(a)中には住宅団地が5箇所(図中A, C, D, E, F), 流通センター(図中B), 自動車教習所(図中G)が各1箇所あり, これらが丘陵と田畑の間に点在している. 図-11(b)には, 山間部に比較的大きい4個の集落(図中A, B, D, E)と田畑の他に高速道路のサービスエリア(図中C)が存在している. 図-11(c)は中都市の市街地で, 河川, 鉄道, 高速道路, 養魚場, 工場, 公共施設等が存在する. 建物抽出の立場から各地域の特徴を詳細に検討するため, それぞれの典型的な領域を示す矩形枠領域(各図中A), すなわち, 図-12, 13, 14を用いて考察する. 図-12は, 図-11(b)中央上部の集落(図中A)を反時計方向に90度回転したものである. なお, 図-11(a), (b)は隣接している.

表-1に, 上述の地図の基礎データと各地域の特徴を示す. 表に示すように,

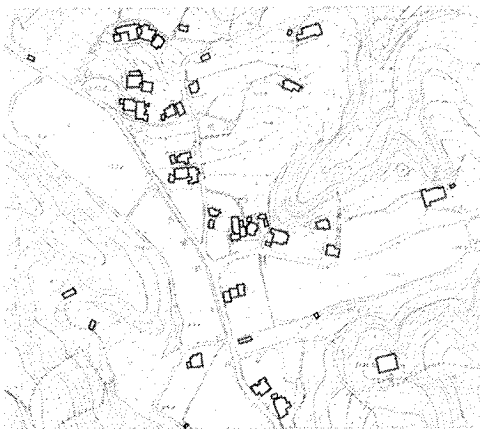
- i) 地図の複雑さの目安となる単位面積当たりのベクトルチェーン数は, 山間部の等高線の多い村落地域全図(図-11(b))を基準にとったチェーン密度比は, 市街地地域では2倍強, 住宅地域では2倍弱である.
- ii) 図形の錯綜の目安であるベクトルチェーン中に含まれる, 1チェーン数あたりのループ数の割合(ループ率)は, 市街地地域全図(図-11(c))では村落地域全図の約4倍であり, 住宅地域部分図(図-14)では約2.5倍である.



(a)

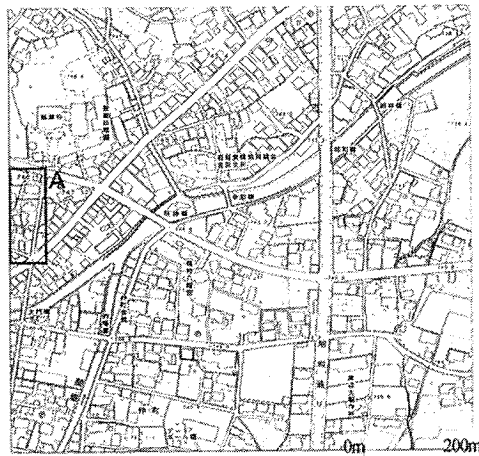


(b)

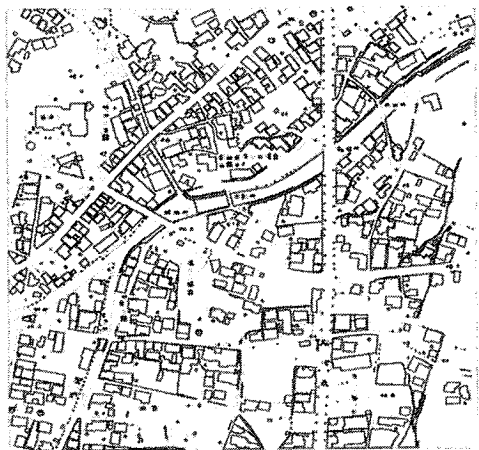


(c)

図-12 村落, (a) ループ以外のベクトル, (b) 全ループ
(c) 建物として抽出した図形



(a)

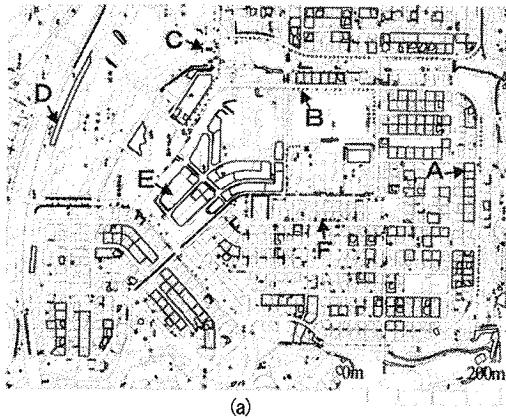


(b)



(c)

図-13 市街地, (a) ラスタ画像, (b) 全ループとブリ
ッジ, (c) 建物として抽出した図形



(a)



(b)

図-14 住宅地 (a) 建物以外の全ループ
(b) 建物として抽出した図形

iii) 各種記号と建物との干渉の目安となる建物のオープンループの割合(建物のオープン率)は市街地域が村落地域全図の約3倍, 住宅地域および農村の集落部(図-12)では, 1.5倍から2倍である。これらのデータは, 建物の密集地域ほど, 図形が複雑なことを示唆している。

以下に, 各地域の幾何学的特徴と建物の抽出過程について考察する。

図-12の面積は, 村落地域全図(図-11(b))の6%を占めるが, その中に約15%の建物が存在する。図-12(a)は, ループを形成しない線分を黒線で示し, その他の線分を灰色で示したものである。すなわち, 黒線は, ループおよびブリッジを除くすべての線分であり, 等高線, 道路, 盛土, 土手, 田畑などの記号, 文字, 数字の他に, 輪郭線が切断された建物などのベクトルチェーンが含まれている。図-12(b)は, 図-12(a)の灰色の線分から, 複数のループを連結するブリッジを除去したすべてのループ, すなわち, 3章(2)d)の処理の終了段階を示す。建物以外のループは, 等高線のループ(図中A), 道路, 盛土, その他の線分の

接続により形成されたループ(例えば図中B), 盛土(例えば図中C), 池(例えば図中D), その他に, 広葉樹の記号, 文字, 数値を構成するループ(例えば図中E)が含まれる。図-12(c)に, 3章(2)e)により抽出した建物を4章の処理により整形した建物を示す。抽出結果を表-2に示す。なおこの考察は他の事例と一括して次節で議論する。

図-13(a)は, 図-11(c)の市街地(図中A)のラスタ画像図(全体の8%領域)を示す。域内の建物数は全体の約20%を占める密集地域である。図-13(b)は, 図-12(a)とは反対に, ループを形成しない線分を灰色線で, その他のループ抽出処理対象となる線分を黒線で示したものである。図から明らかなようにこの時点で削除できる線分は限られている。すなわち, 多様なオブジェクトを構成する線分が錯綜し, 接触・重畳しており, それが個々のオブジェクトの選択・抽出を困難にしている。図-13(c)に抽出した建物を整形した図を示し, その抽出結果を表-2に示す。

図-7は, 図-13(a)の左中央部(図中A)を拡大したものである。図-7(a)は, ラスタ画像を示し, ループでない線分は, 鉄柵を示す一点鎖線の一部(左上と左下), ループの途切れた建物, 経線によって切断された建物の一部, 標高点を示す孤立点とその数字の一部(上部)だけであり, その他はすべてループまたはブリッジを構成している。なお, 図中の右上からほぼ中央部左寄りに下方の道路まで, 断続している細曲線は, 等高線である。図-7(b)に, 抽出された全ループとこれらを連結するブリッジを示す。すなわち, 3章(2)c)で述べた擬似的な外ループを構成する C_{bridge} を示す。なお, このループの探索開始点は最下端の点V_sである。図-7(c)に, このブリッジを除去した後の全ループを示す。外ループ内の内ループは, 3章(2)d)で抽出される。広葉樹, 数字および蓋溝の自己ループおよび中央下の小さい内ループは, 3章(2)e)の段階で除去される。以上の処理によって, 建物として抽出され整形されたものを図-7(d)に示す。

図-14(a)は, 図-11(a)の右上の領域(図中A)であり, 建物以外の全ループを示す。図中のループの内, 村落, 市街地で挙げたもの以外のオブジェクトは, 建物を囲む塀(例えば図中A), 並木(例えば図中B), 石段(例えば図中C), 法面保護(盛土等, 例えば図中D), 空地(例えば図中E), 車庫(例えば図中F), である。図-14(a)には, 塀や被覆で囲まれた矩形の図形が多くみられる。これらは建物と非常に類似した形状にも拘わらず, 3章(1)の式(3a)により, 建物でないと正しく認識されている。なお住宅内の車庫については, この場合建物外として処理している。これは3章(2)e)1)の判定式に用いる式(3c)の係数の設定に左右される。図-14(b)に, これらのループを除去し整形した建物を示す。抽出結果を表-2に示す。

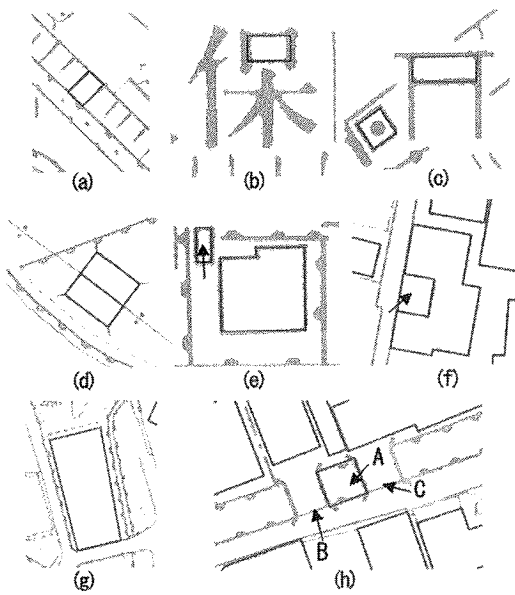


図-15 誤抽出の例。(a)盛土。(b)文字。(c)地図記号。(d)送電線と高塔。(e)駐車場(矢印部)。(f)道路と建物で囲まれた領域(矢印部)。(g)橋と堰と川岸で囲まれた領域。(h)2つの橋と被覆で囲まれた領域(図中A)

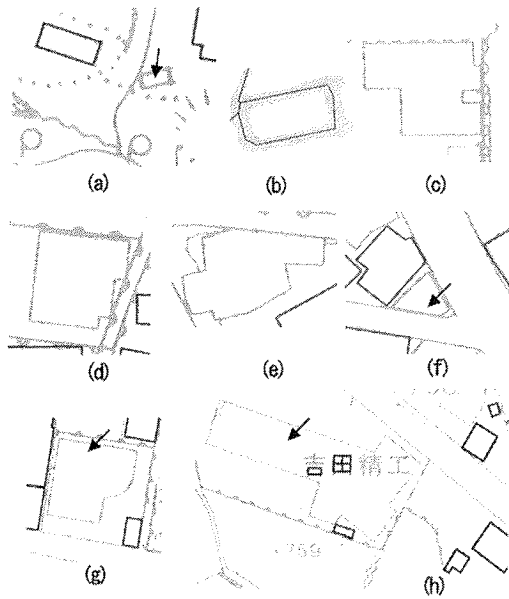


図-16 未抽出の例。(a)小屋(矢印部)。(b)図(a)の未抽出の小屋のベクトル形状。(c)。(d)被覆と接触する建物。(e)不定形の建物。(f)角地の建物。(g)大型の建物(矢印部)。(h)曲線を含む建物

(2) 抽出結果の検討

表-2に図-11, 12, 13, 14の建物の抽出結果を示す。表から分かるように、i) 建物の正抽出率は、約95%から約98%

と高い。これに対して、ii) 誤抽出の割合が市街地に比べて、村落地域全図(図-11(b))および住宅地域全図(図-11(a))では約11%と大きい。前者では盛土の誤認が圧倒的に多く、後者では駐車場および盛土の誤認がその大半を占めている。以下、誤抽出、未抽出の原因について、表-3および、図-15, 図-16を用いて検討する。

表-3の左半分に誤抽出の原因の分類を、図-15にその典型例を示す。表-3から分かるように、i) 村落地域では、田畑の周辺の盛土が多く、これによって構成される矩形(図-15(a))が誤認の要因になっている。ii) 市街地域の誤認の半数近くは文字(保, 吉, 田, 口, 白, 和等)(図-15(b), 図-15(h))、および記号(鳥居, 門, 高塔, 送電鉄塔, 病院等)(図-15(c), (d))の閉ループによるものである。駐車場(図-15(e))が約20%、建物以外のベクトルチェーン同士、またはこれ等と建物が作る閉ループによるもの(図-15(f), (g), (h))が約40%近くを占めている。iii) 住宅地域では、前述したように、駐車場および盛土がそれぞれ約55%, 約24%で、合計80%近くを占めている。前者の判定は前節でも述べたように、式(3c)の係数の設定に左右される。図-15(h)に見られるBおよびCの線は、橋を塞ぐように書かれている。通常の表記には見られないことから、1章で述べた誤記入の例としてあげておく。

表-3の右半分に未抽出の原因の分類を、図-16にその典型例を示す。i) 村落地域の未抽出建物は、角の直角性を確定できなかった比較的小さい家屋(図-16(a), (b))、あるいは建物のループの1部が道路、等高線、建物の敷地の境界線、小川、歩道路等の線分と接触し、ベクトルチェーンが歪むことにより、3章の建物の条件を満たさない物が80%以上を占めている。ii) 市街地域では、被覆(例えばコンクリート擁壁等)の線分と建物の線分の接触によりひびき付き線分であると認識され、除外されたもの(図-16(c), (d))が80%近くに達している。その他都市特有のものとして、本論文では処理対象から外している、不定形状(図-16(e))、あるいは特殊形状の建物(角地、曲線を含む建物)(図-16(f), (g))：式(3d)を満たさない建物、大型建造物(図-16(h))：式(3c)を満たさない建物)が合わせて約8%ある。iii) 住宅地域では、i)で述べたチェーンの歪みによるもの、側溝およびコンクリート擁壁を含む被覆に接触するものが、それぞれ約半数ずつを占めている。

提案した建物抽出アルゴリズムは、実用に耐え得る抽出率を示しており、また、その整形も適正におこなわれていることを示している。各ケースの処理時間は、図-11の村落地域、市街地域、住宅地域それぞれに対して、約12分、約17分、約16分であり、図-12の村落地域は47秒、図-13の市街地域は71秒、図-14の住宅地域は140秒である。

なお、使用スキャナはドラム式タイプであり、テスト画像は800dpiの解像度で読み込んだ。使用マシンのOSはwindowsNT、CPU動作周波数は約600MHzであり、建物自動

表-1 図-11, 12, 13, 14の幾何学的特徴

計測項目 地域		画像サイズ	チェーン数	ループ数	建物数	建物のオープン数	チェーン密度比	ループ率	建物のオープン率
		幅×高さ (ピクセル)	A	B	C	D	A/面積	B/A(%)	D/C(%)
村落地域	図-11(b)	21,696×28,140	78,439	2,102	429	18	1.0	2.7	4.2
	図-12	5,600×6,384	7,316	156	63	5	1.6	2.1	7.9
市街地域	図-11(c)	18,880×25,075	125,276	12,686	3,331	372	2.1	10.1	11.2
	図-13	6,336×6,275	10,872	788	664	87	2.1	7.2	13.1
住宅地域	図-11(a)	21,792×29,166	93,013	5,792	1,584	106	1.7	6.1	6.7
	図-14	10,944×8,161	21,169	1,470	888	72	1.8	6.9	8.1

表-2 誤抽出および未抽出結果

抽出項目 地域		正抽出数	誤抽出数	未抽出数	正抽出率	誤抽出率	未抽出率
		E	F	G	E/(C-D) (%)	F/(C-D) (%)	G/(C-D) (%)
村落地域	図-11(b)	398	39	13	96.8	9.5	3.2
	図-12	55	3	3	94.8	5.2	5.2
市街地域	図-11(c)	2,887	125	72	97.6	4.2	2.4
	図-13	553	19	24	95.8	3.3	4.2
住宅地域	図-11(a)	1,444	168	34	97.7	11.4	2.3
	図-14	794	79	22	97.3	9.7	2.7

表-3 誤抽出および未抽出結果の内訳

地域 内訳		誤抽出				未抽出		
		盛土 (%)	文字・地図記号 (%)	駐車場 (%)	その他のバクトルチェーン (%)	チェーンの歪み (%)	被覆と接触 (%)	特殊形状の建物 (%)
村落地域	図-11(b)	76.9	12.8	0.0	10.3	84.6	7.7	7.7
市街地域	図-11(c)	3.3	40.5	19.0	37.2	13.9	77.8	8.3
住宅地域	図-11(a)	23.8	13.1	55.4	7.7	52.9	47.1	0.0

抽出および整形システムは、AutoCADの拡張機能として作動する。

6. 結論と今後の問題点

スキャナで読み込まれた地図から、ループ形状の建物をその幾何特徴を利用して抽出し整形する手法を提案し、その有用性を実証した。

本論文は、文献9)の等高線を除去した後のベクトルチェーンについて、建物の検出をおこなったものである。5章の適用例から容易に推察できるように、等高線および建物を除去すると、地図上のオブジェクトの数が減少し、空白領域が増加する。したがって、i) ループを構成するその他のオブジェクト(石段、切土、盛土、蓋溝等)、記号(広葉樹、数字、文字の一部)等の抽出が容易になる。これらの抽出は、現在の建物の誤抽出率を少なくする。ii)

長い直線・点線・破線などからなる送電線や各種の区界等の抽出も、より確実におこなえる。これらの抽出は、これらと接触している建物の未抽出率を少なくする手掛かりとなる。iii) 2個および3個の極短距離線の記号を抽出し、これを囲む田畑を文献14)の手法により抽出することも、i)で抽出された盛土を活用することにより可能になろう。さらに、iv) 等高線と類似な性質を持ちながら連続・平行・分岐性の特徴をもつ道路の抽出も容易になるであろう。道路の抽出により建物の誤抽出および未抽出率を改善する手掛かりが得られる。

現段階では本論文の建物の抽出は、ループ形状を保持し、典型的な建物形状に限定されている。すなわち、円弧・自由曲線を含む建物および欧米の都市によく見られる直角・平行性を持たないビルにも対応していない。文献9)の等高線の抽出についても、多様なオブジェクトと交錯する都市近郊の抽出率は高くない。今後、上述の抽出が容易なオブジェクトから順次進め、さらにこの過程を繰り返す

プログレッシブな手法を導入することにより、個々のオブジェクト間の相互関係(例えば、公共建造物の文字認識・各種記号によるループの分析、歩道・並木等の建物の周辺環境)から、現段階では、抽出不能なオープンループの建物の抽出を可能にすることが課題である。

参考文献

- 1) Okazaki, A., Kondo, T., Moff, K., Tsunekawa, S. and Kawamoto, E.: An Automatic Circuit Diagram Reader with Loop Structure based Symbol Recognition, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.3, pp.331-341, 1988.
- 2) Kasturi, R., Row, S., El_Masri, W., Shah, J., Gattiker, J. and Mokate, U.: A system for Interpretation of Line Drawings, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12, No.10, pp.979-992, 1990.
- 3) Anil, K., Jain, Robert, P.W., Duin and Jianchang, M.: Statistical Pattern Recognition, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.1, pp.4-37, 2000.
- 4) Photron Ltd., 頭脳Century2D
- 5) 森正寿, 瀬戸浩昭, 中村彰: 地形図における3次元情報の自動抽出とその応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 3, pp. 221-232, 1988.
- 6) 村井俊治, スキーット・ピセシン, 等高線の自動読み取りと標高の自動抽出, テレビジョン学会技術報, Vol. 13, No. 63, pp. 27-32, AIPS' 89-29, Dec., 1989.
- 7) 水谷宣夫, 岡部直木, 渡邊豊英, 吉田雄二: 等高線の自動読み取り, 信学技報 PRU89-126, pp. 1-8, 1990.
- 8) 水谷宣夫, 渡邊豊英, 吉田雄二, 岡部直木: ボロノイ線図による隣接関係を用いた等高線の抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J74-D-II, No. 11, pp. 1499-1506, 1991.
- 9) Li, W., Nakamae, E. and Miyoshi, T.: EXTRACTING CONTOUR LINES UTILIZING FEATURES OF A RASTER IMAGE TOPOGRAPHIC MAP, JSCE, No.688/4-53, pp.135-144, Oct., 2001.
- 10) Alireza, K. and Edmund, Z.: Contour Line and Geographic Feature Extraction from USGS Color Topographical Paper Maps, IEEE Transaction on Pattern and Analysis and Machine Intelligence, Vol.25, No.1, pp.18-31, Jan., 2002.
- 11) 石村信道, 笠原包道, 井上郁朗: 海図等高線の自動抽出, 日本航海学会論文集, 84号, pp. 121-130, 3月, 1991.
- 12) 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.
- 13) 西嶋征和, 渡邊豊英: 道路情報自動抽出における未抽出道路の協調的推定法, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 10, pp. 1956-1965, 1997.
- 14) Jiao, G.F., Nakamae, E., Tadamura, K. and Inuyama, H.: On the Extraction of Various Regions in Vector Maps, MVA'94 IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.230-234, Dec.13-15, 1994.
- 15) (株)三英技研, AutoSTRAX-R
- 16) (株)日本コンピュータグラフィックス, NIGMAS X
- 17) 日立ソフトエンジニアリング, GISCore/DGH
- 18) 坂内 正夫, 大沢 裕: 画像データベース, 著昭晃堂, pp. 105-107, 1987.

(2003. 3. 28 受付)

EXTRACTING AND RECTIFYING BUILDINGS UTILIZING FEATURES OF A SCANNED TOPOGRAPHIC MAP

Takaharu MIYOSHI, Weiqing LI, Kazufumi KANEDA, Hideo YAMASHITA and Eihachiro NAKAMAE

The purpose of this paper is to extract the buildings distributed in the broad area when an existing raster map is converted into a digital map, and to rectify their vector chains, automatically. The problem is in the map that natural objects, artificial objects, and signs with various geometries crowd and exist together, as a result they comes in contact and overlaps, and in some cases they are divided into some parts. We pay attention to the characteristics of a loop, straight lines, right-angled and size of a building, and the loops of buildings are detected in accordance with their peculiar geometrical feature and then they are rectified.