

## 高分解能衛星画像からの道路領域抽出法 Road-Area Extraction Method from High Resolution Satellite Image

大峡 光晴†  
Mitsuharu Oba

久保田 仙†  
Sen Kubota

### 1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムに対するユーザの要求が高度化しており、使用する道路地図にはより多くの情報と迅速な更新が求められている。それに伴い、特に地図が未整備な海外において従来のノードとリンクだけからなる道路地図を、道路の幅員や車線数などの情報をもつ詳細な地図に更新する必要性が高まっている。

最近の高分解能衛星画像は、地上分解能最大約 60cm という高分解能化に加え、地球上のあらゆる地域を安価かつ高頻度で取得できるようになってきたため、この特長を利用した地図の作成・更新が期待されている。

本稿では高分解能衛星画像として QuickBird 衛星画像を利用して、中心線のベクトルデータだけの地図から道路の幅員情報をもつ地図 (図 1) を作成する手法を提案する。

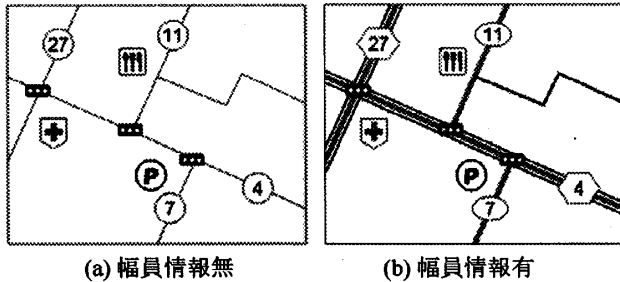


図 1: 道路地図

### 2. 技術的課題

衛星画像から道路領域を抽出する手法には、例えばエッジを追跡する手法がある[1][2]。この手法では、前処理として原画像に対しエッジ抽出処理を行い道路のエッジを抽出する。その後道路の位置を示すベクトルデータを基に出発点を指定し、そこから連結したエッジ、または近傍にある中心線に平行なエッジを追跡し、結合させて得られた折れ線を道路の境界線とみなす。そして道路の両側の境界線に挟まれた領域を道路領域として抽出する。

しかし、この手法では、分岐点に到達した場合の進行方向選択や、エッジが分断されている場合に結合すべきエッジの選択が難しい。特に、建物の倒れこみや陰影などによって道路が遮蔽されている場合 (図 2)、道路の境界線のエッジが抽出できなくなるためエッジの結合が困難となる (図 2(b) A)。なお、これらをユーザによる対話処理で補う実現方式も考えられるが、広範囲の道路の処理が必要な場合、処理コストが高くなってしまふ。

また、従来の地上分解能 3~4m 程度の衛星画像では、道路の幅員は 2~5pixel 程度であったため、中心線に平行なエッジの数は限られていた。そのためエッジを結合させていくことは比較的容易であった。しかし、地上分解能

60cm 程度の高分解能衛星画像では、道路の幅員は 10~30pixel 程度になり、中心線に平行なエッジが多数存在する。そのためこの手法を高分解能衛星画像に適用した場合、複数のエッジの中から適切なエッジを選択することが必要である。また、エッジを結合させてきた折れ線が同一道路上に複数存在することが多く、その中から道路の境界線 (図 2(b) D) を選択することが困難で、道路上の中央分離帯 (図 2(b) B) や車線境界線 (図 2(b) C) などを誤抽出してしまうことが多くなるという問題もある。

これらの問題を解決するためには、以下の要件を満たす手法が必要である。

- (1) 高分解能 (60cm 程度) 衛星画像に適用可能。
- (2) 不完全なエッジに対してロバスト。
- (3) 道路境界を認識可能。

本研究では、上記の要件を満たす手法の実現を目標とする。

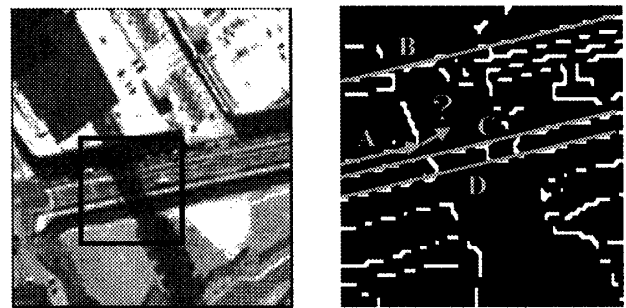


図 2: エッジ追跡による道路抽出†

### 3. 提案手法

本稿では上記要件を満たす道路領域抽出手法を提案する。本研究のおおまかな流れを図 3 に示す。以下の各節で処理の詳細を説明する。

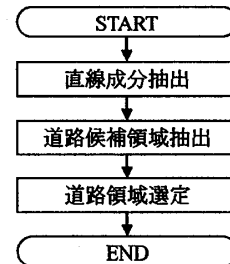


図 3: 処理の流れ

なお、本研究では道路は以下の特徴をもつものとして扱い、これらを利用することで道路領域の抽出を図る。

- (1) 道路のカーブは緩やかで局所的には直線的な形状とみなせる。
- (2) 道路の両端はほぼ平行で、幅員の変化が少ない。
- (3) 道路の舗装色は画像内でほぼ一定である。

† 日立ソフトウェアエンジニアリング (株)

‡ Includes material (C) DigitalGlobe, Inc.

### 3.1 Hough 変換による直線成分抽出

山間部などを除けば道路のカーブは緩やかであり、局所的には直線的な形状とみなせる。そのため直線成分を抽出し、その直線成分を結合させていくことで道路地図を構築できると考えられる。直線成分を抽出するために、エッジを追跡する手法と同様にまず原画像に対しエッジ抽出処理を行う。次に得られたエッジ画像に対し Hough 変換[3][4]を施す。ここでは、直線成分を抽出して道路を構成する境界線を抽出するために利用する。

この際、各道路ベクトルから一定距離内に存在し、かつ道路ベクトルとのなす角が一定以内である直線成分だけを抽出する。3.2 節の処理では抽出した直線成分を基に道路境界を推定する。Hough 変換で直線成分を抽出することにより、エッジを追跡する手法の欠点であるエッジの途切れによる誤抽出を減少させる。

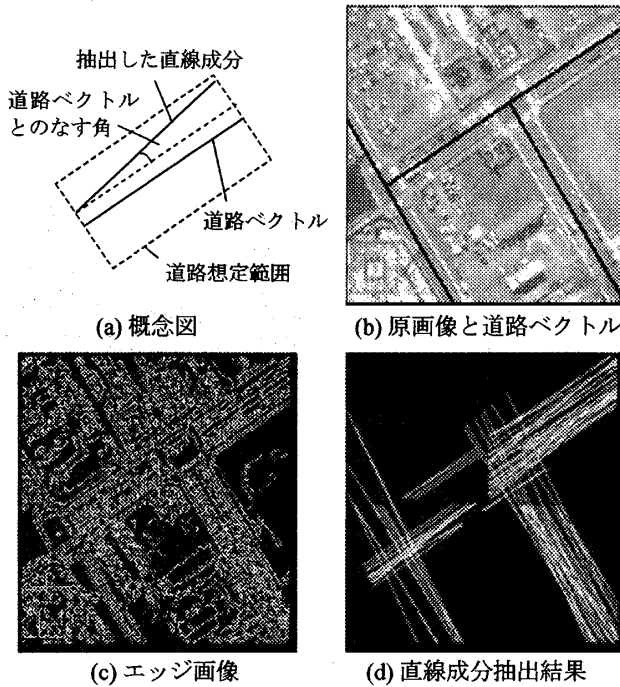


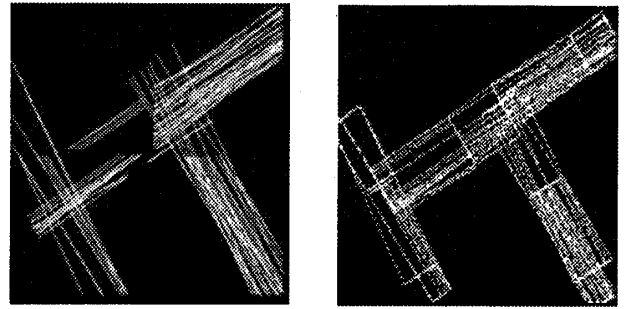
図4: 直線成分抽出 ↓

### 3.2 道路候補領域抽出

次に、道路の両端はほぼ平行で幅員の変化が少ないという特徴を利用し、道路領域の可能性のある領域（道路候補領域）を抽出する。道路候補領域は、ベクトルデータを挟んだほぼ平行な二本の直線の組み合わせで構成される。平行な直線が何組かある場合、すべての組み合わせによる領域を抽出して道路候補領域をリストアップし、3.3 節の処理でその中から道路領域を選定する。長い道路についてはいくつかの領域に分割して道路候補領域を作成する。領域を分割することで、緩やかなカーブを描く道路領域も抽出可能となる。

### 3.3 道路領域選定

次に、道路の舗装色はほぼ一定という特徴を利用し、道路領域の境界を求める。道路領域と道路外の領域とでは舗装色が異なると考えられるため、色調特徴の違いを利用する[5]。



(a) 直線成分抽出 (b) 道路候補領域作成  
図5: 道路候補領域抽出

具体的には、3.2 節で得られた各道路候補領域に対して、原画像の画像値に基づく特徴量  $F_i$  を求める。

$$F_i = (R_c - \bar{R}_i)^2 + (G_c - \bar{G}_i)^2 + (B_c - \bar{B}_i)^2 \quad (1)$$

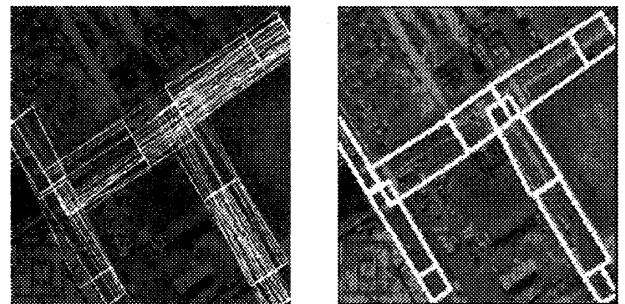
$F_i$  : 道路候補領域  $i$  の特徴量

$\bar{R}_i, \bar{G}_i, \bar{B}_i$  : 道路候補領域  $i$  の  $R, G, B$  の平均値

$R_c, G_c, B_c$  : 一般的な道路の  $R, G, B$

各道路ベクトルの各道路候補領域に対し  $F_i$  を求めリストを作成する。  $F_i$  が最小となる道路候補領域をその道路ベクトルにおける暫定道路領域とする。

各道路ベクトルに対し暫定道路領域を求め、各暫定道路領域を結合する。そして隣接する暫定道路領域の位置関係を評価する。隣接する暫定道路領域の境界が自然に結合しない場合は、該当する道路ベクトルのリストを参照し、  $F_i$  が次に小さい道路候補領域を新たな暫定道路領域とする。そして再度位置関係を評価し、隣接する暫定道路領域と自然に結合するまで繰り返す。すべての道路領域に対しこの処理を行い最終的な道路領域を決定する。



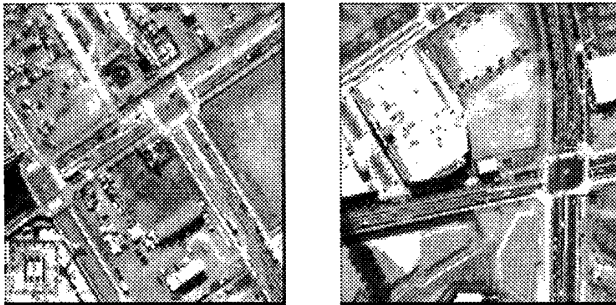
(a) 道路候補領域 (b) 最適化後  
図6: 道路領域選定 ↓

## 4. 実験

QuickBird 衛星画像を用いて本手法の有効性を評価した。なお、実験に用いた画像は、地上分解能 60cm の 24bit カラー画像である。この場合、正確な道路境界線と本手法で抽出した道路境界線との誤差が 2pixel 以内であれば、車線境界線や中央分離帯との誤認を区別できるため、誤差が 2pixel 以内か否かで道路領域抽出の成否を判断する。

#### 4.1 実験対象データ

原画像例を図7に示す。画像中の道路には建物や陰影で遮蔽された箇所や緩やかにカーブしている箇所がある。



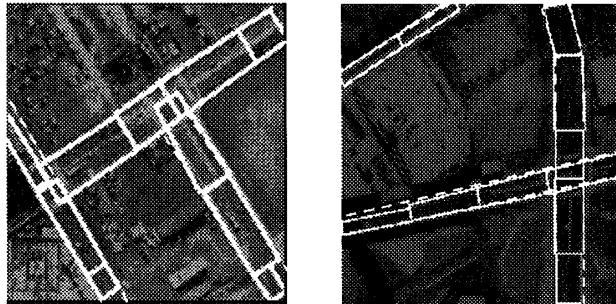
(a) 画像1

(b) 画像2

図7: 実験対象画像 ↓

#### 4.2 実験結果

本手法を適用した結果の一例を図8に示す。実線は本手法により抽出された道路領域であり、破線は正確な道路領域である。



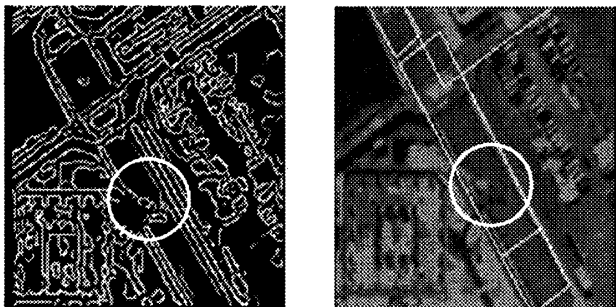
(a) 画像1

(b) 画像2

図8: 処理結果 ↓

#### 4.3 評価と検討

実験画像中の21の道路領域のうち17の道路領域では、道路境界線を誤差2pixel以内で抽出できた。これらの道路領域中には複数車線の道路もあるが、車線境界線や中央分離帯と区別して道路境界線を抽出できた。また、建物が道路を遮蔽している箇所(図9)でも道路領域を抽出できおり、不完全なエッジに対するロバスト性を確認できた。21の道路領域のうち4つは誤抽出であった。内2つは画像周縁部の領域であり道路境界線が欠けていたため道路境界線の直線成分を抽出できなかった。画像周縁部の処理を工夫する必要がある。



(a) エッジ画像

(b) 道路領域抽出結果

図9: 道路遮蔽箇所の処理結果 ↓

また、他の2つの道路領域は、道路の片側の広い範囲が建物や建物の陰影で覆われていたため、道路境界線のエッジが十分に抽出できなかった。本手法では図9のように道路の一部が遮蔽されている場合には正確に道路領域を抽出可能であるが、道路ベクトルと平行な方向に広い範囲で遮蔽されているような場合には抽出精度が落ちてしまう。道路を遮蔽している原因が陰影である場合には、エッジ抽出の前に陰影部分のコントラストを補正する方法[6]が考えられる。陰影部分のコントラストを補正することで当該箇所のエッジが強調され、Hough変換時の直線成分抽出精度が向上すると考えられる。

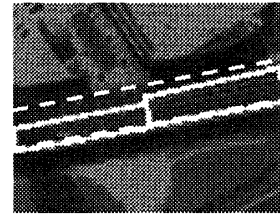


図10: 陰影で遮蔽された道路 ↓

#### 5. おわりに

本稿では、高分解能衛星画像を利用して、中心線だけの道路地図に、幅員情報を付加する道路領域抽出手法を提案した。

Hough変換による直線成分抽出と、色調特徴量による分類手法を組み合わせたことにより、エッジが不完全な場合でも道路境界線を抽出可能となった。これにより高分解能衛星画像に適用可能な道路領域抽出手法の実現の見通しを得た。

実験では正確な道路領域と同等の抽出結果が得られた。ただし、建物の倒れこみや陰影などによって広範囲に遮蔽されている道路の抽出精度に課題が残る。

今後は、陰影部分のコントラストを補正する処理や、複数画像を組み合わせて遮蔽部分を補間する処理などを行い、道路領域の抽出精度向上を図る。

#### 参考文献

- [1] Meir Barzohar, David B. Cooper : Automatic Finding of Main Roads in Aerial Images by Using Geometric-Stochastic Models and Estimation, IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol.18.No 7(1996-7)
- [2] 熊谷潤, 中川雅史, 趙卉菁, 柴崎亮介 : 高解像度衛星画像からの道路抽出, 日本写真測量学会平成14年度年次学術講演会発表論文集 pp.155-158(2002)
- [3] P.V.C Hough : Method and Means for recognizing complex patterns, U.S.Patent 3,069,654号(1962)
- [4] 村上和人, 成瀬正 : 局所領域内のHough変換を用いた高速な直線検出法, 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J83-D-II No.3 pp.918-926(2000)
- [5] 史中超, 柴崎亮介 : 高分解能衛星画像から道路抽出の試み, 日本写真測量学会1998春季学術講演会 論文集 pp.195-199(1998)
- [6] S.K.Nayar and T.Mitsunaga : High Dynamic Range Imaging: Spatially Varying Pixel Exposures, Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition 2000 Vol.1(2000)