

## (4) 衛星画像からの市街地の 道路地図生成に関する研究

福島 佑樹<sup>1</sup>・北川 悦司<sup>2</sup>・田中 成典<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)  
E-mail:fukushima@kansai-labo.co.jp

<sup>2</sup>正会員 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東5丁目4番33号)  
E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)  
E-mail:tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

近年、ナビゲーションシステムの普及によりデジタル地図の利用場が増加している。デジタル地図には、広範囲を網羅する情報量と情報の信頼性が求められるが、主に人手を介して作成されているため、多大なコストと時間がかかる問題がある。そこで、画像処理技術を用いて自動的にデジタル地図を作成する技術が注目されている。画像処理技術を用いてデジタル地図を作成する技術として、航空写真や光学衛星画像を用いた道路地図の生成手法が広く研究されている。しかし、建物などの影響で影が発生する問題、路面上の障害物が精度に悪影響を及ぼす問題や気象などの撮影条件に精度が依存する問題がある。そこで、本研究では、レーダ衛星画像を用いることで、従来の航空写真や光学衛星画像における問題点を解決した道路地図の生成を実現する。

**Key Words :** *Satellite Image, Synthetic Aperture Radars, Digital Road Mapping, Remote Sensing*

### 1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムやスマートフォン搭載のナビゲーションシステムの普及により従来の紙媒体の地図に比べてデジタル地図の利用場が増加している。デジタル地図は、ナビゲーションだけではなく、防災計画における避難シミュレーションや都市計画などにも用いられており、我々の生活に深く関わっている。そのため、デジタル地図には、広範囲を網羅する情報量と情報の信頼性が求められる。

現在、デジタル地図は、主に航空写真測量や現地測量などの人手によって作成されている。しかし、人手によるデジタル地図の作成は、多大なコストと時間がかかる問題があり、広範囲のデジタル地図を整備する目的としては現実的ではない。そこで、画像処理技術を用いて自動的にデジタル地図を作成する技術が注目されている。

画像処理技術を用いてデジタル地図を作成する技術として、航空写真や光学衛星画像を用いた道路地図の生成手法が広く研究されており、画像から交差点を抽出して道路地図を生成する手法<sup>1)</sup>や道路の特徴を用いて道路を

抽出する手法<sup>3)</sup>が提案されている。交差点を抽出する手法<sup>1)</sup>では、予め定義した交差点モデルを航空写真にマッチングすることで抽出している。しかし、定義した交差点モデル以外の形状を持つ交差点を抽出できない問題や、建物などの影による影響で交差点を抽出できない問題がある。また、道路の特徴を用いて道路を抽出する手法<sup>3)</sup>では、道路と建物の境界を抽出する手法や直線成分を抽出する手法が提案されている。しかし、交差点抽出と同様に、建物などの影による影響で道路の特徴が抽出できず、道路を抽出できない問題がある。さらに、横断歩道などの路面上の白線の特徴として誤抽出し、道路抽出の精度に悪影響を及ぼす問題がある。影を含む航空写真から道路を抽出する研究<sup>2)</sup>も行われているが、白線などの路面上の特徴による精度低下の問題が残る。また、航空写真や光学衛星画像を用いた全ての道路地図の生成手法に対して、気象などの撮影条件に精度が依存する問題がある。

以上の既研究より、航空写真や光学衛星画像を用いた道路地図の生成には、以下の問題があることがわかる。

- ・ 予め定義したモデル以外の抽出が困難
- ・ 建物などの影響で影が発生する
- ・ 白線などの路面上の特徴が精度に悪影響を及ぼす
- ・ 気象などの撮影条件に精度が依存する

そこで、本研究では、道路領域の抽出にレーダ衛星画像を用いることで、問題点を解決するシステムを開発する。レーダ衛星画像とは、地表面にマイクロ波を照射し、その反射強度を数値化した画像である。レーダ衛星画像は、光学衛星画像と異なり、気象などの撮影条件に影響されず、影も発生しない。そのため、撮影条件に精度が依存する問題と影が発生する問題を解決できる。また、レーダ衛星画像は、反射強度を数値化した画像であるため、白線などの路面上の視覚的な特徴が精度に悪影響を及ぼす問題を解決できる。さらに、レーダ衛星画像からの道路地図の生成にレーダ衛星画像における道路の特徴を用いることで、予め定義したモデル以外の抽出が困難という問題を解決する。これにより、本研究では、従来の航空写真や光学衛星画像における問題点を解決した道路地図の生成を実現する。

## 2. レーダ衛星画像の特徴

レーダ衛星画像は、地表面にマイクロ波を照射し、その反射強度を数値化した画像である。そのため、可視光の光学衛星画像とは異なる特徴を持つ。本研究で用いるレーダ衛星画像は、1画素辺り16bitのデータ量を持つため、0から65535の値を取り得る。市街地におけるレーダ衛星画像の画素値と画素数のヒストグラムを図-1に示す。

図-1より、ほとんどの画素の値が低く、値が高い画素が少ないことがわかる。これらの値が高い画素は、画像処理においてノイズとなるため、値が0から1000の範囲を0から255の範囲に正規化し、画像処理に向けた8bitのグレースケール画像を作成する。作成した画像を図-2に示す。

図-2より、レーダ衛星画像が道路地図の生成においてどのような特徴を持つかについて事前検討を行った結果、市街地におけるレーダ衛星画像は、以下の特徴を持つことが分かった。

- ・ 水面は、水平なため反射波が少なく、黒画素となる。
- ・ 平らな建物の屋上や植物が多い公園は、反射波が少なく、黒画素となる。
- ・ 道路は、反射波少なく、黒画素となる。

これらの特徴より、本研究では、以下の方針で道路領域の抽出を行う。

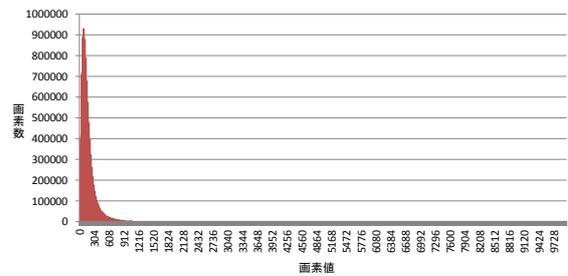


図-1 市街地におけるレーダ衛星画像の画素値と画素数

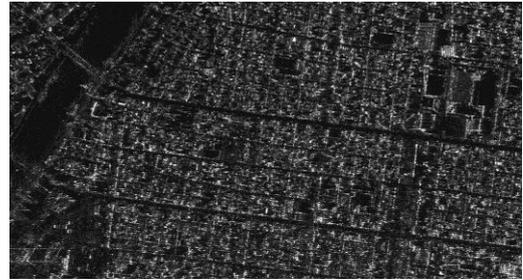


図-2 市街地における正規化後のレーダ衛星画像

1. レーダ衛星画像に正規化などの前処理を行い道路領域を強調した2値化画像を作成する
2. 黒画素で構成される直線を道路領域候補として抽出する
3. 河川、屋上や公園領域を抽出し、道路領域候補から削除する

## 3. システム概要

本研究では、レーダ衛星画像から道路地図を生成するシステムを開発する。本システムの概要を図-3に示す。

本システムでは、レーダ衛星画像を入力データとする。レーダ衛星画像の処理においては、地上分解能が精度に大きく影響する。本システムでは、高精度な道路抽出を目指すためスポットライトモードで撮影された地上分解能1mのレーダ衛星画像（16bit）を対象とする。出力データとしては、道路地図を出力する。また、本システムでは、表-1に示すような閾値をユーザが道路地図を生成する場所に依って設定することを可能とする。なお、本論文では、全て初期値を用いている。

本システムのシステムフローとしては、道路領域強調画像作成機能と道路領域抽出機能の2つの機能で構成される。道路領域強調画像作成機能では、レーダ衛星画像から道路領域が強調された2値化画像を生成する。道路領域抽出機能では、まず、レーダ衛星画像の特徴を用いて道路領域を抽出する。次に、道路抽出の際にノイズとなる川などの領域を抽出する。そして、抽出した道路領域から川などのノイズとなる領域を除去する。以上の機能により、レーダ衛星画像から道路地図を生成する。

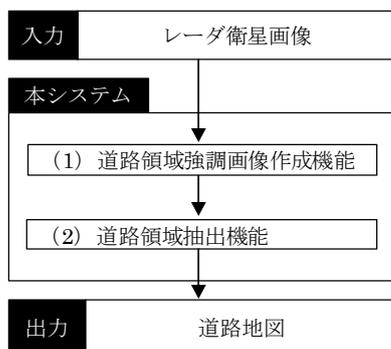


図-3 システムの概要図

表-1 設定閾値

閾値	内容	初期値
$T_{bc}$	レーダ衛星画像の中央部における2値化閾値	40
$T_{bUD}$	レーダ衛星画像の下部上部における2値化閾値	60
$T_w$	道路として抽出する領域の幅	51
$T_h$	道路として抽出する領域の高さ	5
$T_r$	領域の黒画素割合の閾値	0.8
$T_{wMin}$	削除するラベリングの幅の閾値	204
$T_{hMax}$	削除するラベリングの高さの閾値	60
$T_n$	ノイズ領域として抽出する領域の幅と高さ	300

#### 4. 道路領域強調画像作成機能

道路領域強調画像作成機能では、画像処理による道路地図の生成を可能とするためにレーダ衛星画像から道路領域が強調された2値化画像を作成する。本研究で対象とするレーダ衛星画像は、1画素にRGB値ではなく16bitの値を持つため、そのままでは画像処理による道路抽出が困難である。そこで、本機能では、16bitの値を0から255に正規化し、道路領域を強調するため2値化処理を行う。しかし、本研究で対象とするレーダ衛星画像は、スポットライトモードで撮影されているため中央部と下部上部でSN比が異なる。そのため、通常の2値化処理を行うと、画像の中央部と比べて下部上部のノイズが大きくなり道路領域の抽出精度が低下するという問題がある。そこで、本機能では、中央部から下部上部にかけて段階的に2値化を行うことで本問題を解決する。具体的には、レーダ衛星画像 $I_o$ に対して式(1)を適用することで正規化画像 $I_n$ を作成し、正規化画像に対して式(2)を適用することで黒画素が0、白画素が1となる2値化画像 $I_b$ を得る。

$$I_n(w, h) = \begin{cases} I_o(w, h) \cdot 0.255 & (I_o(w, h) < 1000) \\ 255 & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

$$I_b(w, h) = \begin{cases} 0 & (I_n(w, h) < T_{bUD} + \frac{T_{bc}}{H} \cdot \text{Abs}(h - \frac{H}{2})) \\ 1 & (otherwise) \end{cases} \quad (2)$$

$H$  : レーダ衛星画像の高さ

$\text{Abs}$  : 絶対値を返す関数

また、道路以外を誤って道路領域として抽出しないために、道路領域以外の黒画素を削除する必要がある。そのため、 $I_b$ に対して黒画素の収縮処理を行う。収縮処理の手法としては、注目画素の8近傍の画素に1画素でも黒画素が存在すれば注目画素を黒画素とし、黒画素が存在しない場合は白画素とする処理で行う。

#### 5. 道路領域抽出機能

道路領域抽出機能では、レーダ衛星画像の特徴を用いて道路領域を抽出する。

##### (1) 道路領域候補抽出処理

道路領域候補抽出処理では、道路領域強調画像作成機能で作成した画像から道路領域の候補を抽出する。具体的には、 $I_b$ を時計回りに0~179度まで1度ずつ回転した画像に対してそれぞれ以下の1~3の手順を実行する。こうして得られた180枚の画像をそれぞれ元の角度に戻し、重ねあわせた画像を道路領域候補画像 $I_c$ とする。

1. 画像を $T_w \times T_h$ の領域に分割する。分割数としては、 $\text{Trunc}(H / T_h) \cdot \text{Trunc}(W / T_w)$ 個となる。なお、 $W$ は、レーダ衛星画像の幅、 $\text{Trunc}$ は小数点を切り捨てる関数である。
2. 1の領域全てに対して、0の割合が $T_r$ 以上の場合、その領域全てを0とし、0の割合が $T_r$ 未満の場合、その領域全てを1とする処理を行う。
3. 2で作成した画像に対して値が0の画素でラベリングを行い、幅が $T_{wMin}$ 以下または高さが $T_{hMax}$ 以上のラベルを削除する。

##### (2) ノイズ領域除去処理

レーダ衛星画像から作成した2値化画像における河川、建物や公園は、道路領域と同様に黒画素で構成される。そのため、河川領域を道路領域として誤抽出する可能性がある。そこで、ノイズ領域除去処理では、道路領域候補抽出処理で抽出した領域から、河川、建物や公園といった道路以外のノイズ領域を除去する。具体的には、以下の手順でノイズ領域を除去した道路地図画像を作成する。

1.  $I_c$ を $T_n \times T_n$ の領域に分割する. 分割数としては,  $\text{Trunc}(H/T_n) \cdot \text{Trunc}(W/T_n)$ 個となる.
2. 1の領域全てに対して, 0の割合が $T_p$ 以上の場合, その領域全てを0とし, 0の割合が $T_p$ 未満の場合, その領域全てを1とする処理を行う.
3.  $I_b$ から2で作成したノイズ領域画像を除去した画像に対して再度道路領域候補抽出処理を行い, 道路地図とする.



図4 道路領域強調画像作成機能で作成した2値化画像

## 6. 実証実験

本実験では, 東京の江東区周辺のレーダ衛星画像を入力データとして処理を行い, 道路地図が適切に生成できるか検証する. 道路領域強調画像作成機能で作成した2値化画像を図-4に示し, 道路領域抽出機能で作成した道路地図を図-5に示す. また, レーダ衛星画像と同じ場所におけるGoogle マップの道路地図を図-6に示す.

図-4と図-6より, 道路部分の黒画素が強調されており, 道路と判読可能となっていることが分かる. そして, 図-5と図-6より, 道路以外の河川, 建物や公園といったノイズ領域が除去された道路地図が作成できていることが分かる.

本実験では, 道路地図の精度を検証するために, 同じ場所におけるGoogle マップの道路地図と重ね合わせを行い, 一致率を確認した. Google マップとの重ねあわせの結果, 約70%の一致率となり, 既存の道路地図と比較しても精度良く道路地図が作成できていることが分かる.

## 7. おわりに

本研究では, 影や気象などの撮影条件に依存しないレーダ衛星画像を用いることで, 従来の航空写真や光学衛星画像における問題点を解決した道路地図の生成を実現した. そして, 本研究で開発した道路地図生成システムを用いて実証実験を行った結果, 市街地における道路地図を既存の道路地図と比較しても高い精度で生成できることを確認し, 本システムが有用であることを証明した.

本研究では, 市街地における幅員が5m以上の道路を対象に道路地図を生成したが, 閾値を適切に調整することで, 郊外や幅員が5m未満の道路にも対応可能である. しかし, 対象の地域や道路によって閾値を決定する必要があるため, 閾値の簡略化や自動決定が望まれる. また, 一部道路領域がノイズ領域と判定される課題や, 本来ノイズ領域と判定されるべき箇所が道路領域判定されるといった課題がある. これらの課題を解決する手法として, 他の情報との連携が考えられる. 特に, 航空写真や光学



図5 道路領域抽出機能で作成した道路地図

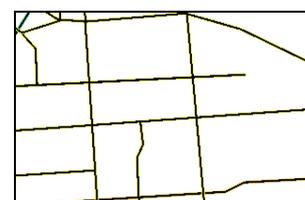


図6 Google マップの道路地図

衛星画像などの光学画像は, 色情報を保持しているため, 閾値の自動決定やノイズ領域の抽出に利用できると考えている. そのため, 今後は, 光学画像とレーダ衛星画像を併用し, それぞれの画像の特徴を活かすと同時に欠点を補った, より高精度な道路地図生成の実現を目指す.

## 参考文献

- 1) 上瀧剛, 内村圭一, 胡振程, 脇阪信治, 有田秀昶: 交差点モデルを用いたカラーオルソ航空画像からの道路網構成, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J88-A, No.2, pp.164-174, 2005.
- 2) 上瀧剛, 内村圭一, 脇阪信治: 枝マップを用いた航空画像からの交差点抽出の計算量及びメモリ削減, 電子情報通信学会論文誌, 電子情報通信学会, Vol.J91-A, No.1, pp.21-32, 2008.
- 3) Yun Lili, 内村圭一, 胡振程: 自己組織化マップに基づく IKONOS 画像から道路ネットワーク抽出, 情報処理学会研究報告, 情報処理学会, Vol.2006, No.67, pp.15-22, 2006.
- 4) Sebastien, C. and Saito, H: Automatic Road Area Extraction from Printed Maps Based on Linear Feature Detection, IEICE transactions on information and systems, IEICE, Vol.95, No.7, pp.1758-1765, 2012.
- 5) 上瀧剛, 内村圭一, 胡振程: 影を含む航空画像からの道路抽出, 電子情報通信学会技術研究報告, 電子情報通信学会, Vol.105, No.166, pp.17-22, 2005.