

ウェーブレット変換に基づくベクトル型地図データへの電子透かし手法

北海道大学大学院工学研究科 ○北村伊久裕 金井理 岸浪建史

要旨

地理情報システム(GIS)で扱われるベクトル型地図データは作成に多大な労力を必要とし、その著作権保護の技術が求められている。そこで著作権保護を目的とした、ウェーブレット変換に基づくベクトル型地図データへの電子透かし手法を提案し、その透かしの耐性、埋め込みに伴う品質劣化、埋め込み可能データ容量について理論的・実験的に評価する。

1. はじめに

地理情報システム(GIS)で扱われる住宅地図等のベクトル型地図データは、近年利用頻度が高まっている。この地図データは、初期作成や更新に多大な費用がかかる一方で、多数の利用者にデジタル形式で配布されることが多く、不当な複製や再配布が容易であるといった問題を持つ。この問題を解決するため、本研究ではベクトル型地図データに対する電子透かし手法を新たに提案する。電子透かしとは、人間に知覚されないように元々のデジタル情報を微妙に変化させ、著作権情報等を埋め込み、必要に応じて抽出する技術のことである。これまで画像、音声、動画等に対する電子透かし技術が提案されている[1]。しかし、ベクトル型地図データは、画像や音声データとは性質が著しく異なり、これらの手法そのままでは適用できない。一方、ベクトル型地図データに対する電子透かし手法もいくつか提案されてきてはいるが[2]~[4]、それらはアルゴリズムの提案にとどまり、透かし手法の特性に対する十分な評価を行っていない。

そこで本研究では、ウェーブレット変換に基づくベクトル型地図データへの電子透かし埋め込み・抽出アルゴリズムを新たに提案すると共に、実用的な地図データを対象とし、透かしの耐性、埋め込みに伴う品質劣化、埋め込み可能データ容量といった特性を実験的に評価することを目的とする。

2. ベクトル型地図データと電子透かし手法への要求条件

2.1 ベクトル型地図データ

ベクトル型地図データとは、道路や建物形状をポリゴンやポリラインで近似的に表現したデータである。ポリゴンやポリラインの座標値は整数で記述されている。本研究では、ベクトル型地図データ V を $V = \langle c, G, L, P, f_{CG}, f_{GP} \rangle$ と表す。ここで、 c は分割された地図 1 枚全体に相当するセル、 $G = \{g_1, g_2, \dots\}$ は住宅などのポリゴン集合、 L は道路などのポリライン集合、 $P = \{(x, y) | x, y \in \mathbb{N}\}$ は頂点座標値集合、 $f_{CG}(c) = G$ はセル内に含まれるポリゴンを参照する関数、 $f_{GP}: G \cup L \rightarrow 2^P$ ($2^P: P$ のべき集合) はポリゴン及びポリラインの頂点座標値を与える属性である。

2.2 ベクトル型地図データに対する電子透かし手法への要求条件

ベクトル型地図データへの電子透かし手法に要求される条件として、①第三者による電子透かしへの攻撃に対して耐性を持つこと、②透かしの耐性向上のため、透かしはコンテンツ自身に埋め込み、かつ全域に埋め込むこと、③利用目的に応じ、著作権情報等の必要な量のデータを透かしとして埋め込むことができること、④透かしを埋め込んでも利用目的における許容範囲内にコンテンツの品質を保持すること、が挙げられる。

3. 電子透かし埋め込み・抽出アルゴリズム

3.1 アルゴリズムの概要

提案する電子透かし手法は、建物形状を表すポリゴンの頂点座標値を変更することで、透かしの埋め込む方式をとる。また、これはセル単位で実行される。本手法の概要を図1に示す。ここでオリジナル地図データを V 、透かし入りの地図データを \tilde{V} 、透かしが入っている疑いがある地図データを \hat{V} とする。

3.2 埋め込みアルゴリズム

1) ラスタデータへの変換

V を図2のようにラスタデータ $F^{(0)}$ へと変換する。 $F^{(0)} = \{f^{(0)}(i, j) | f^{(0)} \in \mathbf{R}, i \in [1, N], j \in [1, N]\}$ とした場合 ($f^{(0)}(i, j)$: ピクセル値, N : ラスタサイズ), V から $F^{(0)}$ への変換は式(1)により行う。

$$f^{(0)}(i, j) = \sum_{\gamma(g_k) \in D_{xy}(i, j)} s(g_k) \quad (1)$$

ここで、 $g_k \in G$ はポリゴン、 $\gamma(g_k)$ は g_k の重心位置、 $s(g_k)$ は g_k の面積、 $D_{xy}(i, j)$ はセルを $N \times N$ の領域に分割した時、左下の領域から x, y 方向にそれぞれ i, j 番目の領域である。即ち、 $D_{xy}(i, j)$

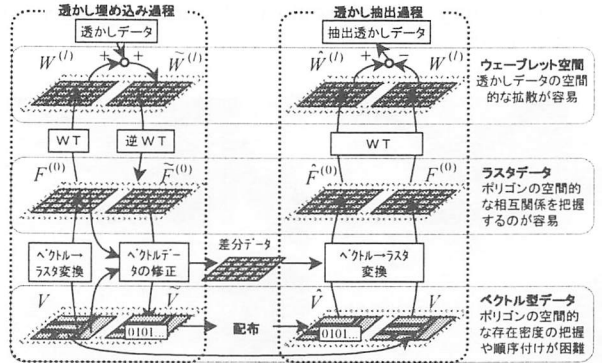


図1: 本手法の過程と全体構造

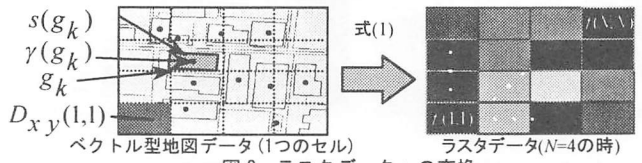


図2: ラスタデータへの変換

の領域に重心が含まれるポリゴンの面積の総和をピクセル値 $f^{(0)}(i, j)$ とする。式(1)を用いたラスタデータへの変換により、ベクトル型地図データのままであることは困難であったポリゴンの空間的な存在密度の把握が容易になる。

2) 2次元 Haar ウェーブレット変換、及び逆変換

$F^{(0)}$ を 2次元 Haar ウェーブレット変換し、ウェーブレット係数 $W^{(l)}$ を得る。分解レベル $l (= 1, 2, \dots, L)$ でのスケーリング係数を $F^{(l)} = \{f^{(l)}(i, j) | i, j \in [1, 2^{l-1}]\}$ 、ウェーブレット係数を $W^{(l)} = \{w^{(l)}(i, j) | i, j \in [1, 2^{l-1}]\}$ とした場合、式(2)により 2次元 Haar ウェーブレット変換が行われる。

$$\begin{bmatrix} f^{(l+1)}(i, j) \\ w_{Ll}^{(l+1)}(i, j) \\ w_{Ul}^{(l+1)}(i, j) \\ w_{Rl}^{(l+1)}(i, j) \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f^{(l)}(2i, 2j) \\ f^{(l)}(2i, 2j+1) \\ f^{(l)}(2i+1, 2j) \\ f^{(l)}(2i+1, 2j+1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

一方、逆変換は式(3)により行う。式(3)は透かし埋め込み後の係数 $\tilde{W}^{(l)}$ から、透かし入りラスタデータ $\tilde{F}^{(0)}$ を得るときに用いる。

$$\begin{bmatrix} \tilde{f}^{(l-1)}(2i, 2j) \\ \tilde{f}^{(l-1)}(2i, 2j+1) \\ \tilde{f}^{(l-1)}(2i+1, 2j) \\ \tilde{f}^{(l-1)}(2i+1, 2j+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{f}^{(l)}(i, j) \\ \tilde{w}_{Ll}^{(l)}(i, j) \\ \tilde{w}_{Ul}^{(l)}(i, j) \\ \tilde{w}_{Rl}^{(l)}(i, j) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)により $W^{(l)}$ の変更を行うと、最終的に $F^{(0)}$ 全体が変更することが判る。つまりウェーブレット係数を透かしデータで変更することで、透かしの空間的な拡散が可能であることが判る。

3) 透かし埋め込み処理

$W^{(l)}$ に透かしの埋め込みをすることで $\tilde{W}^{(l)}$ を作成する。この埋め込み処理は透かしデータを $B = \{b_m | b_m \in \{0, 1\}, m \in [1, N_w]\}$ 、 N_w をそのビット長とすると、式(4)に従って行われる。

$$\tilde{w}^{(l)}(i, j) = w^{(l)}(i, j) - \beta b_m \quad (4)$$

ここで、 β は埋め込み強度 (> 0) である。

4) ラスタデータに基づくベクトル型地図データの修正

ラスタデータに基づいて V を修正し、 \hat{V} を得る。図3に示すようにベクトル型地図データの修正を行う。ラスタデータの変更分 $\delta f^{(0)}(i, j) (= \tilde{f}^{(0)}(i, j) - f^{(0)}(i, j))$ に基づき、 g_k を重心周りに $(1 + \alpha(i, j))$ 倍拡大する。この時、 $D_{xy}(i, j)$ の面積より小さく、 $\gamma(g_k) \in D_{xy}(i, j)$ を満たすポリゴンの中で最大面積のものを \hat{g}_k

大する. ここで $\alpha(i, j)$ は式(5)により決定される.

$$\alpha(i, j) = -1 + \sqrt{1 + \delta f^{(0)}(i, j) / s(g_k)} \quad (5)$$

但し, g_k の頂点座標は整数値しか許されないため, 小数点以下の切捨てにより, 面積変更分が $\delta f^{(0)}(i, j)$ と完全に一致しなくなる. そこで, 配布する地図データ \tilde{V} から透かしを正確に抽出するため, 整数化により失われた分を差分データ $E = \{e(i, j) | e(i, j) = \tilde{f}^{(0)}(i, j) - \tilde{f}^{(1)}(i, j)\}$ ($\tilde{f}^{(0)}(i, j)$ は \tilde{V} から求めたラスタデータ)として著者が保存しておく. また, $\gamma(g_k) \in D_{x,y}(i, j)$ を満たすポリゴンがない領域においても $\delta f(i, j)$ を反映させることができなため, この分も E に保存しておく.

この透かし埋め込み処理は, ウェーブレット係数を減少させるため, 近傍のピクセル値の差分を小さくする. その結果, 近傍に対し大きいポリゴンは小さく, 小さいポリゴンは大きくなる傾向となる. 従って, 透かし埋め込みでポリゴン同士が交差するといった状況が起こりにくくなる利点を持つ. また, ポリゴンを x, y 方向に一樣に拡大・縮小するため, 第三者が形状の変化に気づき難く, 地図の品質を保つことができる.

3.3 透かし抽出アルゴリズム

透かし抽出の手順を図4に示す. まず, 無断複製の疑いのある地図データ \hat{V} を用意し, 式(1)によりそのラスタデータを求め, これに差分データ E を加え $\hat{F}^{(0)}$ を得る. $\hat{F}^{(0)}$ から式(2)によりウェーブレット係数 $\hat{W}^{(0)}$ を求めておく. 一方, V から式(1), 式(2)より $W^{(0)}$ を求めておく. その後, 式(6)に従い透かしを抽出する.

$$\begin{cases} \hat{w}^{(0)}(i, j) - w^{(0)}(i, j) \geq -\beta/2 \Rightarrow b'_m = 0 \\ \hat{w}^{(0)}(i, j) - w^{(0)}(i, j) < -\beta/2 \Rightarrow b'_m = 1 \end{cases} \quad (6)$$

ここで, 抽出した透かしビットを $B' = \{b'_m | b'_m \in \{0, 1\}, m \in [1, N'_w]\}$, N'_w をそのビット長とする.

4. 透かしアルゴリズムの評価

提案した透かしアルゴリズムの評価実験として, ①透かし埋め込み容量の評価, ②透かし埋め込み強度 β の違いによる V と \tilde{V} 間の誤差の評価, ③ \tilde{V} の表示品質の評価, ④第三者による透かしへの攻撃を想定した, 頂点座標へのランダムノイズ重畳に対する透かし耐性の評価, を行った.

透かし埋め込み対象として, ゼンリン社製の住宅地図(東京都港区(浜松町付近), 750 m × 500 m, 1/2500)を用いた.

4.1 透かし埋め込み容量

透かし埋め込み容量 N_w は式(7)によって算出できる.

$$N_w = N^2(1 - 1/4^l) \quad (7)$$

ここで N はラスタ分割数, l はウェーブレット変換の分解レベルである. 式(7)より, 適切な N, l を選択することで必要な量の透かし容量を埋め込めることがわかる.

4.2 透かし埋め込み強度の違いによる誤差

透かし埋め込み強度 β の違いにより発生する誤差を, ポリゴン頂点の最大移動距離と平均移動距離により評価した結果を図5に示す. この結果より, β が大きくなると誤差が増えることが判る. 一方, 強度が小さすぎると頂点が全く動かない場合も考えられる. そのため β を適切に選択して埋め込む必要があることが判る.

4.3 透かし埋め込み強度の違いによる表示品質

地図データに対し, $N=32, l=3$ で透かしを埋め込み, その 100 m × 75 m の部分について拡大表示したものを図6に示す. これより, 全ての領域において透かしが埋め込める $\beta=200$ という設定でも, 表示上の品質劣化は殆ど見られないことが判る.

4.4 ランダムノイズ重畳に対する透かしの耐性

地図データに対し, ① $N=32, l=3, \beta=100$ または 200 とし, 透かしを埋め込み \tilde{V} を作る, ② 0 から攪乱強度 d までの大きさのランダムノイズを \tilde{V} 上の全ポリゴン頂点座標値へ重畳し, これを \hat{V} とする. ③ \hat{V} と \tilde{V} から抽出した透かし中の一致ビットの割合を求める. ④ランダムに生成した 10 通りの透かしに対し, 同様に一致ビットの割合を求め, これらの平均値を評価する. 結果を図7に示す. またこの時, N_w は 1008 ビットである. また, 図8は地図データに対し, $N=32, l=3, \beta=200$ で透かしを埋め込

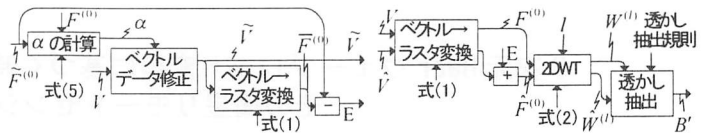


図3: 地図データ修正の流れ

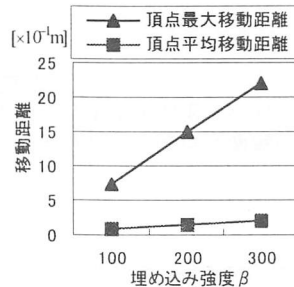


図5: 透かし埋め込みによる地図の誤差

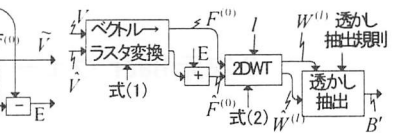


図4: 透かし抽出アルゴリズム

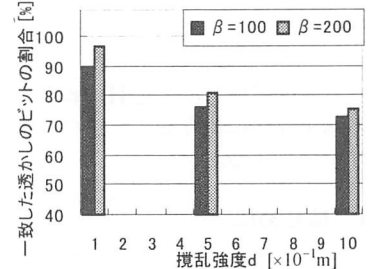


図7: 攪乱強度の違いによる透かしの耐性

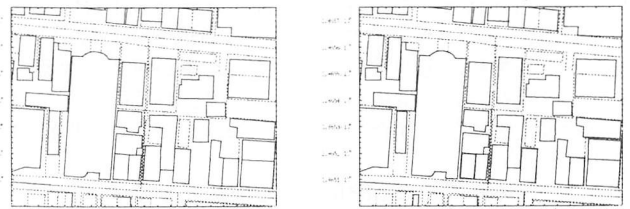


図6: オリジナル地図(左)と透かし入りの地図(右)

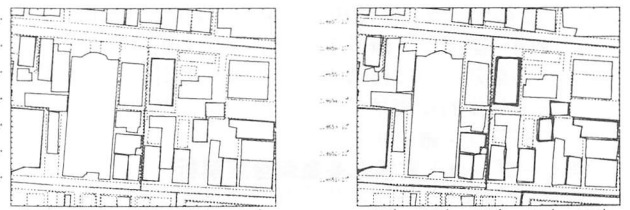


図8: ランダムノイズ重畳時の地図, 及び透かしの耐性

だ地図に, 攪乱強度 d のランダムノイズを加えたもの(100 m × 75 m の部分)である. これらの結果より, 第三者がコンテンツの品質劣化に透かしのみを除去することが不可能であり, 透かしが十分な耐性を持つことがわかる.

5. まとめ

ウェーブレット変換に基づくベクトル型地図データへの電子透かし埋め込み・抽出アルゴリズムを提案した. また, 評価実験により, 地図の品質を保ちつつ, 著作権保護等に必要なた透かしデータ量を埋め込むことが可能であり, さらにランダムノイズに対しても十分な透かしの耐性を持つことが確認できた.

今後の課題として, ランダムノイズ以外の攪乱に対する耐性評価や, 多様な地域の地図を対象とした評価が必要である.

謝辞

本研究は, (財)情報処理振興事業協会 先端的情報化推進基盤整備事業の補助を受けた. 又, 地図データは(株)ゼンリンより, 地図表示プログラムは(株)日本 IBM より御提供を受けた.

参考文献

- [1] 松井: 電子透かしの基礎, 森北出版(1998).
- [2] V.Solachidis et al: Watermarking Polygonal Lines Using Fourier Descriptors, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2000), Istanbul, Turkey, vol. IV, pp 1955-1958, 5-9 June 2000.
- [3] 坂本他: 地図データへの電子透かしの一手法, SCIS2000 予稿集, D53(2000).
- [4] 栗原他: ベクトル表記されたデータに対する電子透かし, 情報処理 Vol. 2000, No. 36.