

北村 伊久裕, 金井 理, 岸浪 建史

北海道大学大学院工学研究科

## 1. はじめに

地理情報システム(GIS)で用いられる地図データや2次元CADデータのようなベクトル型データは、近年利用頻度が高まっている。これらのデータは、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ち、その著作権保護が望まれる。この問題の解決法として、電子透かし手法が挙げられる。これまでに静止画像や動画や音声等に対する電子透かし手法が提案されているが、ベクトル型データは、ポリラインのような多数の幾何学的なプリミティブで構成される特徴を持ち、画像や音声データとは性質が著しく異なるため、これらの手法をそのまま適用できない。これまで、ベクトル型データに対する電子透かし手法は僅かしか報告されていない。これらの幾つかは実領域で透かしを埋め込むものであり、透かしへの攻撃に対してロバストでない[1][2]。また、一つのポリラインに対し周波数領域で透かしを埋め込む手法も提案されているが[3]、地図データや2次元CADデータのような多数のプリミティブから成るベクトル型データに対して透かしを埋め込む方法は議論されていない。そこで本研究では、多数のプリミティブからなるベクトル型データに対し、離散フーリエ変換に基づいた周波数領域でのロバストな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. 電子透かし埋め込み・抽出アルゴリズム概要

透かしを埋め込むベクトル型データを $V$ 、透かしが埋め込まれたベクトル型データを $V'$ 、透かしを抽出したいベクトル型データを $\tilde{V}$ とする。図1のように、透かしデータの埋め込みは、① プリミティブの順序付け、② DFTによる周波数領域での透かし埋め込み、③ ②に従ったデータ $V$ 内のプリミティブの頂点移動 という過程で行われる。一方、抽出は、①  $\tilde{V}$ と $V$ の頂点間の対応付け、② 周波数領域での透かし抽出 という過程で行われる。以下に詳細を述べる。

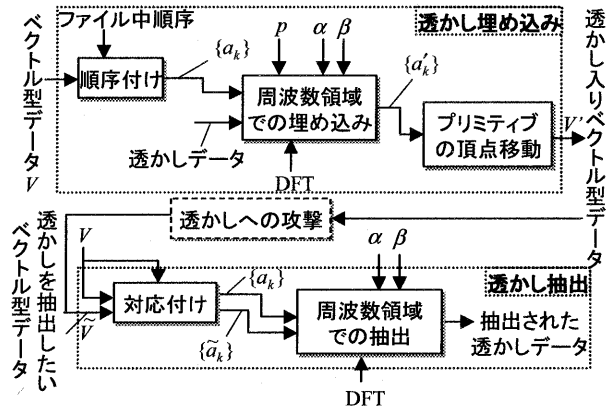


図1: 透かしの埋め込み・抽出アルゴリズム

## 3. 透かし埋め込みアルゴリズム

まず、透かしを埋め込むプリミティブ (ポリライン) をファイル中での出現順序で順序付け、さらに、プリミティブを構成する頂点も、プリミティブ内での出現順序で順序付ける。得られた頂点列 $\{v_k\}$  ( $v_k = (x_k, y_k) \in V$ )から複素数列 $\{a_k\}$ を式(1)に従い作成する。ここで、 $N$ を頂点数とすると、 $k=0,1,\dots,N-1$ である。

$$a_k = x_k + i y_k \quad (1)$$

次に、この複素数列 $\{a_k\}$ に対し、式(2)の離散フーリエ変換(DFT)を適用し、そのフーリエ係数 $A_l$ を求める。

$$A_l = \sum_{k=0}^{N-1} a_k (e^{-2\pi i l N})^k \quad (2)$$

ここで、 $l=0,1,\dots,N-1$ である。さらに式(3)に従い、 $[\alpha N] \leq l \leq [\beta N]$ の範囲にあるフーリエ係数 $A_l$ の絶対値を、透かしデータのビット列 $\{b_m\}$  ( $m=1,2,\dots,N_b$ )に従い変更する。

$$|A'_l| = |A_l| + p(-1)^{b_m} \quad (3)$$

ここで、 $A'_l$ は変更後のフーリエ係数、 $|A_l|$ はフーリエ係数 $A_l$ の絶対値、 $p$ は埋め込み強度、 $\alpha, \beta$ は埋め込み周波数領域を決めるファクター、 $N_b$ は透かしデータのビット数である。さらに、変更されたフーリエ係数 $A'_l$ を逆変換することで、透かしが埋め込まれた頂点列が求められる。最後に、この頂点列に従い、プリミティブの頂点座標値を微小に移動させ、透かしが埋め込まれたベクトル型データ $V'$ を得る。またこの時、埋め込み可能なビット数は $[\beta N] - [\alpha N]$ で与えられる。

#### 4. 透かし抽出アルゴリズム

まず、透かしを抽出したいデータ  $\tilde{V}$  とその元データ  $V$  を用意する。この時、 $\tilde{V}$  は第三者による透かしへの攻撃を受けているかもしれない。元データ  $V$  内の頂点に対して、透かしを抽出したいデータ  $\tilde{V}$  内の最も近い頂点を対応付けていくことで、元地図の頂点列  $\{v_k\}$  とそれに対応した透かし入りの頂点列  $\{\tilde{v}_k\}$  ( $\tilde{v}_k = (\tilde{x}_k, \tilde{y}_k) \in \tilde{V}$ ) の対を得る。そして式(1)に従い、 $\{v_k\}$  と  $\{\tilde{v}_k\}$  からそれぞれ複素数列  $\{a_k\}$ ,  $\{\tilde{a}_k\}$  を作成する。次に、 $\{a_k\}$  と  $\{\tilde{a}_k\}$  に対し、式(2)に従い DFT を適用し、これらのフーリエ係数  $A_l$ ,  $\tilde{A}_l$  を求め、 $[\alpha N] \leq l \leq [\beta N]$  の範囲で、式(4)に従い、透かしデータのビット列  $\{\tilde{b}_m\}$  を抽出する。

$$\tilde{b}_m = \begin{cases} 0 & (|\tilde{A}_l| - |A_l| \geq 0) \\ 1 & (|\tilde{A}_l| - |A_l| < 0) \end{cases} \quad (4)$$

またこの時、埋め込み時と同じ  $\alpha$ ,  $\beta$  を用いる。

#### 5. 評価実験

ベクトル型住宅地図(ゼンリン社製)内のポリライン( $N=7401$ )に対し、埋め込み強度  $p=100, 300, 500, 700$ ,  $\alpha=0.1$ ,  $\beta=0.3$  または  $\alpha=0.7$ ,  $\beta=0.9$  とし、埋め込み可能なビット数 (1480 ビット) の透かしデータを埋め込み、抽出を行った(実験 1)。次に、実験 1 で  $p=300, 500$  として透かしを埋め込んだデータに対し、透かしへの攻撃として、頂点座標値にランダムノイズを重畳し、そのデータから透かしを抽出した(実験 2)。なお、透かしデータはランダムな 5 種類の文字列を用いてその平均値で評価した。この結果、実験 1 において、抽出時の頂点の対応付けが正しく行われていないため、埋め込み強度  $p$  によっては埋め込んだはずの透かしと抽出した透かしが完全に一致しない場合があった(図 2-a)。また、埋め込み強度  $p$  を増やすと頂点移動量が増加し、データの品質はより劣化した(図 2-b)。これらより、適切な埋め込み強度  $p$  を選択する必要がある事が判った。また実験 2 より、埋め込み強度  $p$  を増やすと、ランダムノイズ重畳に対する透かしの耐性が増えること、埋め込む周波数領域を変えても耐性はほとんど変わらないことを確認した(図 3)。これらの実験から、本手法により透かしを埋め込んでも、図 4 のように地図の品質はほとんど劣化せず、埋め込む透かしの容量は、漢字 90 文字程度で著作権情報等のデータを埋め込むには十分であることを確認した。さらに、頂点座標値に対するランダムノイズ重畳といった透かしに対する攻撃に対しても、手法が十分にロバストであることが確認できた。

#### 6. おわりに

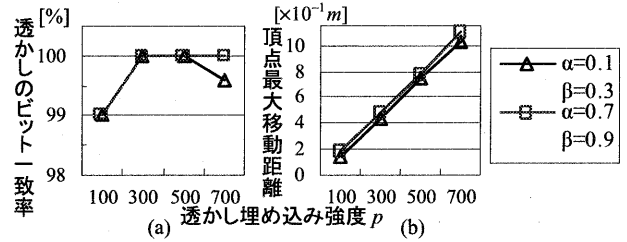


図 2:  $p$  に対するビット一致率(a)と頂点移動距離(b)の関係

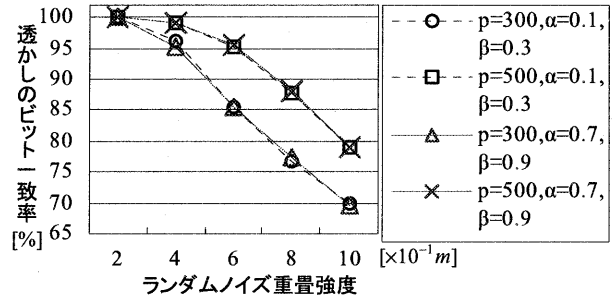


図 3: ランダムノイズ重畳に対するビット一致率

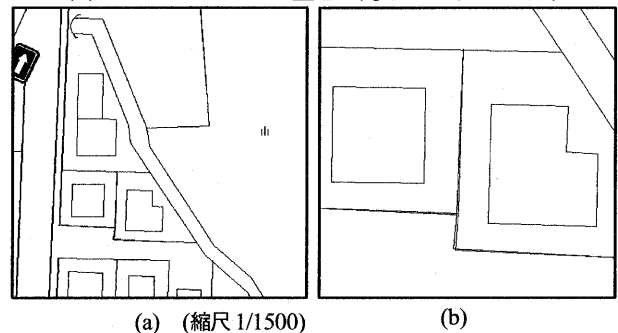


図 4: 透かしを埋め込んだ地図 ( $p=300, \alpha=0.1, \beta=0.3$ ) と元地図を重ね合わせた図, (b)は(a)を部分的に拡大した図

本論文にて、離散フーリエ変換に基づくベクトル型データへの電子透かし手法を提案した。また、評価実験により、本手法は著作権を保護する手段として有効であることが確認できた。今後の課題として、ランダムノイズ重畳以外の攻撃に対する透かしの耐性評価や、アフィン変換された透かし入りのデータの、元データに対する位置・姿勢の補正手法が挙げられる。

#### 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] 栗原誠他 (2000) ベクトル表記されたデータに対する電子透かし, 「情報処研報」, Vol.2000, No.36.
- [2] 坂本他 (2000) 地図データへの電子透かしの一手法, 「SCIS2000 予稿集」, D53.
- [3] Solachidis, V., Nikolaidis, N., Pitas, I. (2000) Watermarking Polygonal Lines Using Fourier Descriptors, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2000), Istanbul, Turkey, IV: 1955-1958.
- [4] 北村他 (2000) 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, 「地理情報システム学会講演論文集」, Vol.9, pp417-421.