最低頂点数を保証した領域分割を用いた ベクトル型地図データへの電子透かし埋め込み手法

植田　寛郎 [1], 大渕　竜太郎 [1], 遠藤　州 [2]
k7026@kki.yamanashi.ac.jp, ohbuchi@acm.org, ENDOSHU@jp.ibm.com
[1] 山梨大学工学部コンピュータ･メディア工学科, 山梨県甲府市武田 4-3-11
[2] 日本アイ･ビー･エム株式会社 GIS 事業推進部, 東京都中央区日本橋箱崎町 19-21

要旨

近年地理情報システムの利用が拡大し, その中核となるデジタル地図データの著作権保護の重要性が増してきている. 本論文では, ベクトル型地図データに対して, デジタルデータの著作権保護技術の 1 つである電子透かしを適用することを検討する. ベクトル型地図は, 建物の外郭, 等高線, 道路などの地物を 2 次元空間の頂点とその集合である折れ線や多角形で表現する地図である. 本論文の電子透かし手法は, 与えられた矩形の地図データをその頂点数密度を考慮しつつ適応的に多数の小領域に分割し, その各々の小領域に含まれる頂点を移動してその座標の平均値を変化させて透かしを埋め込む. 本手法の電子透かしは頂点座標値への乱数値の重畳, 頂点の追加や削除, 頂点の平行移動, その他の妨害に対して耐性を持つ.

Digital Watermarking of Vectorized Geographical Maps using Vertex Displacement with Adaptive Area Subdivision

Hiro Ueda[1], Ryutarou Ohbuchi[1], and Shu Endo[2]
K7026@kki.yamanashi.ac.jp, ohbuch@acm.org, ENDOSHU@jp.ibm.com
[1]Computer Science Department, Yamanashi University, 4-3-11 Kofu, Yamanashi, Japan.
[2]IBM Japan, 19-21 Hakosaki-cho, Nihonbashi, Chuou-ku, Tokyo, Japan.

Abstract

Widespread use of geographical information systems prompted the investigations into protection of digital maps. This paper proposes a method to protect copyrights of vectorized digital map using digital watermarking. Vectorized map represents geographical objects, e.g., buildings, iso-contour line, roads, using vertices (in two-dimensional space), poly-lines, and polygons. Our method adaptively subdivides, based on density of vertices, a rectangular map to be watermarked into a collection of rectangular sub-areas. To embed a watermark message bit, coordinates of a set of vertices in a rectangle are shifted according to the bit. Watermarks produced by this method are robust against random noise added to the vertex coordinates, addition and removal of vertices, translation of vertices, and other interferences.

1.　はじめに

近年，地理情報システム（GIS : Geographic Information Systems）に注目が集まっている. 地理情報システムとは, 地理的位置を手がかりに、位置に結びついた情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理･加工し, 視覚的に表示することにより, 高度な分析や迅速な判断を可能にするシステムである. 行政地図情報システムやカーナビゲーションシステムなどがその一例である.

地理情報システムは地図データの存在が前提となる. そのため地理情報システムで扱われる住宅地図等のベクトル型地図データの利用頻度が近年高まっている. ベクトル型地図データとは建物の輪郭, 道路, 等高線と言った地物を, 頂点及びその集合からなる多角形や折れ線などの幾何形状要素の組み合わせとして表したもので

ある.

ベクトル型地図データは，初期作成や更新などに自動化が困難な部分が多いため，それらを行う際に多くの労力や費用を必要とする．反面，ベクトル型地図データはデジタルデータという性質上，不正なコピーや再配布が容易にできるという側面を持つ．このような著作権の侵害が行われると，地図データという公共性の高い情報の公正な流通が阻害されかねない．このことから著作権の保護が大切である．

デジタルデータの著作権保護技術の一つに電子透かしが存在する．電子透かしとは，元となるデータに対し微小な変化を加え，著作権情報等を埋め込み，必要に応じて埋め込んだ情報を抽出する技術のことである．これまで画像，音声，動画などに対する電子透かし技術が提案されている[松井98, Katzenbeisser00, Johnson00]．しかし，ベクトル型地図データに対する電子透かし手法は，筆者の知る限り僅かしか提案されていない[坂本99, 北村00, 遠藤01].

ベクトル型地図データに対する電子透かし手法は主に頂点移動によるものと，頂点挿入によるものである.

頂点移動による電子透かし手法としては，頂点単体を直接移動して透かしを埋め込む手法[坂本 99, 遠藤 01]，領域分割をほどこしその小領域に含まれる頂点群を移動して透かしを埋め込む手法 [大渕 00, 遠藤 01] がある．また，変換領域の手法として，地図を 2 次元格子状に領域分割した後に各領域に含まれる多角形の面積の平均を数値としてとらえ，その 2 次元の数値配列をウエーブレット変換した領域で透かしを埋め込む手法 [北村 00, 遠藤 01] も存在する.

頂点間の接続性を変更する手法としては，多角形や折れ線といった地物に頂点を挿入する手法 [栗原 00, 遠藤 01] が存在する.

本研究の手法は先行研究で開発した手法[大渕 00]を改良したものである．先行研究の手法では，地図を均一の大きさの小領域に分割し，それぞれの小領域に含まれる頂点の集合の座標値を変更し，透かしを埋め込む．多数の頂点座標の平均値を変更することで，ランダムノイズ重畳や頂点の間引きなどに対する耐性を持たせた．しかし，地物の密度に偏りの有る地図を埋め込み対象とすると，小領域当たりの頂点数にばらつきが出，地図全体に埋め込める情報量が制限されてしまう問題点があった．本論文では，頂点数の密度に適応的に領域分割を行うことで広い範囲の地図において埋め込み情報量を確保することのできる手法を提案し，その透かしの埋め込み情報量や頑強性について実験的に評価を行った結果を報告する.

2. 頂点移動による電子透かし

ベクトル型地図データに対する本論文の電子透かし手法は，セル(全国を均等な矩形に分割した地図の 1 枚に相当)を幾つかの矩形に分割し，それぞれの矩形に含まれる地物の頂点座標値(整数値)の平均値を変更することで透かしを埋め込む．それぞれの矩形内にある多数の頂点の座標値を平均することで，頂点座標値への乱数値の重畳，頂点座標の間引きや追加，その他の妨害に対して耐性を持たせることができる．ただし，変更した座標値が矩形外となるような頂点は座標値を変更しない．一定数以上の頂点座標値を変更できない場合，その矩形を透かしの埋め込みに使用しない.

先行研究では，我々は，地図 1 枚（1 セル）を均等な形の矩形に分割した[大渕 00, 遠藤 01]．しかし前述のように，この方法では，地物の偏りの大きい地図を対象とした場合に各矩形に含まれる頂点数のばらつきが大きくなる．矩形内の頂点数が規定値を下回るとその矩形は埋め込みに使用できず，結果的に地図に埋め込める情報量が減ってしまった．そこで，我々は，頂点数の分布に適応的に領域分割を行うことでこの欠点を取り除くことを考えた.

次に，我々は，4 分木を用い，領域内の最低頂点数を保証して領域分割を行うことを試みた．しかし，この手法を実装して実験したところ，均等分割に比較しても透かしの埋め込みに使用できる矩形数が減少してしまった．頂点密度の局所的な偏りに 4 分木だけでは対応しきれていないためであった．この問題を解決するために考案したのが，次節で述べる，本論文で新たに提案する 4 分木と適応的領域再統合を組み合わせた手法である.

2.1 本論文の領域分割手法

本研究では，最低頂点数を保証した 4 分木を改良し最低頂点数未満の矩形を付近の矩形と適応的に統合することにより分割後の局所性を考慮した分割手法を考案した．

この手法は 4 分木による領域分割を元にしている．領域の 4 分割を試み，分割後の全ての矩形内に含まれる頂点数 n が規定値以上であった場合はその分割を受け入れる．しかし，分割した 4 つの矩形のうち 1 つでも最低頂点数 m 以下となる矩形が存在する場合には，その矩形を，隣接する矩形と統合し統合後の矩形の頂点数が m を超えるようにする．もし 2 つ以上の隣接する矩形が統合の候補になりうる場合，より頂点数が少ない隣接矩形と統合する．この手続きを再帰的に繰り返すことで領域の分割が行われる．本論文ではこの分割手法を適応統合法と呼ぶ．

図 1 に上記 3 種類の領域分割を同一の地図データに行ったときの比較図を示す．

2.2 透かしの埋め込み

本論文では，矩形に含まれる地物(複数)をなす頂点の集合を対象とし，その座標値の平均を変更することで透かしを埋め込む．

埋め込みビット列の $j\,(j=1,2,\ldots,n)$ 番目のビット a_j（値は{0,1}を取る）はランダムノイズなどに対する頑強性向上のため，c 回反復し，埋め込みシンボル b_i となる．

$$b_i = a_j, \quad j \cdot c \le i < (j+1) \cdot c. \tag{1}$$

b_i は{0,1}から，{-1,1}の値をとる透かしシンボル b_i' に変換される．これらの透かし情報を矩形 h_i に含まれる m 番目 $(m=1,2,\ldots,y)$ の頂点 v_{im} に埋め込む．変更された頂点座標 $\tilde{v}_{im}$ は，次のように計算される．

$$\tilde{v}_{im} = v_{im} + b_i' \cdot p_i \cdot \alpha. \tag{2}$$

v_{im} :変更する前の頂点の座標値．

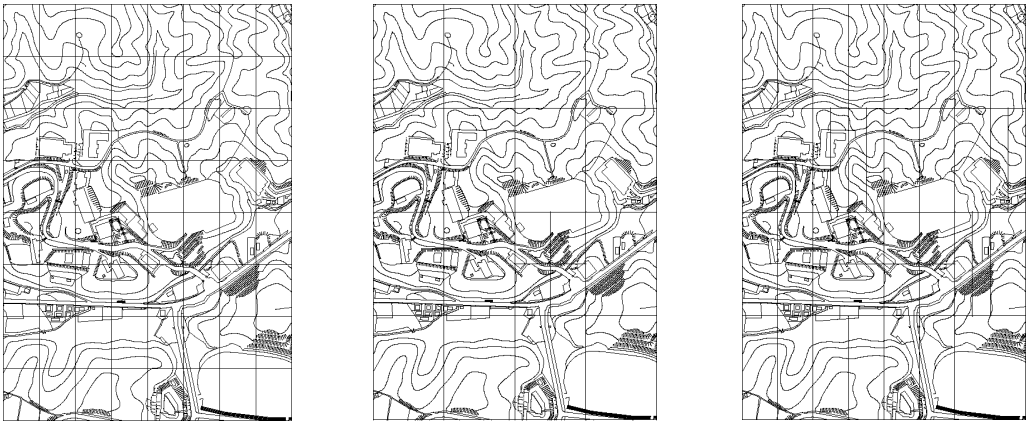
p_i :あるシード値から生成された{-1,1}の値をとる 2 値の擬似乱数系列．

α :変調振幅(頂点の移動距離)．

変調振幅 α は経験的に地図の品質に影響が出ない程度の値を選んでいる．この時，変更した座標値が矩形 h_i の範囲外に出てしまう頂点の座標値は変更しないこととする．

2.3 透かしの取り出し

本透かしは秘密透かしであり，透かしの取り出しの際，透かしを埋め込む前の地図データと透かしを埋め込んだ地図データとを比較して透かしを取り出す．式(2)で使用した p_i と矩形 h_i に含まれる全頂点の座標平均値を使用し，q_j を求める．



均一矩形(8×8)	4 分木	適応的統合法
領域分割数:64	領域分割数:19	領域分割数:40
使用矩形数:19	使用矩形数:18	使用矩形数:38

図 1. 分割手法の違いによる分割数の比較

$$q_j = \sum_{i=j\cdot c}^{(j+1)\cdot c-1} (\tilde{\bar{v}}_i - \bar{v}_i)\cdot p_i = \sum_{i=j\cdot c}^{(j+1)\cdot c-1} b'_i \cdot \alpha \cdot p_i^2. \quad (3)$$

$\bar{v}_i$:元地図データの矩形 h_i に含まれる頂点座標値の平均.

$\tilde{\bar{v}}_i$:透かしを埋め込んだ地図データの矩形 h_i に含まれる頂点座標値の平均.

ただし, $\tilde{\bar{v}}_i - \bar{v}_i$ を求めるさい, 振幅 α を基準とした一次関数によるしきい値を設定する. このしきい値によって, ノイズなどにより破壊された透かしシンボル b'_i を除去することができる.

ランダムノイズなどの妨害を無視できるとすると, q_j は, 式(4)のようになる.

$$q_j = c\cdot\alpha\cdot b'_i. \quad (4)$$

式(4)より, 反復回数 c , 振幅 α は常に正の数であるから, q_j の正負を判定することによって透かしビット a_j が取り出せる.

$$a_j = sign(q_j). \quad (5)$$

全ての矩形から透かしビットを取り出すことにより, 埋め込んだ透かし情報を取り出すことができる.

3. 実験

3.1 埋め込みデータ量

一様な矩形に分割する一様分割法, 4 分木による分割法, および適応的統合法の 3 種類の手法を用い, 実験的に埋め込みデータ量の比較を行った. 一様分割法では, セルを 25×25 及び 30×30 の 2 種類の分割数で均一な矩形に分割した. ある矩形が最低頂点数 10 を満たしていれば埋め込みの対象にし, それ以下なら埋め込みには使用しないとした. 3 種類の手法(矩形分割パラメータの相違も含めると 4 種類)の埋め込みデータ量を, 3 種類の性格の違う地図 A, B, C について比較した結果を表 1 に示す. なお, 地図の縮尺は1/1500, セルの範囲は750m×500mで, これを整数座標 7500×5000 で表す. したがって座標の最小単位は実空間で 10cm と対応する. 地物の密度(頂点数)は地図 A が密, 地図 B が中, 地図 C が疎となっている.

表 1 から, 一様分割法や 4 分木分割法に比べ, 適応的統合法の埋め込みデータ量が最も多くなっていることがわかる.

表 1. 埋め込みデータ量の比較(単位:ビット)

	一様矩形分割		4 分木	適応的統合法
	25×25	30×30		
地図 A	502	576	444	643
地図 B	399	369	265	555
地図 C	152	139	113	276

3.2 撹乱に対する頑強性

各種撹乱をほどこした時の, 撹乱に対する透かしの頑強性について実験を行った結果を以下に示す. なお, 振幅 α を 1(実空間で 10cm), 反復回数 c を 3 に設定した時のものを表 2, 振幅 α

地図A　　地図B　　地図C

図 2. 実験に使用した地図データ

を 1 とし埋め込み量を同様として反復回数を最大可能数に変化させたものを表 3 に示す. ベクトル型地図データは埋め込みデータ量の時と同じく, 縮尺 1/1500, セルの範囲 750×500 を整数座標値 7500×5000 で表したものを使用し, 5 種類の地図に対し実験を行った結果を平均した.

撹乱の種類は,

- 平行移動:全ての頂点座標値を同じ値だけ移動する.
- 拡大:全ての頂点座標値を一様な倍率で移動する.
- 縮小:全ての頂点座標値を一様な倍率で移動する. ただし, 端数となった頂点座標値は四捨五入を行い整数とする.
- ファイル中の地物の順序入れ替え:ファイルに記述されている地物の順序を入れ替える.
- 頂点追加:表示した際, 地図の見た目に変化が少なくなるように直線上に新たな頂点を追加する.
- 頂点削除:表示した際, 地図の見た目に変化が少なくなるように直線上に存在する頂点を削除する.
- ランダムノイズ重畳:頂点座標値にノイズを加え頂点座標値を変化させる.

の 7 種類である. ランダムノイズは振幅を 2 種類設定した. 振幅の値は実空間におけるものである.

各領域分割手法による撹乱への耐性を表 2, 表 3 に示す.

表 2 より, 適応的統合法を使用して領域分割を行った場合でも, 透かしの頑強性は他の領域分割手法と同等程度を保持できたことが分かる. また, 表 3 から埋め込みデータ量が同等の場合, 反復回数(拡散率 c)を多く取ることのできる適応的統合法が他の手法よりも頑強性が高いことが分かる.

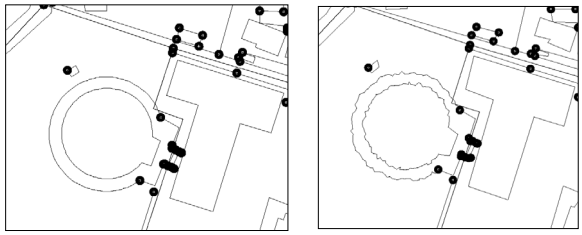
表 2 から, ランダムノイズ重畳(振幅 50cm)ではいずれの領域分割手法でも 20%程度透かしが破壊されている. 一見あまり良くない結果に見えるが, 50cm のランダムノイズを載せた結果の地図データは図 3 を見るとわかるように品質の低下が激しい. 品質の低下なしに透かしを破壊するのは難しいことが分かる.

表 2. 透かしの頑強性

撹乱の種類	一様矩形分割		4 分木	適応的統合法
	25×25	30×30		
平行移動	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
拡大	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
縮小	3.0%	2.9%	2.5%	2.5%
順序入れ替え	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
頂点追加	16.0%	14.2%	19.1%	10.5%
頂点削除	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%
ランダムノイズ重畳(振幅 10cm)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ランダムノイズ重畳(振幅 50cm)	21.4%	19.6%	16.3%	17.5%

表 3. 透かしの頑強性(同埋め込み量)

撹乱の種類	一様矩形分割		4 分木	適応的統合法
	25×25	30×30		
平行移動	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
拡大	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
縮小	5.6%	7.5%	8.5%	2.3%
順序入れ替え	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
頂点追加	17.5%	21.9%	26.7%	9.2%
頂点削除	0.2%	0.8%	1.7%	0.0%
ランダムノイズ重畳(振幅 10cm)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ランダムノイズ重畳(振幅 50cm)	20.0%	20.2%	23.3%	11.7%



元地図　　ランダムノイズ重畳

図 3. ランダムノイズ重畳による品質の低下(ランダムノイズの振幅 50cm). 矩形の地物が歪むなど, 明確な品質低下が認められる.

3.3 埋め込みによる品質の低下

本手法で透かしを埋め込んだ地図を学生 10 名に確認してもらった. その結果, 透かしを埋め込んでも人間が見た限りでは品質の低下を確認できなかった. この電子透かし手法は, 一般のユ

ーザが利用する場合には，利用目的を損ねない程度の低い可知性を備えているといえる．今後は，地図の専門家による可知性の評価が必要である．

元地図　　透かし入り地図

図 4. 元地図と透かし入りの地図

4. まとめと今後の課題

本論文では，ベクトル方地図データを対象として，地図を単位矩形に分割し，各矩形内に含まれる頂点群を移動することにより電子透かしを付加する手法を提案した．地物の密度が偏った地図に対しても埋め込み情報量を確保するため，本論文では地物の頂点密度を尺度に適応的に領域を分割する適応的統合法を提案した．適応的統合法を使用することで，均一な矩形や 4 分木によりセルを分割するよりも埋め込みデータ量を増やすことができた．提案手法はランダムノイズ重畳，頂点や地物の付加や間引き，その他の撹乱に対してある程度の頑強性を示した．

現状の手法は切り取りに耐性がないので，今後，切り取り処理に対して頑強性を持つ電子透かし手法を考えたい．また，埋め込み情報量や頑強性をさらに高めるため，頂点座標の平均値に対して変換を施して変換領域で透かしを埋め込む手法なども検討する予定である．

5. 謝辞

本研究は，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成果の一部を利用させて頂いた．特に，実験に必要なプログラムを提供していただき，またディスカッションに参加していただいた東京大学の増田 宏 助教授，および北海道大学の金井 理 助教授に感謝する．実験に用いたベクトル型地図データは事前の承諾のもと，株式会社ゼンリンの住宅地図データを使用させていただいた．

6. 参考文献

[Johnson 00] Neil F. Johnson, Zoran Duric, and Sushil Jajodia, *Information Hiding: Steganography and Watermarking–Attacks and Countermeasures*, Kluwer Academic Publishers, 2000.

[Katzenbeisser00] S. Katzenbeisser, F. A. P. Petitcolas, *Digital Watermarking*, Artech House, London, 2000.

[遠藤 01] 遠藤 州，増田 宏，大渕 竜太郎，金井 理，ベクトル型地図情報への電子透かし埋め込み技術開発，IPA Technology Expo 2001 成果報告集，2001.

[大渕 00] 大渕 竜太郎，非公開技術メモ，2000.

[北村 00] 北村 伊久裕，金井 理，岸波 建史，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，2000 年度地理情報システム学会講演論文集，9 巻，pp. 417-421，2000.

[栗原 00] 栗原 誠，柳井 紳，小松 尚久，有田 秀昶，ベクトル表記されたデータに対する電子透かし，情報処理学会研究会報告 Vol. 2000, No.36, (コンピュータセキュリティ. 9-1), pp. 1－5, 2000 年 5 月 10 日.

[坂本 99] 坂本 昌史，中村 高雄，小川 宏，富岡 淳樹，松浦 由美子，高嶋 洋一，ベクトルデータへの電子透かしの一方式，情報処理学会第 59 回全国大会，3X-9，1999.

[松井 98] 松井 甲子雄，電子透かしの基礎，森北出版，1998.