

# 空中写真の精密オルソ化に対応する電子透かし方式

村上翔, 前川友樹, 荒木俊輔, 碓崎賢一

## A Study on Digital Watermarking for a High-Quality Orthophoto Generation Method

Sho MURAKAMI, Yuki MAEKAWA,  
Shunsuke ARAKI and Ken'ichi KAKIZAKI

**Abstract:** In the present paper, we propose a new digital watermarking method for aerial photos with the central projection against a new high-quality orthorectification which focuses on features such as roofs of buildings. First, we discuss mutual effects between the orthorectification and digital watermarking. Second, we propose the new digital watermarking method with robustness for the orthorectification. Finally, we compare the proposed method with some basic ones, and show the effectiveness of the proposed method.

**Keywords:** 空中写真 (aerial photo), オルソ化 (orthorectification), 電子透かし (digital watermarking), 連結領域 (connected components)

### 1. はじめに

近年の技術の発展に伴い高精細な空中写真を入手できるようになった。地図の作成などでは、この空中写真のオルソ化技術において、特に都市部の空中写真を精密にオルソ化する手法が開発されている。しかし、コストの高い航空機での撮影のために、購入者による空中写真の不正な配布は撮影者にとって損失となる。そのための購入者の不正の防止技術の一つとして、著作者や利用者の情報を画像中に埋め込む電子透かしが挙げられる。

用途によっては、購入者は空中写真にオルソ化処理を施して利用する。しかし、電子透かしの埋め込み処理は画素の情報を書き換え、オルソ化処

理は画素の移動を伴い、相互に影響する処理を行う。そこで本稿では、まず透かしの埋め込みとオルソ化が相互に与える影響について議論する。次に撮影者の権利を守るために、精密オルソ化に耐性を持ちオルソ化結果に影響を与えない電子透かし方式を提案する。

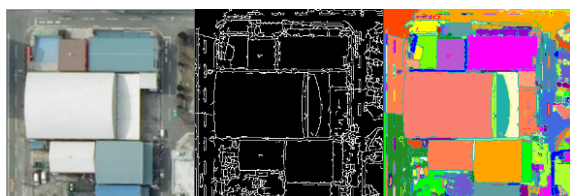
### 2. 精密オルソ化

オルソ化は対象領域の標高データを用いて、空中写真の画素を正射投影の位置に再配置する処理である[1,2]。

空中写真から標高を求めるためには、互いにオーバーラップした撮影点の異なる画像対であるステレオペアから視差を計算し、三角測量の方式で基準面からの高さである比高を求める。

その視差を求めるために、ピクセル単位で処理するエリアベース方式が良く用いられる。しかしピクセル単位で処理するため、同じパターンが連

続する平坦な領域ではステレオペアの対応点を誤る問題がある．それに対して，特徴領域毎に視差を求めるフィーチャーベースの精密オルソ化方式の研究が進んでいる．特に都市部における建築物の屋上といった色の変化の少ない領域でも精度良く視差を求められる[3]．ここで特徴領域とは建物の屋上や屋根といったエッジに囲まれた画素を指す．図 1-(a)は空中写真の一部分の元画像，図 1-(b)は元画像からエッジを抽出した結果を白線で示したものの，図 1-(c)はエッジで囲まれた閉領域である特徴領域を色分けしたものである．この手法では，建物の屋上など変化が少なく，かつ本来同一の高さを持つ領域が特徴領域として処理される．



(a) 元画像 (b) エッジ (c) 特徴領域

図 1 画像のエッジと特徴領域

### 3. 精密オルソ化と透かしが互いに与える影響

オルソ化処理では，ピクセルの移動や被覆が正射変換によって発生する．ピクセルの移動により，元画像とは異なる位置にあるピクセルが存在するため，透かし情報を誤検出する可能性がある．より困難な問題が画素の被覆である．もし被覆される画素に透かしが埋め込まれていた場合，透かしの消失が検出を不可能にする．

一方，透かし情報は画像の画素値を変化させることで表現されるため，透かしの埋め込みは画像に変更を加えていることと同義である．オルソ化処理は画素に基づくため，画素値が変更されていれば処理結果に違いが生じてしまう．

この様に，オルソ化処理と電子透かしの埋め込み処理は互いに影響を与える．

## 4. 精密オルソ化に対する電子透かし方式の提案

本節では，前節で指摘した問題を解決する電子透かし方式を提案する．

精密オルソ化方式はエッジを境界とする画素値の変化の少ない特徴領域毎に処理を行うため，透かしの埋め込み処理により境界であるエッジが変化しないようにする．そこで元画像に対し，エッジ検出処理とラベリング処理(図 2)を行い，連結領域内に透かしを埋め込む．画素値が一定の連結領域を抽出する．連結領域の境界をエッジとみなせるので，連結領域は精密オルソ化方式の特徴領域と同等であると考える．

画素の被覆による透かしの消失に対応するため，複数の連結領域に透かしを繰り返し埋め込む．

透かしが埋め込まれた連結領域のオルソ化処理による移動に対応するため，透かし画像の連結領域と元画像の連結領域とで相関計算を行い，連結領域の移動先を推定する．そして，推定した連結領域内から透かしを抽出する．

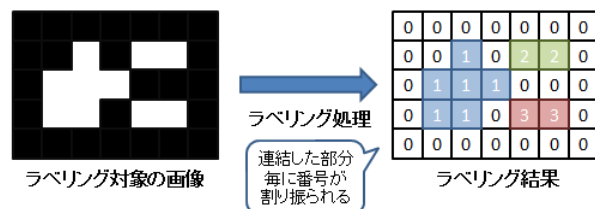


図 2 ラベリング処理

#### 4.1. 透かしの埋め込み

埋め込み処理を以下のステップと図 3 に示す．

1) 精密オルソ化におけるエッジは輝度値が大きく変化する部分であるため，空中写真を(1)式を用いて表色系を RGB から YCbCr に変換する．

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 画像の輝度値 Y を基にラベリング処理を行う．また，透かしの埋め込み位置を決定するために連結領域の ID や面積，左上・右下の隅の位置座標を取得する．これらの情報は検出処理にも用いるため保持する．

3) 埋め込み位置を秘匿するために擬似乱数を用いて、透かしを埋め込む連結領域を選択する。

4) 連結領域の中心の座標を位置座標から割り出す。中心とその右隣にある二つの輝度値を  $P_L$  と  $P_R$ 、透かし強度を  $k$ 、二つの輝度値の平均を  $a = (P_L + P_R) / 2$  とする。透かしビットが  $b = 0$  ならば、 $P_L = a - k$ 、 $P_R = a + k$ 、 $b = 1$  ならば、 $P_L = a + k$ 、 $P_R = a - k$  と変更する。埋め込む透かしビットがまだ残っている場合は、3)に戻る。

5) 透かしを埋め込んだ空中写真の表色系を YCbCr から RGB に変換し、透かし画像として出力する。

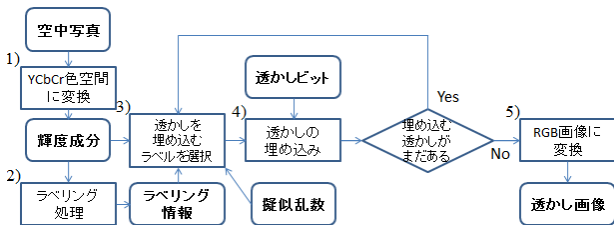


図 3 埋め込み処理の流れ

#### 4.2. 透かしの検出

透かし検出処理を以下に示す。検出には透かしを埋め込んだ元画像と擬似乱数の初期値、埋め込み処理で得た連結領域の情報を必要とする。

1) 画像の表色系を RGB から YCbCr に変換する。  
2) 擬似乱数と連結領域の情報を基にして、透かしが埋め込まれた連結領域を選択する。

3) 元画像の選択された連結領域をテンプレートとし、元画像と透かし画像との相互相関を計算する。最も相関が高い領域を透かしが埋め込まれた連結領域として、その移動量を計算する。

4) 連結領域の移動量を用いて、透かしが埋め込まれた画素を探し、 $P'_L$  と  $P'_R$  を比較することで透かしを検出する。 $P'_L < P'_R$  のとき、透かしビット  $b$  は 0、そうでなければ  $b$  は 1 である。別の連結領域内の透かしを検出するときは 2) の処理に戻る。最終的に得られた透かしビット列を検出した透かしとして出力する。

#### 5. システムの試作と評価

本手法の有効性を示すために、以下に示す基本的な透かし方式[4,5]と性能を比較し、提案方式のオルソ化に対する耐性、画質の変化、オルソ画像の品質を評価する。

- 透かしを画素値に直接埋め込む方式。
  - 画素値の統計量を利用
  - エッジ領域に埋め込む
- 透かしを周波数領域に埋め込む方式。
  - 離散コサイン変換 (Discrete Cosine Transform: DCT) を利用
  - 離散ウェーブレット変換 (Discrete Wavelet Transform: DWT) を利用



図 4 実験に利用した空中写真の一部

本稿における実験では、図 4 に示す  $9420 \times 14430$  ピクセルの空中写真に 256 ビットの透かし情報を可能な限り繰り返して埋め込んだ。そして、透かしが埋め込まれた空中写真をオルソ化し、そのオルソ画像から透かしの検出を行った。

最初に、電子透かし方式の基本的な評価として、オルソ画像から得た透かしの検出率を調べた。図 5 に提案方式と 4 つの基本的な方式における、透かし強度と検出率の関係を示す。エッジ領域に透かしを埋め込む方式以外では 89% 以上の検出率を示す結果が得られた。次に、透かし強度とピーク信号対雑音比 (Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR) との関係を図 6 に示す。提案方式は画像の一部分にしか透かしを埋め込んでいないため最も良い画質が得られた。これらの結果より、提案方式は検出率と画質の面では電子透かしとして有効であると判断した。

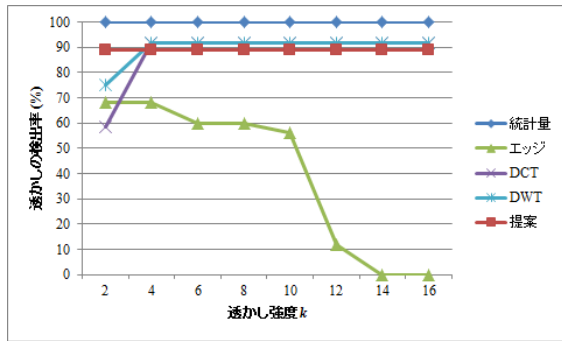


図 5 透かし強度に対する検出率の関係

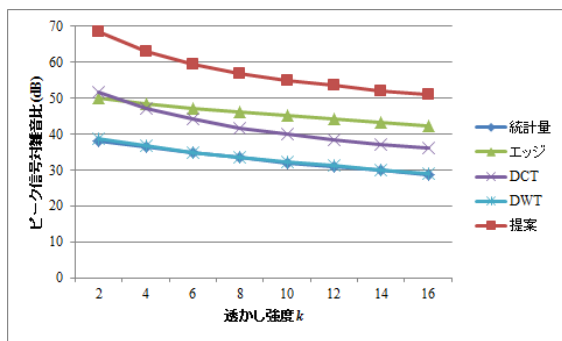


図 6 透かし強度に対する画質の変化

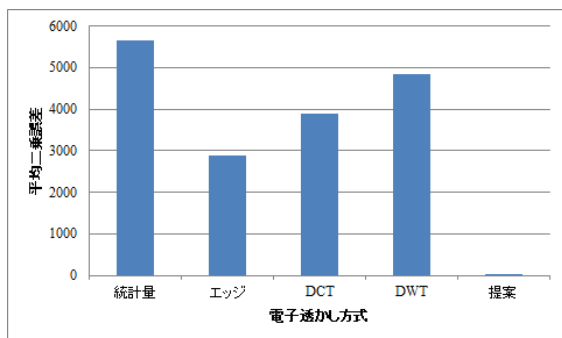


図 7 透かしの埋め込みが与える DSM の影響

最後に、透かしの埋め込みが与えるオルソ化への影響を調べた。透かしが埋め込まれた画素は画素値が元画像から変更されているため、オルソ化によってノイズとなる。ノイズの多い連結領域は誤って別の領域と一致する可能性がある。そこで、地形の表面や建物などの地物を表すデジタル表面モデル(Digital Surface Model: DSM)の平均二乗誤差(Mean Squared Error: MSE)を求めた。透かしを埋め込む前後の写真から得た DSM の MSE の結果を図 7 に示す。提案方式が比較した全ての方式の中で最も本来の高さからのずれが小さくなった。この結果は、提案方式でのエッジ周辺に透か

し情報を埋め込まない手法が効果的であったことを示している。

基本的な方式と提案手法は検出率と画質の点で実用的であり、かつオルソ化への影響を最小限にする優れた手法であることが確認できた。

## 6. まとめ

本稿では、著作者の権利を保護する電子透かしと精密オルソ化の相互的な影響を述べた。次に、指摘した問題を解決するために、都市部の空中写真の精密オルソ化に対する電子透かし方式を提案した。そして、基本的な電子透かし方式と比較実験を行い、本手法の有効性を示した。

今後の課題として、本提案手法は、結果的に画像の平坦な部分に透かし情報を埋め込んでおり、フィルタ処理で除去され易い問題への対策が挙げられる。

## 参考文献

- [1] P. Mikkonen and J. Niskanen, "Digital Orthophotography and Terrain Modeling," Preproceedings, CIB W78 Workshop on Computer Integrated Construction, 1994.
- [2] T. Shih, "Orthoimage Generation in a GIS Environment," XXIX ISPRS Congress, Vol. 29, pp. 221-223, 1992.
- [3] 前川友樹, 荒木俊輔, 碓崎賢一, "ステレオ空中写真による高速DSM抽出システムの構築に向けて", 地理情報システム学会講演論文集, Vol. 20, F-5: データ取得(2), 2011.
- [4] C. Podilchuk and E. Delp, "Digital Watermarking: Algorithms and Applications," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 18, pp. 33-46, 2001.
- [5] V. Potdar, S. Han and E. Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques," 3<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 709-716, 2005.