

VC法を用いた高速高画質電子割符生成法の拡張

Enhancement of Generation Method of Visual Secret Share Images Using Void-and-cluster Halftoning Scheme

明堂 絵美† 酒澤 茂之† 滝嶋 康弘†
Emi Myodo Shigeyuki Sakazawa Yasuhiro Takishima

1. まえがき

筆者らは視覚復号型秘密分散手法である電子割符技術に関して、ハーフトーン画像生成手法のひとつである void-and-cluster (VC) 法[1]を拡張した電子割符生成手法[2]を提案している。この VC 割符生成法では、予め生成した 2 枚の閾値マトリクスを用いて任意の 2 枚の 256 階調濃淡画像から高速に高画質な 2 枚の 2 値ハーフトーン画像(割符画像)を生成することが可能である(図1手順(3))。

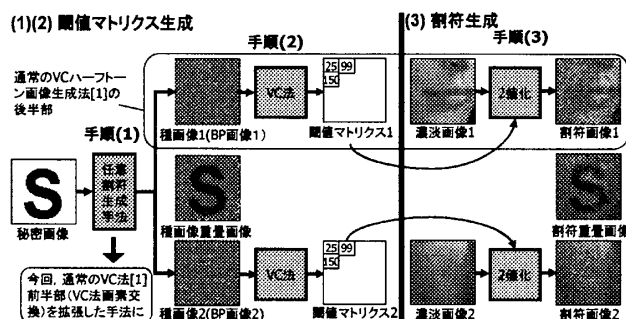
従来、Bayer 型組織的ディザ拡張割符法 [3]が提案されている。この手法では VC 割符生成法と同様に 2 枚の閾値マトリクスを用いた高速割符生成が可能だが、割符画像上の画素パターンに規則性が目立ち、表現できる擬似濃淡階調数も 17 階調に限られていた。それに対し VC 割符生成法は割符画像が視覚的に良好な画素配置となり画質が高く、入力濃淡画像と同等の 256 階調の擬似濃淡表現が可能である。しかし、現在の VC 割符法[2]では、VC 法以外の手法[4]と VC 法[1]を組み合わせることで閾値マトリクスを作成している。そのため、閾値マトリクスにより生成される割符画像上にこれら異なる手法による視覚上異なる画素パターンが混在して表れ、割符画像の画素パターンが均一にならず、主観画質が劣化する問題があった。

そこで本稿では、[2]において閾値マトリクス生成の元となる種画像に対しても[1]を拡張した前処理を適用することにより(図1手順(1))、割符画像に均一で良好な画素パターンを与える閾値マトリクス生成方法を提案する。それとともに、割符画像の重畳により再現される秘密画像の視認性が VC 法拡張により劣化しないための制御手法を提案する。

2. VC法を用いた閾値マトリクス・割符生成法

通常の VC 法ハーフトーン画像生成法[1]の手順は以下の通りである。手順(1)で VC 法[1]の画素交換処理によって 2 値ランダム画像から高画質な 1 枚の 2 値バイナリパターン(BP)画像を作成する。手順(2)で BP 画像から 1 枚の閾値マトリクスを生成する。手順(3)で入力濃淡画像の階調数に合わせ閾値を 255 値とするために正規化し、閾値より入力濃淡画素値が大きい場合に 1(黒)、そうでない場合に 0(白)を出力し、1 枚のハーフトーン画像を作成する。

一方、筆者らが提案した VC 割符生成手法[2]を図1に示す。手順(1)で GA 割符法[4]などの任意の割符生成手法により、複数枚の種画像(BP 画像)を作成する。種画像を重畳すると秘密画像を復号できることが本手法の特徴である。手順(2)で各々の種画像から VC 法の閾値マトリクス生成処理を適用し、複数枚の閾値マトリクスセットを作成する。手順(3)で複数枚の入力濃淡画像から閾値処理により白黒 2 値の複数枚の割符画像を作成する。最終的な割符画像にも割符性が保存されており、重畳により秘密画像の復号が可能である。



【図1】VC法を拡張した割符生成法[2]の原理

3. 提案種画像作成法

異なる 2 値化手法では作成した 2 値画像の見た目が異なる。VC 割符法[2]においては GA 法[4]および VC 法[1]の 2 値画素パターンが入力濃淡値の違いによって同一割符画像上に混在し、2 値画素パターンの特性が均一でなかった。この問題を防ぐために、本稿では、[2]において GA 法などの任意割符生成手法(手順(1))で作成していた割符性のある 2 枚の種画像を、VC 法の画素交換処理を拡張して作成する方法を提案する。同時に VC 法画素交換により作成される種画像を重畳により秘密画像が再現されるように設計する。

まず、画素パターン統一のため、[2]においても[1]と同様にランダム画像(2 枚)を用いて VC 法画素交換を行う。まず、割符性を持つ 2 枚の 2 値ランダム画像を作成する。ランダム画像の各画素は秘密画像の画素に応じて以下のように決定される。すなわち、秘密画像が黒画素ならば (0,1),(1,0)のどちらかをランダムに選んで画像 1,2 の画素とし、秘密画像が白画素ならば(0,0),(1,1)のどちらかをランダムに選んで画像 1,2 の画素とする。以降、X1をランダム画像 1 に、X2をランダム画像 2 に出力する画素とし、これを(X1,X2)と表記する。図2に 2 枚のランダム画像(a)(b)と重畳画像(c)を示す。図2(c)から良好に秘密画像を復号できていることが分かる。

次に、図2(a)(b)各々のランダム画像に独立に VC 法画素交換[1](手順 1)を適用すると、重畳時に割符性のある種画像(図3(a)(b))を作成できる。しかし、図2(c)と比較して図3(c)では重畳時秘密画像の視認性が劣化している。これを防止するため、VC 法画素交換時に秘密画像領域別に制御を行なう。その原理と手法を 3.1, 3.2 節に示す。

3.1 秘密画像領域別制御の原理

図3(c)が図2(c)よりも秘密画像の視認性が低くなる原因は、各々のランダム画像に独立に VC 法画素交換を適用しているため、秘密画像のある領域(図または背景)に注目したとき、注目領域内の画素セット(X1,X2)の割合が VC 法画素交換後に壊れるからである。例えば、秘密画像が黒画素の図領域では(1,0)および(0,1)の画素セットしか図2(a)(b)に存在せず、秘密画像の画素は全て黒画素に復号されるが、VC 法画素交換後の図3(a)(b)では図領域内に(1,1)および

(0,0)も存在し、(0,0)のセットの時に秘密画像の画素が白画素に復号されるため、重畳時の黒画素濃度が低くなる。よって3.2節では注目秘密画像領域内に閉じて画素セットを壊さずに交換を繰り返し、領域内の画素セットの割合が交換によって変化しないようにする。

3.2 秘密画像視認性を考慮した拡張(提案法)

VC法画素交換後も各々の秘密画像領域における重畳時濃度変化量を保存する手法を提案する。

(1)2枚の割符性のあるランダム画像を作成する。ただし、秘密画像の図(文字)領域と背景領域において黒画素の割合を等しくする。黒画素濃度が領域ごとに異なると、VC法による画素交換の後に秘密情報が濃度に比例して浮き上がり、秘匿性に問題が生じるからである。

(2)重畳時の秘密画像視認性劣化を防ぐために秘密画像領域に応じた制御を行い、VC法画素交換により高画質な複数枚の種画像を作成する。

(2)の詳細手順は以下の通りである。

(2-1)2枚のランダム画像から無作為に1枚を選ぶ。

(2-2)選んだ画像上で黒画素の最稠密部を特定する。

(2-3)選んだ画像上で特定した最稠密部と同じ秘密画像領域内(図または背景領域)で黒画素の最空疎部を特定する。

(2-4)特定した最稠密部と最空疎部位置の画素を、選んだ画像上だけでなく、選ばれなかった画像上でも交換する。

終了条件を満たすまで(2-1)から(2-4)を繰り返す。終了条件は、どちらか一方の画像において、最稠密部から画素を除いた箇所が最空疎部と一致する時とする。

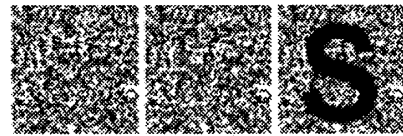
つまり、本手法では同一秘密画像領域内の画素セット(X1,X2)の集合をVC法画素交換の後にも壊さないことで秘密画像の視認性を保っており、秘密画像制御を行わない場合と比較して重畳時秘密画像の視認性を非常に高くすることが可能である。

4. 実験の結果と考察

閾値マトリクスサイズを64×64、入力濃淡画像を192×192画素、256階調とする。

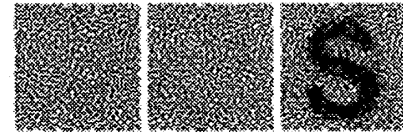
図4に3.2節の提案手法により秘密画像領域ごとに制御を行い作成した種画像を示す。図4(a)(b)で各々の種画像から秘密画像は知覚できないことが分かる。図3(a)(b)各々の種画像は通常のVC法[1]で1枚作成したBP画像の画質とアルゴリズム的に等しいのだが、図3(a)(b)と図4(a)(b)において画質変化を知覚できないので、通常のVC法で作成したBP画像と図4(a)(b)各々の種画像の画質変化はほとんどないと言える。よって、各々の種画像はBP画像と同様に視覚的に好ましい2値パターンを持ち、かつ、割符上ではVC法と同様に2値パターンの統一性を出せる。また、重畳画像図4(c)では図3(c)と比較して秘密画像が格段に良好に復号されていることから、3.2節の秘密画像領域別制御により秘密画像の視認性を高められることが分かる。

ここで、重畳時の黒画素濃度の変化について調べる。図2(c)→図3(c)の重畳時の黒画素濃度変化は図領域で100%→93%、背景領域で50%→54%、特に秘密画像境界領域では図領域で100%→89%、背景領域で50%→59%となりVC法画素交換後で濃度変化が生じる。それに対し、3.2節の手法では図2(c)→図4(c)において図領域100%→100%、背景領域50%→50%となり図2(c)の重畳黒画素濃度が図4(c)で完全に保存されている。図3(c)では図領域と背景領



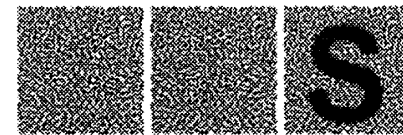
(a)ランダム画像1 (b)ランダム画像2 (c)重畳画像

【図2】ランダム画像



(a)種画像1 (b)種画像2 (c)重畳画像

【図3】秘密画像制御を行わない種画像



(a)種画像1 (b)種画像2 (c)重畳画像

【図4】秘密画像制御を行なった種画像



(a)割符画像1 (2)割符画像2 (c)重畳画像

【図5】割符画像と重畳画像

域の黒画素濃度差分が39%のみ異なっているのに対し、図2(c)および図4(c)では50%で、良好なコントラストを示す。また、この種画像から作成した閾値マトリクスを用いて割符画像を生成し、図5に示す。図5(a)(b)から画質の良い割符画像を生成しつつ、図5(c)で重畳すると視認性の高い秘密画像を復号できることが分かる。

5. まとめ

VC法を拡張した電子割符生成法において、VC法の画素交換処理を拡張し、秘密画像領域別に視認性保存のための制御を行なうことで、従来不均一な画素パターンとなっていた割符画像が均一で高画質な画素パターンを持ち、かつ復号秘密画像も高い視認性を保つ電子割符生成法を提案し、その効果を確認した。

参考文献

- [1] R. Ulichney, "The void-and-cluster method for dither array generation", Proc. SPIE. Vol.1913, pp.332-343, 1993.
- [2] 明堂絵美, 酒澤茂之, 滝嶋康弘, "void-and-cluster 法を利用した高速電子割符生成方式", 電子情報通信学会 2005 年総大会, D-11-11 in CD-ROM, 2005.
- [3] 岡一博, 松井甲子雄, "組織的ディザ法によるハードコピー画像への署名情報の埋めこみ", 信学論, Vol.J80-D-II, No.3, pp.820-823, 1997.
- [4] E. Myodo and K. Tanaka, "A Watermark Sharing Scheme to High Quality Halftone Images with Genetic Algorithms", Applications of Evolutionary Computing: EvoWorkshops 2004, LNCS, Springer, Vol.3005, pp. 339-348, 2004.