

# 情報漏れを抑制した2段階セキュリティを有する視覚秘密分散法

## A Two-Level Security Visual Secret Sharing Scheme with Leakage Reduction

劉 審川                      藤吉 正明                      貴家 仁志  
 首都大学東京大学院システムデザイン研究科情報通信システム学域

Shenchuan LIU, Masaaki FUJIYOSHI, and Hihoshi KIYA  
 Department of Information and Communication Systems, Tokyo Metropolitan University

**アブストラクト** 本稿は、2段階のセキュリティを提供する視覚的秘密分散法の新しい手法を提案する。提案法は、秘密にするカラー画像を4つのバイナリ画像（マスクシェアと各色成分シェア）に分割し、それぞれ異なるユーザに配信する。すべてのシェア画像が揃った場合にだけ秘密画像が復元される。すなわち、3枚の色成分シェア画像だけでは、マスクシェアが与えられない限り、秘密画像は復元されない。つまり、マスクシェアによって、2段階のセキュリティが提供されている。上述の特徴を有する従来法は、特定の条件下で、マスクシェアが無くとも秘密画像の輪郭がわかる、すなわち、情報漏えいのリスクがあった。一方、提案法は、復元画像が低コントラストになるが、情報漏えいの可能性を抑制している。

### 1 はじめに

近年、暗号利用が一般化している。暗号化情報の復号化には復号化鍵が必要であり、厳重に保管される必要がある。しかし、現実には、保管の限界があり、鍵の損失や漏洩の危険性が伴う。一方、高速通信技術の発展に伴い、大規模プロジェクトが増加している。このような応用では、一部のユーザが結託して、秘密情報をプロジェクト外に漏洩する危険性を排除する必要がある。このような状況を克服するために、秘密分散法 [1] が提案されている。

秘密分散法 [1] は、秘密を  $n$  個のシェアと呼ばれる単位に分割する。各シェアは  $n$  人の異なるユーザによって保管され、 $k$  個以上のシェアが集まることで秘密が復元される。さらに、画像情報を対象に、視覚的秘密分散法が提案されている [2-5]。秘密にするバイナリ画像を、ランダムなバイナリ画像シェアに分割する手法 [2]、ランダムシェアの代わりに意味があるシェアを生成する手法 [3]、複数の秘密画像を同時に扱う手法 [4]、濃淡画像を対象とする手法 [5] などが提案されている。

カラー画像に対しても、視覚的秘密分散法が提案されている [6-8]。最初の手法 [8] は、秘密画像を4つのバイナリ画像（マスクシェアと各色成分シェア）に分割する。この手法では、3枚の色成分シェア画像が集められても、

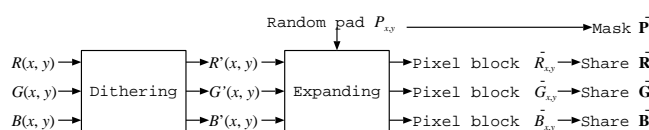


図 1: 2段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法 [8] .

マスクシェアが与えられない限り、秘密画像は復元されない。すなわち、2段階のセキュリティを提供している。逆に、2段階セキュリティを提供するためには、色成分シェア画像を集めたとしても、画像の縦横画素数以外の情報が漏洩してはならない。

しかし、この従来法 [8] は、秘密画像を漏洩する可能性が指摘されている [9]。シェア生成原理から、色を複数のグループに分類できることがわかっており、秘密画像に含まれている色とその色グループとの関係によっては、色成分シェア画像を重ねただけで、秘密画像の輪郭を高い確率で知ることができる [9]。

本稿では、2段階セキュリティを有する新しい視覚的秘密分散法を提案する。提案法は、従来法 [8] 同様、カラー画像を4つのシェア画像に分割する。シェア生成方法に制約を導入し、復元画像のコントラスト低下を許容することで、提案法は情報漏洩に対して耐性を向上している。

### 2 準備

#### 2.1 2段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法

図 1 に、2段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法 [8] のブロック図を示す。この従来法はカラー画像を対象とし、秘密画像をマスクシェア、赤成分シェア、緑成分シェア、青成分シェアの4シェアに分割する。なお、この手法はシェア画像を透明シートに印刷する前提で、印刷用のカラーモデルである CMYK を想定しているが、本稿では簡単のため RGB カラーモデルを使用する。

この手法はまず、秘密カラー画像から色コンポーネント毎にハーフトーン画像  $\mathbf{R}' = \{R'(x,y) | R'(x,y) \in \{0,1\}\}$ ,  $\mathbf{G}' = \{G'(x,y) | G'(x,y) \in \{0,1\}\}$ ,  $\mathbf{B}' = \{B'(x,y) | B'(x,y) \in \{0,1\}\}$  を

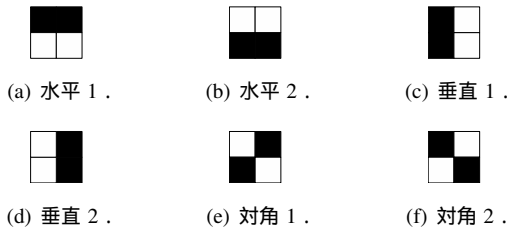


図 2: ランダムパッド  $P_{x,y}$  .

生成する．ここで，‘0’は黒画素を表す．次に，ハーフトーン画像の画素毎に，図 2 (a)~(f) に示すランダムパッド  $P_{x,y}$  の 1 つを用いて，色成分シェア画像  $\bar{R} = \{\bar{R}_{x,y}\}$ ， $\bar{G} = \{\bar{G}_{x,y}\}$ ， $\bar{B} = \{\bar{B}_{x,y}\}$  を生成する．ここで， $\bar{R}_{x,y}$ ， $\bar{G}_{x,y}$ ， $\bar{B}_{x,y}$  は  $2 \times 2$  画素から成る画素ブロックであり，

$$\bar{R}_{x,y} = \begin{cases} 1 - P_{x,y}, & R'(x,y) = 0 \\ P_{x,y}, & R'(x,y) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\bar{G}_{x,y} = \begin{cases} 1 - P_{x,y}, & G'(x,y) = 0 \\ P_{x,y}, & G'(x,y) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\bar{B}_{x,y} = \begin{cases} 1 - P_{x,y}, & B'(x,y) = 0 \\ P_{x,y}, & B'(x,y) = 1 \end{cases} \quad (3)$$

で与えられる．最後に，マスクシェアが  $\bar{P} = \{P_{x,y}\}$  によって与えられる．

図 3 にこの手法の例を示す．秘密画像は  $352 \times 480$  画素であり，色成分シェア画像とマスク画像は  $702 \times 960$  画素となる．同様に，復元された画像のサイズも原画像の 4 倍となっている．ここで，復元画像の色成分はそれぞれ， $\bar{R} \circ \bar{P}$ ， $\bar{G} \circ \bar{P}$ ， $\bar{B} \circ \bar{P}$  によって与えられる．ここで， $\circ$  はアダマール積を表す．

この手法において，マスクシェア  $\bar{P}$  を対称暗号の鍵と見なすことができる．この特徴を活用することで，応用によっては，マスクシェアを上位の人間に，各色成分シェアを下位の人間に保持させることが可能となる．下位の人間が，色成分シェア画像を収集しても，上位の人間が有するマスクシェアがない限り，秘密画像は明らかにされない．したがって，この手法は 2 段階のセキュリティを提供している．なお，式 (1)，(2)，(3) において， $P_{x,y}$  が共通に利用されていることに注意されたい．

## 2.2 2 段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法に対する解析

前節で述べた従来法 [8] は，特定の条件下ではマスクシェアがなくとも，秘密画像の輪郭を知ることができる，すなわち，情報漏洩の可能性が指摘された [9]．この輪郭が漏洩する確率は，秘密画像が含む色の数と不正者が取

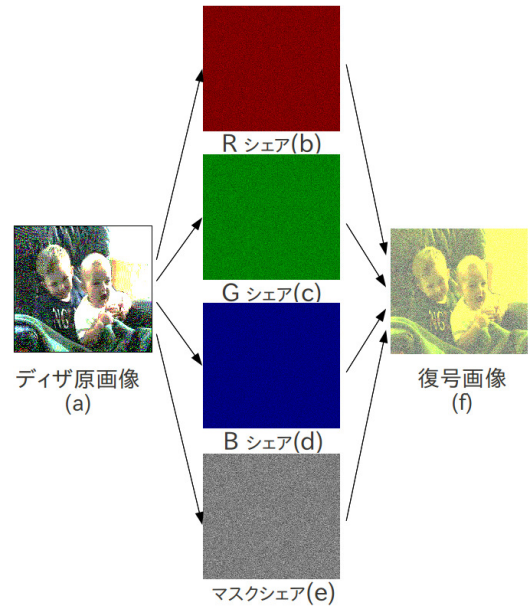


図 3: 2 段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法 [8] の例．

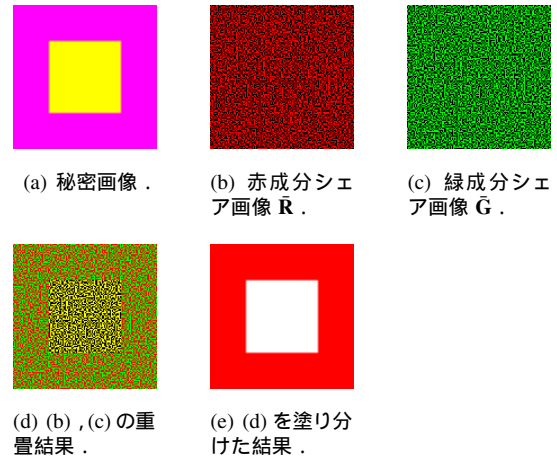


図 4: 2 段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法 [8] に対する解析 [9] .

得したシェア画像数とに応じて変化する．本節では，秘密画像のデザイナー画像が，取りうる 8 種類の色のうち 2 色を用いており，かつ，不正者が 2 枚のシェア画像を取得した条件での解析について述べる．

不正者は，図 4 (a) に示す秘密画像から生成されたシェア画像のうち，同図 (b)，(c) に示す赤成分シェア画像  $\bar{R}$  と緑成分シェア画像  $\bar{G}$  の 2 枚を取得したとする．入手したシェア画像を重畳することで，同図 (d) が得られる．図 4 (d) に示すように，画素ブロック  $\bar{R}_{x,y}$  と  $\bar{G}_{x,y}$  が同じであれば，重畳された画素ブロックは黄色 2 画素と黒色 2 画素とから成る．一方， $\bar{R}_{x,y}$  と  $\bar{G}_{x,y}$  とが異なる場合には，画素ブロックは赤色 2 画素と緑色 2 画素とを含む．この結果

表 1: 2段階セキュリティを有する視覚的秘密分散法 [8] における, シェア画像重畳による色のグループ分け [9] (赤成分と緑成分との重畳例) .

$f'(x, y)$	$\{R'(x, y), G'(x, y), B'(x, y)\}$	$\bar{R}_{x,y}, \bar{G}_{x,y}$ の関係
黒	$\{0, 0, 0\}$	同一
青	$\{0, 0, 1\}$	
黄	$\{1, 1, 0\}$	
白	$\{1, 1, 1\}$	
緑	$\{0, 1, 0\}$	相補
水色	$\{0, 1, 1\}$	
赤	$\{1, 0, 0\}$	
紫	$\{1, 0, 1\}$	

は, 使用されたランダムパッド  $P_{x,y}$  に関わらず成立する .

さらに,  $\bar{R}_{x,y} \neq \bar{G}_{x,y}$  の画素ブロックを白で,  $\bar{R}_{x,y} = \bar{G}_{x,y}$  の画素ブロックを赤で, それぞれ塗りつぶした結果を図 4 (e) に示す . この図はマスクシェアを用いることなく復元された画像であるにも関わらず, 秘密画像の輪郭が完全に漏洩していることがわかる .

式 (1), (2) に示されているとおり, ハーフトーン画像の  $R'(x, y)$  と  $G'(x, y)$  とが等しければ, 生成されたシェア画像において画素ブロック  $\bar{R}_{x,y}$  と  $\bar{G}_{x,y}$  とは同一になる . 一方,  $R'(x, y)$  と  $G'(x, y)$  とが異なる場合,  $\bar{R}_{x,y}$  と  $\bar{G}_{x,y}$  とは相補関係になる . 2 枚のシェア画像が重畳された場合, 秘密画像が取りうる 8 つの色は, 表 1 に示すように, 2 つのグループに分類される . なお, 3 枚の色成分シェア画像のうち, いずれかに関わらず 2 枚を重畳した場合, 取りうる 8 つの色は 2 つのグループに必ず分類される .

図 4 に示した例では, 不正者は  $\bar{R}$  と  $\bar{G}$  とを取得している . 秘密画像に用いられている紫と黄とは, 表 1 に示したように, それぞれ異なるグループに属している . このように, 原画像で使用される 2 つの色が互いに異なるグループに属している場合, 不正者はマスクシェアを用いなくとも秘密画像の輪郭を知ることができる .

ここで, 2 枚の色成分シェア画像を重畳した場合に, 秘密画像の輪郭が漏えいする確率を考える . 前提として, 秘密画像は 8 色中 2 色で構成されている . その色の組み合わせは  $\binom{8}{2} = 28$  通り . 一方, その 2 色が互いに異なるグループに属する組み合わせは  $4 \times 4 = 16$  通り . したがって, 輪郭が漏えいする確率は

$$\frac{16}{28} = \frac{4}{7} \quad (4)$$

となる . 一方, 3 つの色成分シェア画像すべてが重畳された場合, 8 つの色は  $\{\text{白, 黒}\}, \{\text{赤, 水色}\}, \{\text{緑, 紫}\}, \{\text{青, 黄}\}$  の 4 グループに分類される . 秘密画像が 2, 3, 4 色で構成されている場合, 漏えい確率はそれぞれ,  $6/7$ ,

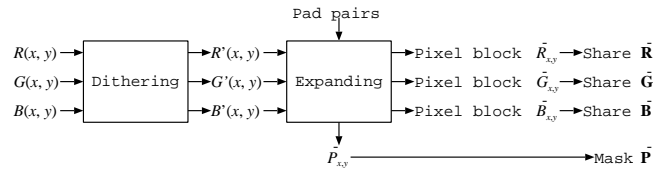


図 5: 提案法のブロック図 .

$4/7, 8/35$  となる . 5 色以上で構成されている場合, 隣接画素が異なるグループに属していれば, 輪郭を明確に知覚することが可能となる [9] .

次節では, 上述の情報漏えいを抑制する新たな手法を提案する .

### 3 提案法

#### 3.1 システムの概要

図 5 に提案法を示す . 従来法 [8] 同様, 提案法は秘密とするカラー画像を画素単位で処理し, マスクシェア, 赤色成分シェア画像, 緑色成分シェア画像, 青色成分シェア画像, の 4 シェアに分割する . 従来法が画素毎に 1 つのランダムパッドを用いるのに対し, 提案法は, 3 つの異なるランダムパッドを 1 画素の色成分毎に用いる . また, 提案法は秘密画像を復元可能とするため,  $2 \times 2$  画素の画素ブロック中の 1 画素に, 秘密画像の画素値をそのまま保持させる . それに対応して, マスクの各画素ブロックは, 3 つの '0' と 1 つの '1' とから構成する .

#### 3.2 アルゴリズム

秘密画像は色コンポーネント毎にディザ処理され, ハーフトーン画像  $\mathbf{R}' = \{R'(x, y) | R'(x, y) \in \{0, 1\}\}$ ,  $\mathbf{G}' = \{G'(x, y) | G'(x, y) \in \{0, 1\}\}$ ,  $\mathbf{B}' = \{B'(x, y) | B'(x, y) \in \{0, 1\}\}$  に変換される . ここで, '0' は黒を表す . ハーフトーン画像  $\mathbf{f}' = \{f'(x, y) | f'(x, y) = \{R'(x, y), G'(x, y), B'(x, y)\}\}$  の各画素に以下のアルゴリズムが適用される .

- 手順 1. 水平パッド対 (図 2 (a), (b)), 垂直パッド対 (図 2 (c), (d)), 対角パッド対 (図 2 (e), (f)) を, ランダムに, 3 つの色成分と対応させる .
- 手順 2.  $2 \times 2$  画素から成る画素ブロックにおいて, 1 つの画素をランダムに選択する . また,  $\bar{P}_{x,y}$  を 3 つの '0' と 1 つの '1' とから成る  $2 \times 2$  行列として定義する . ただし, 先に選択した画素に対応する位置にある要素を '1' とする .
- 手順 3. 赤色成分において, 割り当てられたパッド対のうち, 手順 2 において選択された画素に対応する位置にある画素が  $R'(x, y)$  と等しいパッドを選択し,

赤色成分シェア画像の画素ブロック  $\bar{R}_{x,y}$  とする．  
他の色成分も同様に処理する．

画素ブロックを集めることでシェア画像  $\bar{\mathbf{R}} = \{\bar{R}_{x,y}\}$  ,  $\bar{\mathbf{G}} = \{\bar{G}_{x,y}\}$  ,  $\bar{\mathbf{B}} = \{\bar{B}_{x,y}\}$  が生成される．マスクシェアは  $\bar{\mathbf{P}} = \{\bar{P}_{x,y}\}$  で与えられる．

### 3.3 具体例

提案法の具体例を示す．ここでは，ディザ処理した画素  $f'(x,y)$  が黄色，すなわち，

$$R'(x,y) = 1 \quad (5)$$

$$G'(x,y) = 1 \quad (6)$$

$$B'(x,y) = 0 \quad (7)$$

とする．また，簡単のため，手順 1 において，水平，垂直，対角パッド対がそれぞれ，赤，緑，青色成分に割り当てられたとする．すなわち，

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \right\} \rightarrow \text{赤成分} \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right\} \rightarrow \text{緑成分} \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\} \rightarrow \text{青成分} \quad (10)$$

とする．さらに，手順 2 において， $2 \times 2$  画素の画素ブロック中，左上の画素が選択されたものとする．すなわち，

$$\bar{P}_{x,y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ここで，‘0’ と ‘1’ は白と黒を表す．

手順 3 において，色成分毎に，割り当てられたパッド対から 1 つのパッドが選択され，シェア画像の画素ブロックを構成する．この選択においては，パッドを構成する 4 画素のうち手順 2 で選択された画素（この例では左上画素）が，ディザ画素  $f'(x,y)$  と等しいことを規範とする．すなわち，式 (5), (6), (7), (11) から，画素ブロック  $\bar{R}_{x,y}$  ,  $\bar{G}_{x,y}$  ,  $\bar{B}_{x,y}$  は，以下ようになる．

$$\bar{R}_{x,y} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\bar{G}_{x,y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\bar{B}_{x,y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

すなわち， $\bar{R}_{x,y}$  ,  $\bar{G}_{x,y}$  ,  $\bar{B}_{x,y}$  の左上画素が，それぞれ  $R'(x,y)$  ,  $G'(x,y)$  ,  $B'(x,y)$  と等しくなっている．

### 3.4 特徴

2.1 で述べたとおり，従来法 [8] はすべての色成分に対して同一のランダムパッドを使用している．一方，提案法は，3 つの色成分それぞれに，異なるランダムパッドを使用しており，これによって，画素ブロックのグループ分けを困難にしている．すなわち，情報漏えいを抑制する．

例えば，図 4 (a) のように，1 つの黄色画素と 1 つの紫色画素とを考える．また，2.2 同様，不正者が赤色成分シェア画像  $\bar{\mathbf{R}}$  と緑色成分シェア画像  $\bar{\mathbf{G}}$  とを取得したと仮定する．式 (12), (13) から分かるとおり，提案法では，重畳した画素ブロックは取りうる 4 つの色（ $\bar{\mathbf{R}}$  と  $\bar{\mathbf{G}}$  との重畳では，赤，緑，黒，黄）すべてを含む．すべての組み合わせに対する例示は割愛するが，秘密画像の色に関わらず，また，重畳する色成分シェア画像の組み合わせに関わらず，2 枚の色成分シェア画像を重畳する限り，提案法ではすべての画素ブロックが同じ 4 色で構成され，グループ分けできない．したがって，従来法 [8] では 4/7 だった漏えい確率を，提案法は 0 にすることを可能としている．

一方，3 枚すべての色成分シェア画像が重畳される場合，提案法では，8 つの取りうる色が 2 グループに分類可能である．秘密画像の色が，赤，緑，青，白いずれかの場合，3 枚の色成分シェア画像を重畳した画素ブロックは，赤，緑，青，白それぞれ 1 画素で構成される．一方，秘密画像の色が，水色，黄，紫，黒いずれかの場合，重畳した画素ブロックは，水色，黄，紫，黒それぞれ 1 画素で構成される．このことから，秘密画像が 2 色で構成されている場合，提案法では 4/7 の確率で秘密画像の輪郭が漏えいする可能性がある．一方，従来法 [8] では，同条件での漏えい確率は 6/7 であり，提案法が漏えい確率を抑制していることがわかる．

また，2.2 で述べたとおり，従来法 [8] では，3 枚の色成分シェア画像が重畳される場合，8 つの取りうる色が 4 グループに分類される．これは，秘密画像が 4 色以下で構成される場合に，常に漏えいする可能性を有していることを意味し，実際，3 色の場合 4/7，4 色の場合 8/35 の確率で，それぞれ漏えいすることが明らかになっている [9]．一方，提案法では，上述のとおり，3 枚の色成分シェア画像が重畳されても，8 色が 2 グループに分類されるにすぎない．従来法 [8] においては，秘密画像が 5 色以上で構成されている場合に，輪郭の明確な漏えいはなくなるのに対し，提案法では，秘密画像が 3 色以上で構成されている場合に，同様の結果をもたらす．したがって，提案法は，より単純な配色の秘密画像に対しても，情報漏えいの可能性を低減していることがわかる．

なお，提案法は，復号化された画像が劣化する．2.1 で述べたとおり，従来法 [8] は，画素ブロック中 2 画素が黒

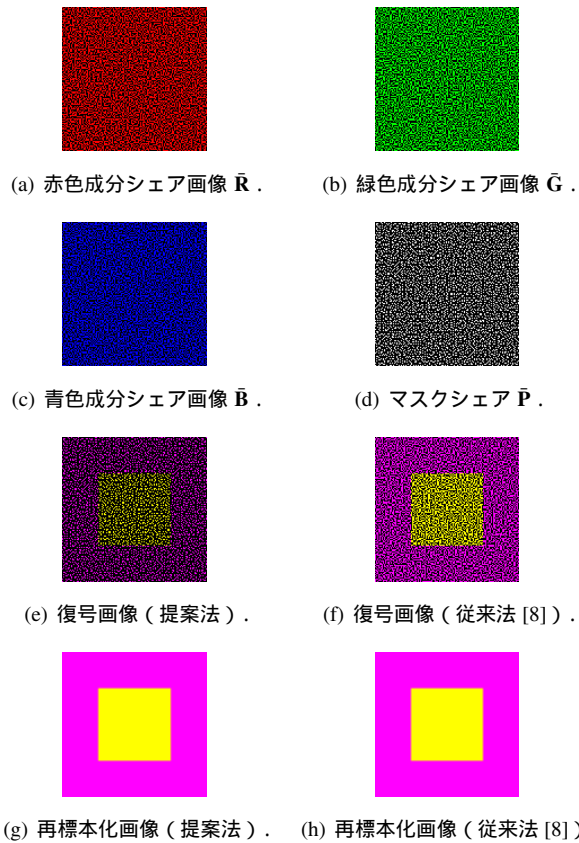


図 6: 2 色で構成される秘密画像に対する結果．各シェア画像と復号画像の画素数は  $128 \times 128$ ．再標本化画像と原画像の画素数は  $64 \times 64$ ．

色で，2 画素が色を復元している．一方，提案法では，マスクシェアの画素ブロック  $\hat{P}_{x,y}$  が 3 つの '0' と 1 つの '1' とから構成されている．したがって，提案法では，復号化された画像のコントラストが低下する．ただし，画素ブロック毎に秘密画素を表す画素のみ再標本化することで，秘密画像と同一画素数のディザ画像を完全に復元可能であり，低コントラストは現実には問題にならないと考えられる．

#### 4 実験結果

2 色で構成される秘密画像（図 4 (a) に示す）を提案法で処理した結果を図 6 に示す．同図からわかるとおり，各シェア画像は，ランダムなバイナリ画像であり，シェア画像から原画像を推定することは極めて困難である．図 6 (e), (f) から，提案法の復号化画像は，従来法 [8] より暗くなることが確認できる．しかし，再標本化画像（図 6 (g), (h)）は秘密画像と完全に一致している．

図 7 に，色成分シェア画像を重畳した結果を示す．従来法 [8] では，図 4 (d) に示すとおり，秘密画像の輪郭を明確に知覚することができるが，提案法では，図 7 (a) に

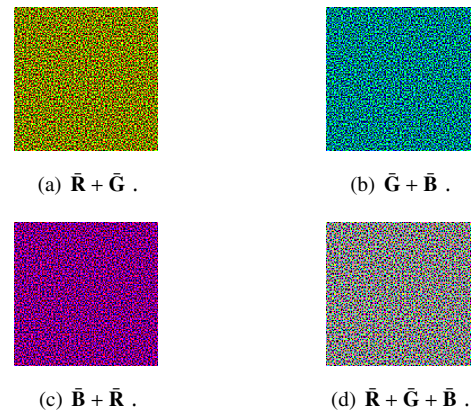


図 7: 提案法で色成分シェア画像を重畳した結果．秘密画像は図 4 (a)．

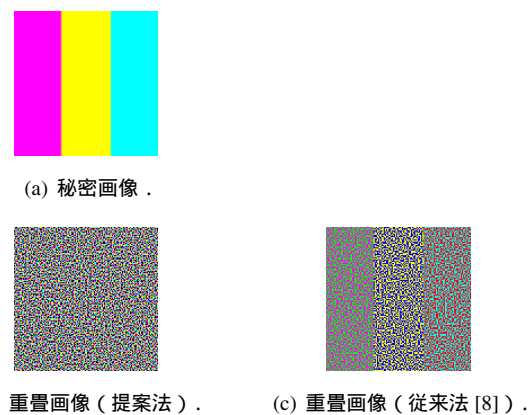


図 8: 3 色から成る秘密画像に対する結果．重畳画像は 3 つの色成分シェア画像をすべて重畳した結果．

示すとおり，同条件でも輪郭を知覚することができない．3.4 で述べたとおり，提案法では，2 枚の重畳画像に含まれる画素ブロックはすべて，4 つの決まった色の画素で構成されているためである．したがって，秘密画像の輪郭が漏えいすることはない．

3 色から成る秘密画像に対する結果を図 8 に示す．図 8 (b), (c) に示すとおり，従来法 [8] が秘密画像の輪郭を漏えいする一方，提案法は漏えいを防ぐことが確認された．

画像“Lena”に対する結果を図 9 に示す．同図 (a) はディザ処理した秘密画像であり，(b), (c) は，3 枚の色成分シェア画像を重畳し，さらに，画素ブロックをグループ毎に塗り分けた結果である．2.2 で述べたとおり，従来法 [8] では，{白，黒}，{赤，水色}，{緑，紫}，{青，黄} の 4 グループ毎に，同じ画素ブロックが重畳画像に現出する．図 9 (c) は，{白，黒}，{赤，水色}，{緑，紫}，{青，黄} に対応する画素ブロックを，それぞれ白，赤，紫，黄で塗り分けた結果であり，秘密画像の輪郭を容易に認めることができる．一方，提案法では，3.4 で述べたとおり，{

赤, 緑, 青, 白}, {水色, 紫, 黄, 黒}の2グループ毎に, 重畳画像の画素ブロックが同じ色で構成される. 図9 (b) は, 前者を白, 後者を紫で塗り分けた結果であり, 従来法よりも輪郭を知覚することが困難, すなわち, 情報漏えいを抑制していることが確認される.

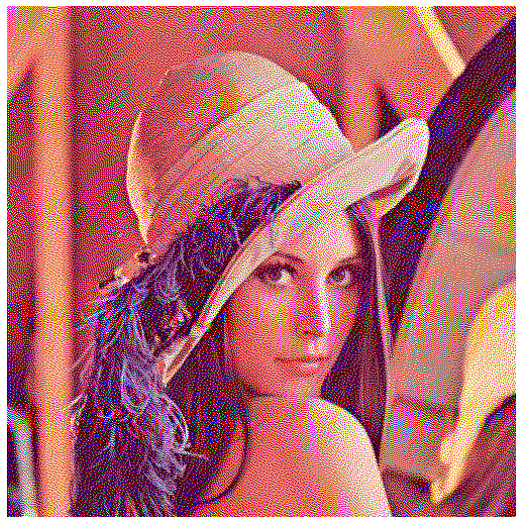
## 5 おわりに

本稿では, 2段階セキュリティを有するカラー画像のための視覚的秘密分散法の新しい手法を提案した. 従来法 [8] が1画素に対して1つのランダムパッドしか利用していなかったのに対し, 提案法は3つのランダムパッドを1画素に対して用いることで, 復号化画像のコントラストが低下することと引き換えに, 従来法が有する情報漏えいの可能性を低減した.

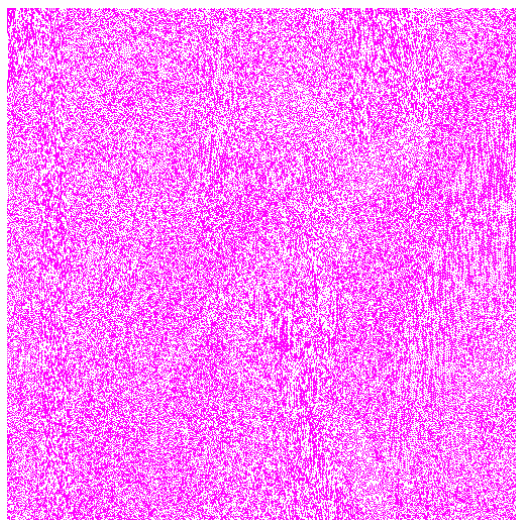
3枚の色成分シェア画像が重畳される場合の情報漏えいの完全な抑制は, 今後の課題である.

## 参考文献

- [1] A. Shamir, "How to share a secret," Commun. ACM, vol.22, pp.612–613, Nov. 1979.
- [2] M. Naor and A. Shamir, "Visual cryptography," Proc. IACR EUROCRYPT, LNCS, vol.950, pp.1–12, 1994.
- [3] G. Ateniese, C. Blundo, A. De Santis, and D.R. Stinson, "Extended capabilities for visual cryptography," Theor. Comput. Sci., vol.250, pp.143–161, Jan. 2001.
- [4] J. Weir and W. Yan, "Sharing multiple secrets using visual cryptography," Proc. IEEE ISCAS, pp.509–512, 2009.
- [5] A. Ross and A. Othman, "Visual cryptography for biometric privacy," IEEE Trans. Inf. Forensics Security, vol.6, pp.70–81, Mar. 2011.
- [6] R. Lukac and K.N. Plataniotis, "Colour image secret sharing," IEE Electron. Lett., vol.40, pp.529–531, Apr. 2004.
- [7] D. Jin, W.-Q. Yan, and M.S. Kankanhalli, "Progressive color visual cryptography," J. Electron. Imag., vol.14, Aug. 2005.
- [8] Y.C. Hou, "Visual cryptography for color images," Pattern Recognition, vol.36, pp.1619–1629, Jul. 2003.
- [9] B.W. Leung, F.Y. Ng, and D.S. Wong, "On the security of a visual cryptography scheme for color images," Pattern Recognition, vol.42, pp.929–940, May 2009.



(a) 秘密画像.



(b) 塗り分け画像 (提案法).



(c) 塗り分け画像 (従来法 [8]).

図9: 画像 "Lena" に対する結果.