

令和 元年 5 月 20 日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12433

研究課題名(和文) 視覚特性を利用した多視点ディスプレイによる情報ハイディング

研究課題名(英文) Study on information hiding using multi-view display applying human visual properties

研究代表者

宮田 一乗 (MIYATA, KAZUNORI)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：00308355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：(1) カラーパレットの色数に依存しない特徴量抽出手法を開発し、色数によらずパレットの美的評価が可能なモデルを構築した。(2) 多視点制約のもとで限定的な色(グレースケール)の組み合わせを最適化する手法を提案し、前後左右上下のどこからモデルを閲覧した場合でも、オリジナルの陰影を適切に表現することを可能にした。(3) 画像の重ね合わせで秘密が復号されるという視覚復号型暗号の生成手法を開発し、提案手法が2値画像だけでなく、グレースケール画像、カラー画像にも適用可能であることを示した。(4) 2次元平面上で定義された任意のプロットデータを球面上へマッピングする手法を提案し、没入的環境で観察を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した視覚復号型暗号の生成手法をベースに、離散的な色集合の美的調和の評価手法、多視点制約および色(階調)の幾何的制約下での空間配置の最適化、2次元プロットの球面へのマッピングを組み合わせることで、様々な情報ハイディングに応用できる研究基盤を構築できたと考える。本研究では情報ハイディングを研究課題として設定したが、研究成果は、ハイディングとは真逆の情報可視化への応用も期待できる手法である。また、情報ハイディング研究の新規分野開拓という学術的寄与のみならず、セキュリティ技術にSense of Wonderのようなエンタテインメント性を付加し一般の人々にも親しみやすい技術を提供できた。

研究成果の概要(英文)：(1) We proposed a computational design tool for rating a given palette and suggesting an additional compatible color for the palette. (2) We developed a method to determine the positioning of each cube so that the textures on each face of the cubes best approximate the original shading model under face visibility constraints of the model's orthogonal directions. (3) We proposed an approach to hide multiple images in meaningful shares. The proposed method was evaluated using binary, gray scale, and color images. (4) We propose a mapping technique for projecting 2D plots onto spherical surfaces so that a user can observe and analyze data in an immersive environment.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：情報ハイディング コンピュータグラフィックス カラーパレット マッピング

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究では、コンピュータグラフィックス(CG)の手法を用いて人間の視覚特性や、表示媒体及び閲覧時における周辺環境条件などの要因を考慮した多視点ディスプレイの生成手法を確立し、ステガノグラフィーや Visual Cryptography(VC)などと組み合わせることで情報ハイディングに応用する手法の開発及び新規分野の開拓を目的とする。CG 分野での多視点ディスプレイの多くはエンタテインメントへの応用を指向しており、情報ハイディングを意図したものはほとんどない。他方、ステガノグラフィーや VC 等の情報ハイディング分野における既存研究は、生成画像自体の品質向上や安全性評価を目的としたものが多く、多視点ディスプレイや特定環境条件下でのみ秘密情報の復号が可能になるなどの外的要因を含む研究は提案者らの知る限り行われていない。

昨今の、誰もがインターネットやソーシャル・ネットワークキング・サービスを利用する状況に鑑みるに、情報セキュリティに対する配慮は一部の IT リテラシーを有し、IT を活用する専門家だけに必要な状況ではなくなり、一般のエンドユーザも含むすべてのユーザが情報セキュリティに配慮する必要があるというのが現状である。しかしながら多くの場合、情報セキュリティを確保することは手軽さや容易さを犠牲にするというトレードオフの関係にある。本研究では、CG 分野の知見を、情報ハイディングを含むセキュリティ分野に応用する手法を提案していくことで情報セキュリティ分野の新たな方向性の開拓に繋がると考える。また同時に、CG という視覚にアピールする成果を利用することで「楽しい情報セキュリティ」を達成できると考える。例えば、秘密情報を復号した際の驚き(Sense of Wonder)を、CG 技術を用いることで一層増進することができるが、これは広告やサービス(イベント)への応用が期待されるだけでなく、一般のひとに対して情報セキュリティを楽しく親しみやすくすることにも寄与することが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚特性などを利用した多視点ディスプレイによる情報ハイディング技術、特にユーザに Sense of Wonder のような驚き、面白さを提供できるようなエンタテインメントへの応用を指向した手法を確立、提案することである。

3. 研究の方法

- (1) まず、本研究では「色」が人間の視覚認知上重要な要素であり、また「色」の使われ方、組み合わせ方は国や地域、文化圏によって傾向が異なること、及び個人でも当人の美的評価の仕方によって好み異なるなど、その多様性・多峰性を上手く評価できるモデルを構築するため、色の組み合わせ、すなわちカラーパレットの調和具合、色集合としての一貫性を評価できる予測モデルを構築する。機械学習を用いてモデルの特徴量に対する重みを学習することで、学習データセットをカスタマイズすることで評価予測モデルを様々な価値基準に適用するようカスタマイズすることが可能となる。また、当該モデルを応用することで、所与のカラーパレットに対して調和する(一貫性のある)色を提案するサンプリングベースの手法を構築する。2次元パターンへの着色や写真のリカラーリングなど様々な応用例を提示することで当該手法のエンタテインメントへの応用可能性を例示する。
- (2) 次に、多視点制約のもとで限定的な色(グレースケールの階調)の組み合わせを最適化する手法を提案する。ここでは、各面がグレースケールの階調(=6階調)で着色された立方体の集合で3次元モデルを近似する手法を構築する。高解像度の3次元モデルを低解像度でボクセル化しようとした場合、その詳細形状(情報)が失われてしまう。提案手法を用いることで、前後左右上下のどこから当該ボクセルモデルを閲覧した場合でも6階調に着色された立方体(ボクセル)が元の高解像度3次元モデルの陰影を表現するように最適な姿勢で配置されるため、オリジナルの陰影を適切に表現することが可能となる。初期姿勢(すべての立方体が同じ方向を向いている)やランダムに回転させた姿勢では適切な陰影を表現できないため、立体感を表現できないが、提案手法で適切な姿勢を計算することで立体感のある陰影を表現できる。立方体を適切な姿勢で配置することでディテールを復元できる、これは逆に言えば、各立方体の適切な姿勢での配置がディテールを復元するための鍵であり、ディテールを隠蔽(暗号化)・復元(復号)する情報ハイディング技術と言える。
- (3) 3つ目の手法では、複数の秘密画像を復号可能な特殊なパターンで構成される画像を生成する。これは隠蔽したい秘密画像(S_1, S_2, \dots)、隠蔽先となるカバー画像(C_1, C_2, \dots)、そして秘密を復元するための鍵となるカバー画像(C_{key})が与えられると、 C_{key} と C_1 を重ねることで S_1 が復号され、 C_{key} と C_2 を重ねることで S_2 が復号されるようなピクセル配置パターンとなるように C_k 、および C_{key} を拡張する手法であり、視覚復号型暗号の新規的な提案である。ここで、カバー画像をシェアと呼び、 C_{key} は特にコモン・シェアと呼ぶ。提案手法では、前計算として事前にシェア/コモン・シェアの可能なすべての重ね合わせパターンを計算することで高速に視覚復号型暗号の要件を満たすパターン生成を可能とする。本提案ではさらに生成されたシェアの美的品質を向上させるためにピクセルパターンを再配置する最適化を行う。

- (4) 4 回目の手法では、2 次元平面上で定義された任意のプロット(点群)データを球面上へマッピングする手法を提案している。球面ディスプレイは外側から球面を見た場合、全方向から当該ディスプレイを見ることができ、また内側から球面を見た場合は全周囲がディスプレイであるような多視点ディスプレイである。本手法の特徴は2次元プロットを球面上へできるだけ大きくかつ歪みが小さくなるようにマッピングすることを可能とする点である。そのようなマッピングを達成するために、本研究ではいったん球に外接する立方体の展開図を考え、当該展開図へのプロットの最大内接射影を計算、その後 Elliptical Grid マッピングを用いて立方体各面上の点群を球面上へマッピングするというアプローチを提案する。最大内接射影の計算は最適化問題として定式化し、粒子群最適化により求解を行う。

4. 研究成果

- (1) 1 回目の手法による結果を図 1 に示す。3 色のカラーバリエーションのペン(および当該 3 色のカラーパレット)が与えられた場合、提案手法を用いることでそのカラーバリエーションの美的評価を予測することができる。さらに、構築した予測モデルを追加色提案手法に应用することで、当該 3 色のカラーバリエーションの調和、一貫性を維持したまま 7 色のカラーバリエーションへと自然に拡張できている様子が確認できる(図 1 右)。



図 1. 本手法の応用例. 左 : 3 色のカラーバリエーションのペン(上段). 右 : 本手法で構築した評価予測モデル及び追加の調和色提案手法を用いて左下段の 3 色カラーパレットの調和具合を評価し、調和し一貫性のある色を追加して 7 色に拡張した結果.

- (2) 2 回目の手法による結果を図 2 に示す。図 2 左はドラゴンの 3 次元モデルを提案手法により 6 階調の着色立方体の集合モデルに変換した結果。オリジナルのドラゴンの陰影が上手くキャプチャされているのが確認できる。また、図 2 右は各立方体の配置のしかたの違いによって知覚されるディテールを比較したものである。各立方体が初期姿勢のままのもの(no rotation)や、各立方体にランダムな回転を与えて配置したもの(random rotation)では、立体感は上手く知覚されない。他方で、提案手法を用いて元モデルの陰影をできるだけ表現するように最適な回転を求めて立方体を配置したものは、ディテールを上手く着色キューブが表現した立体感のあるものとなっている。

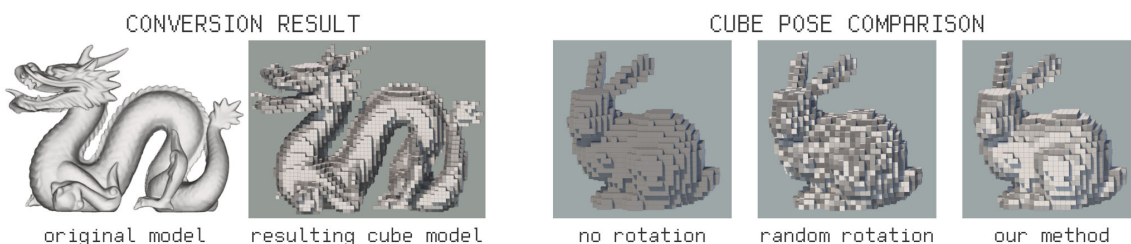


図 2. 左 : ドラゴンの 3 次元モデルを提案手法により 6 階調の着色立方体の集合モデルに変換した結果。右 : 各立方体の姿勢による陰影知覚の比較 (no rotation : 各立方体が初期姿勢のもの, random rotation : 各立方体をランダムな回転を加えて配置したもの, our method : 提案手法を用いてもとの陰影をできるだけ表現する最適な回転を求めて立方体を配置したもの)。

- (3) 3つ目の手法, コモン・シェアを用いた(k, n)-EVCS法による結果を図3に示す. この例では, 上段の3枚の絵がシェアと呼ばれるもので, さらに中央の絵はコモン・シェアと呼ぶ. 左のシェアとコモン・シェアを重ね合わせることで左下の絵が, 右のシェアとコモン・シェアを重ね合わせることで右下の絵が復号される. すなわち, 提案手法を用いることで上の3枚の絵に下の2枚の絵を隠蔽することに成功している. 提案手法の独創的な点は, コモン・シェアと重ね合わせるシェアの組み合わせによって復号される秘密パターンが変わる点であり, これは人びとの Sense of Wonder を喚起し得るため, エンタテインメントへの応用が期待される.

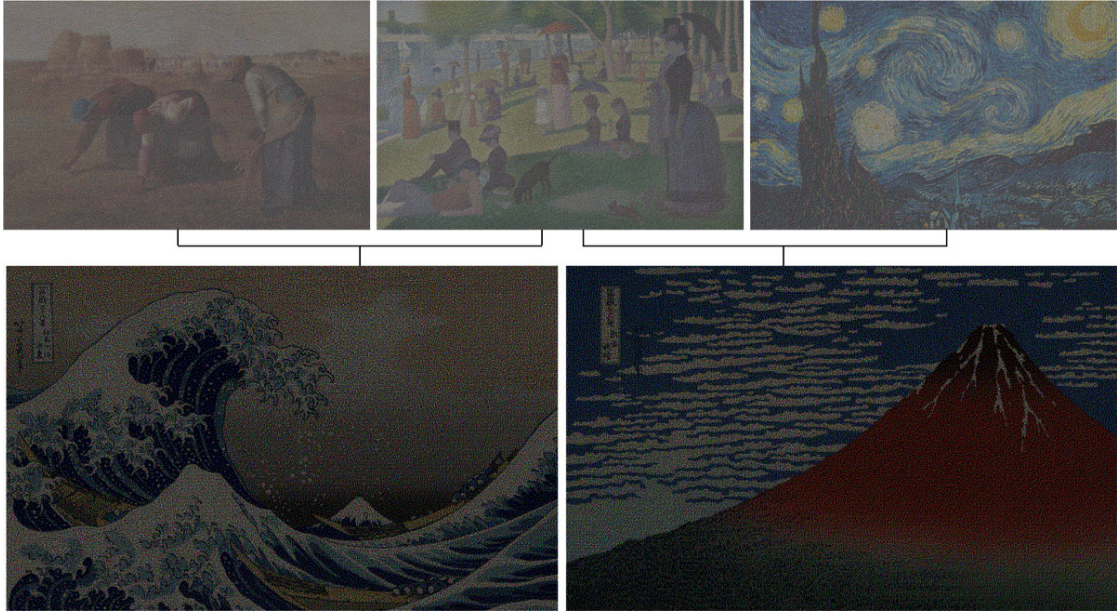


図 3. 提案手法によるコモン・シェアを用いた(k, n)-EVCS法による結果. 上段の左の絵と中央の絵を重ね合わせることで左下の絵が, 上段右の絵と中央の絵を重ね合わせることで右下の絵が現れる.

- (4) 4つ目の手法による結果を図4に示す. 図4の4つの結果は各右上に示した2次元プロットを球面上へ歪みを抑えつつも球面を広く覆うようにマッピングした結果である. 本研究では没入的な環境におけるデータ可視化を応用例のひとつとして提示しているが, 提案手法では任意の2次元プロットを扱うことができ, 3つ目に提案した「コモン・シェアを用いた(k, n)-EVCS」と組み合わせることで「非ユークリッド空間(球面)における視覚復号型暗号」という新たな研究分野開拓に繋がる提案を行うことが可能となった. 本研究はその基礎を成すものであり, 今後は当該分野における研究を展開していく予定である.

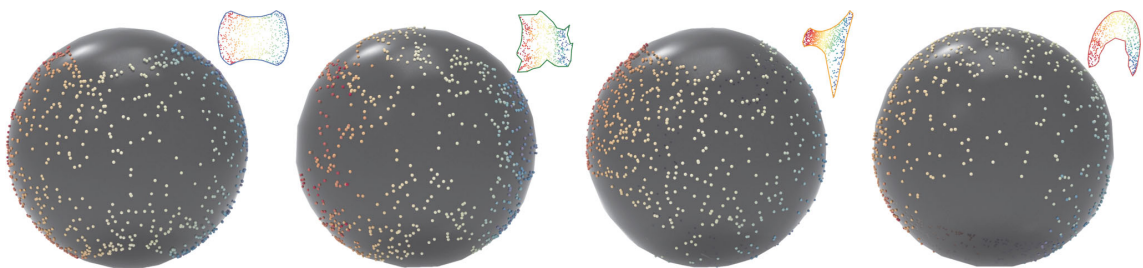


図 4. 提案手法を用いて右上に示す2次元プロットを球面上へマッピングした結果.

以上から, 3つ目に提案した「コモン・シェアを用いた(k, n)-EVCS」をベースに, 1つ目の離散的な色集合の美的調和の評価手法, 一貫性評価モデルや2つ目の多視点制約, 色(階調)の幾何的制約下での空間配置の最適化, 4つ目の2次元プロットの球面へのマッピングを組み合わせることで, 様々な情報ハイディングに応用できる研究基盤を構築できたと考える. 本研究では情報ハイディングを研究課題として設定したが, 研究成果であるこれらの提案手法は, ハイディングとは真逆の情報可視化への応用も期待できる手法である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

- ① 北直樹, Grégoire Cliquet, 宮田一乗, “没入的 VR データ可視化のための 2 次元プロットの球面マッピング”, 画像電子学会誌, Vol. 47, No. 4, pp. 425-432 (2018) 査読有
- ② N. Kita, K. Miyata, “Magic sheets: Visual cryptography with common shares”, Computational Visual Media, Vol. 4, No. 2, pp. 185-195 (2018) 査読有
DOI: 10.1007/s41095-018-0108-x
- ③ N. Kita, K. Miyata, “Aesthetic Rating and Color Suggestion for Color Palettes”, Computer Graphics Forum, Vol. 35, No. 7, pp. 127-136 (2016) 査読有
DOI: 10.1111/cgf.13010

〔学会発表〕(計 5件)

- ① 北直樹, Grégoire Cliquet, 宮田一乗, “没入的 VR データ可視化のための球面への 2 次元プロットのマッピング”, 第 26 回 Visual Computing (VC 2018), 山形, 2018 年 6 月
- ② N. Kita, K. Miyata, “Magic Sheet: Visual Cryptography with Common Shares”, Computational Visual Media Conference (CVM 2018), Shanghai, China (April 2018)
- ③ 北直樹, 宮田一乗, “任意の色数のカラーパレット評価および追加色提案手法”, Visual Computing/グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2016, 東京, 2016 年 6 月
- ④ N. Kita, K. Miyata, “Cube Art”, ACM SIGGRAPH ASIA 2016 Posters, ACM SA '16, Article 30, pp. 30:1-30:1, Macau (December 2016)
- ⑤ N. Kita, K. Miyata, “Aesthetic Rating and Color Suggestion for Color Palettes”, Pacific Graphics (PG 2016), Okinawa, Japan (October 2016)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

- ① Magic Sheet プロジェクトサイト, <https://naokita.xyz/MagicSheet/index.html>
- ② Color Palettes プロジェクトサイト, <https://naokita.xyz/ColorPalette/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：北 直樹

ローマ字氏名：KITA NAOKI

研究協力者氏名：グレゴア クリケット

ローマ字氏名：Grégoire Cliquet

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。