

高密度ピンマトリクスを利用した触覚秘密分散法の研究

Tactile Secret Sharing Scheme with High-density Pin-rod Matix

仲谷正史† 土屋美由紀‡ 梶本裕之† 関口大陸† 川上直樹† 舘暉†
 Masashi Nakatani Miyuki Tsutiya Hiroyuki Kajimoto Dairoku Sekiguchi Naoki Kawakami Susumu Tachi

1. はじめに

2次元の情報源から何らかのフィルタを通すことで3次元情報を生成する手法の提案が、本研究の目標である。

そのようなフィルタとして、本稿では高密度ピンマトリクス(Pin Matrix, 以下 PM)をフィルタとして利用することを考える。これは主に垂直方向に動くそれぞれ独立なピンを多数有するものであり、テクスチャの上におくだけでPM固有の空間周波数でテクスチャの高さ情報を離散的にアナログサンプリングする一種のフィルタとして機能する。筆者らはこれまでに高密度PMを用いることで、ピン型触覚ディスプレイによって任意のテクスチャを呈示する際に得られる感覚をヴァーチャルに実現する手法を示している[1]。本研究では、PMの離散性を利用して、秘密分散法を用いた秘匿触覚情報の生成・再現手法を提案する。この手法は、ある位置に存在するホールを有する2次元情報テクスチャ(暗号)と、特定の情報を取得するために必要なPM(復号キー)を製作することで、3次元(正確には2.5次元)の形状情報を取得(復号)することが実現できる。以下のセクションにおいて、過去に行われてきた秘密分散法に関する研究に触れ、それを秘匿触覚情報生成問題に適用する手法を述べる。その後、実際に製作した結果を示し、将来の展望を述べる。

2. 秘密分散法と視覚秘密分散法

秘密分散法とは、秘密にしておきたい情報をいくつかの「分散情報」に分け、それをいくつか集めると元の情報が復元することを可能にする手法のことである。その中でも、(K, N)しきい値法とは、秘密情報をN個の「分散情報」に分け、任意のK($\leq N$)個集めると秘密情報が復元に復元できるが、N個のうちどの(K-1)個をもってしても秘密に関する情報を再現できない手法である。

通常の秘密分散法の解釈はコンピュータによって処理を行わなければならないが、一方で岩本は視覚秘密分散法という手法でその解決法を提案している[2]。これは、2枚の画像を重ね合わせることで、アナログ演算を行い、人間の目で見るとすぐに解釈できているかどうかを判別できる手法である。本研究では、この白黒情報を高さ情報に変換することを考える。詳しい実装方法を次のセクションで述べる。

3. 製作

3.1 秘匿情報生成アルゴリズム

本研究では簡単のために16x16ピクセルから構成される2次元テクスチャを図1のように情報領域とノイズ領域の2つに分割し、情報領域にのみ秘匿すべき情報を与える。

† 東京大学大学院 情報理工学系研究科

‡ 東京大学工学部 計数工学科

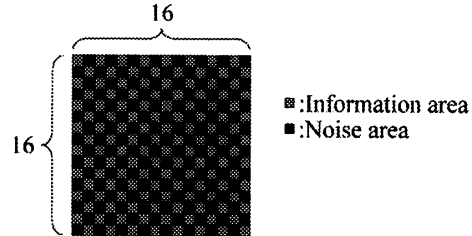


図1 テクスチャの情報領域とノイズ領域への分割

ノイズ領域には、情報領域の情報が目で見えて読めないようなノイズを与える。本研究では2値情報を再構成できるものと複数階調の高さ情報を含んだ秘匿情報テクスチャを製作した。以下に製作した2種類のプロトタイプについて述べる。

3.2 2値情報を含んだ触覚秘密分散テクスチャ

図2のような3種類のパターンを、1つのテクスチャに隠蔽し、それぞれを3つのPMによって復号することを考える。まず、与えたい信号を情報領域のみにサンプリングする(図3参照)。テクスチャ側には、情報領域にサンプリングした3つの情報の和集合を求めた後に、ノイズ領域に前述の和集合とあわせてホール全体が一様になるようにノイズの配置を決定する。ピンアレイ側にはまず得たい情報部分にピンを配置する。さらには、テクスチャのノイズ領域のうちホールでない部分とノイズピンが重ならないように注意しながら、ノイズホールの一部にノイズピンを配置する。このような手順によってテクスチャと特定の形状を復元するためのPMを決定することができる。図3において、テクスチャ側には色のないところにホールを削り、ピンは色のあるところに配置した。実際に製作した秘匿情報を含んだテクスチャとPMを図3に示す。このようにして、2値情報を有する秘密分散法の暗号化・復号化を2次元テクスチャとPMによって実現した。

3.3 複数階調を含んだ触覚秘密分散テクスチャ

次にテクスチャのホールの径に注目して、2次元テクスチャから2値ではなく高さ方向に複数階調を持つ情報を再構成することを試みた。前節と比較して、ピンがホールを完全に通過できるようにピン直径0.8mmに対してホール直径0.9mmとしていたのに対して、テクスチャに削るホールの径を変化させることによって、ピンがホールの途中で止まるようにすることが可能となる。これにより、ホールを通るか通らないかの2値ではなく、ピンがホールに入り込む深さを変えることによって階調を増やすことを提案する。これにより、視認できない違いであるが、高さ方向の分解能の高い触覚を通してならば知覚することができるのではないかと期待した。本実験では、図5のように中心に行くほど盛り上がる円形状の再現を試みた。今回は1つのパターンを提示することを目的とするため、前節とは異なり、情報領域でも円情報以外の部分にはノイズ(擬似情報)を付

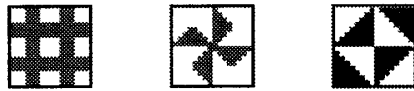


図2 実験に用いた秘密分散ターゲット形状

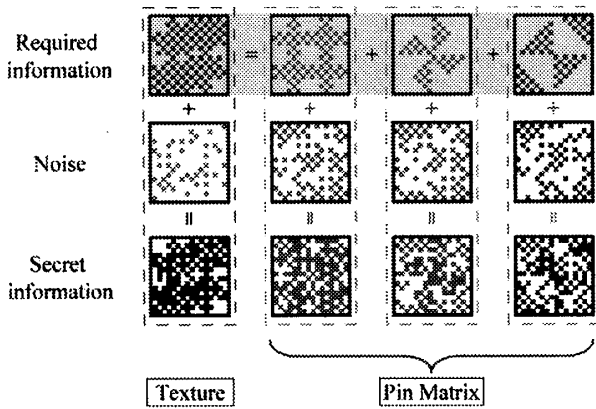


図3 2値情報を含んだ触覚秘密分散テクスチャ

加した。その理由は、ホール分布を目で見ても一様なものとするためである。まず、前節と同様に円形状を情報領域にサンプリングを行い(図5内①),円情報を得る。円情報を含まない情報領域の一部にノイズを与えることで擬似情報(図5内②)を製作する。一方、ノイズ領域のうち一部分にノイズ情報(図5内④)をテクスチャに与える。今回は高さ方向に階調のある形状を製作するため、擬似情報領域とノイズ部分は比較的に大きなホール(0.7mm)を削ってピンの高さを下げ、情報領域では所望の高さを実現するために、呈示すべき高さにあわせて削るホールの径を調整した。今回はピンが配置されていない部分にはテクスチャ側にホールを削る必要はないが、目で見てもテクスチャに秘匿されている情報を推定できないよう、小さいホールを開けた(図5内③と⑤)。テクスチャの小さいホールは3種類(0.3mm, 0.4mm, 0.6mm)であり、中心部が高いガウシアン形状をし、ノイズとなる小さいホールの大きさは一様になるように配置した。製作したテクスチャとPMを重ね合わせることならかなガウシアン形状を呈示することに成功した。

4. おわりに

本稿ではテクスチャとピンマトリクス(PM)に秘密分散法を適用した触覚情報を隠蔽する手法を提案した。この手法によって、ある特定の位置にある大きさのホールを有する2次元情報(暗号)と、ある特定のPM(暗号キー)を製

作するだけで、高さ方向の2値情報もしくは4階調を持つ3次元起伏形状情報を復元することが可能となった。今後の検討課題として、PMのサイズに対して秘匿できる情報量を見積もる必要がある。特に触覚呈示の観点から、階調のある触覚情報を呈示するために必要な高さ分解能の知見に基づき、ピンの径およびテクスチャ側のホール径を設計する必要があるだろう。これに基づき、隠蔽することのできる情報量を検討してゆく。

今回提案した触覚秘密分散法は、本稿では触覚情報呈示を考えたが、PMによる物理的な演算という利点を生かし

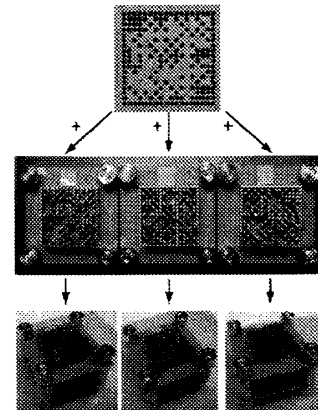


図4 2値情報を含んだテクスチャ・PMの製作例

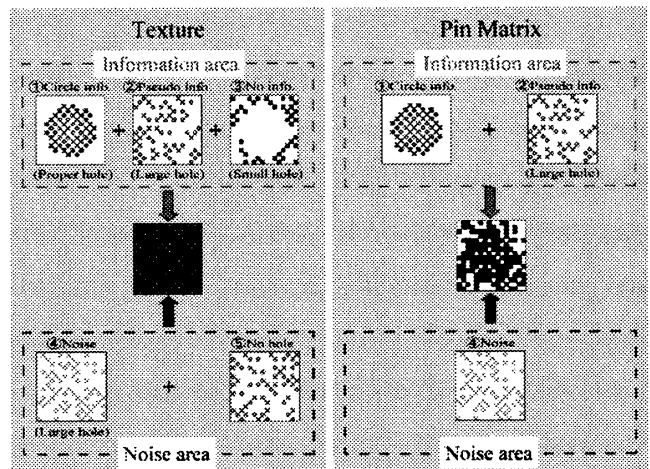


図5 複数階調を含んだ触覚秘密分散テクスチャと製作例

て、セキュリティ性の高い錠前と鍵の製作につなげることができないかと考えている。今回は簡単のために情報領域とノイズ領域を交互に配置したが、アナログ鍵として使う場合ならば情報領域とノイズ領域の分布は任意に決められ、ピンマトリクスが有するピンの本数が $N \times N$ のピン数であれば、 $2^{(N \times N)}$ 通りの組み合わせが考えられる。これより、非常に組み合わせ数の多い錠前と鍵を作ることができ、かつ、機械的な演算であるために、電気等のエネルギーを必要せずにセキュリティ性の高いものを作ることができる。その場合には本稿が示したとおり、視覚や触覚において意味のある情報にとらわれることなく満遍なく情報を分散させることができる。その他、提案手法は、触覚QRコードとしての応用することも可能かもしれない。触りたいテクスチャ形状を呈示するために、さまざまな径の穴を加工したテクスチャを用意しておけば、静的な刺激ではあるが、簡易的な触覚ディスプレイとして機能させることができるだろう。

参考文献

- [1] 仲谷 et al., "高密度ピンアレイによる触覚呈示の可能性," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005, 1P1-N-103, 2005.
- [2] 岩本真, "General Construction Methods of Secret Sharing Schemes and Visual Secret Sharing Schemes," 東京大学大学院情報理工学系研究科博士論文, 2004.