

令和 2 年 7 月 11 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00248

研究課題名(和文)幾何学模様への情報秘匿と生地認証への応用

研究課題名(英文) Information hiding in geometric patterns and its application to fabric authentication

研究代表者

伊藤 浩 (ITO, Hiroshi)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：10514151

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、数学的に深く研究され、また、装飾的にも重要な二つの幾何学模様を取り上げ、これらの模様と情報を関連付ける手法を開発した。一つの模様はドラゴン曲線と呼ばれる線画である。この模様は一定の規則にしたがって区間ごとに左右どちらかに曲がることにより、竜のような形状を描き出すことができる。他の模様はペンローズ模様と呼ばれる空間充填模様である。この模様は、2種類のタイルを敷き詰めることによって平面に複雑な模様を生成することができる。さらに、開発した手法を織布の識別に応用し、織り方に不規則性を与えてこれを検出する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

幾何学模様は古来より装飾を目的として建築や工芸品に利用されてきた。一方、QRコードのように、機械への情報伝達を目的とする幾何学模様が広く用いられている。今後は、ウェアラブルコンピュータや拡張現実技術の発達により、幾何学的なマーカーによるコンピュータへの指示、情報伝達がさらに重要になると考えられる。本研究の成果は、伝統的な幾何学模様を機械へのこのような情報伝達的手段として用いることを可能にするものである。また、織布の識別技術は衣料品の贋作防止に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed methods to associate information to two traditional geometric patterns, which have been studied mathematically and used as an important ornamental tools as well. One is the dragon curve, generated by line drawing turning right or left periodically yielding a shape like a dragon. The other is the Penrose tiling, which tessellates a plane with two types of basic tiles called dart and kite. We also applied the developed method to cloth authentication by loosing the periodic pattern of vertical and horizontal strings and by detecting the resulted irregularity.

研究分野：画像情報処理

キーワード：幾何学模様 QRコード ARマーカー 情報秘匿 符号化 復号

1. 研究開始当初の背景

幾何学模様は古来より建築物や工芸品の装飾に広く利用されてきた。日本の文様やイスラム模様など、世界中に、その文化特有の幾何学模様が存在している。また、文字や記号は情報を伝達するための一種の幾何学模様である。近年、コンピュータが普及して、機械に情報を伝えるための幾何学模様が使われるようになった。バーコードやQRコードはその代表的なものである。最近では、めがねの中に特殊な表示装置を埋め込み、現実の世界に情報を重畳して表示する拡張現実と呼ばれる技術が普及しつつある。ここでも、情報を提示する位置を正確に決めるための「AR マーカー」と呼ばれる幾何学模様が使われている。しかし、QRコードやバーコードは情報伝達の機能が優先され、美しさやさりげなさなどの審美的な側面はほとんど考慮されていない。また、AR マーカーは、画像の中の特徴的なパターンの位置によって識別されるので、一般に同じパターンが数多く含まれる幾何学模様の識別は難しい。このようなことから、伝統的な幾何学模様は、コンピュータへの情報伝達的手段として有効とは考えられておらず、利用されることはほとんどなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来、装飾が目的であった幾何学模様に情報を付与して、情報伝達に利用できるようにすることである。また、この技術を応用して、織布の認証・識別を可能にすることである。

Figure 1 に本研究で対象とする 2 つの幾何学模様を示す。左はドラゴン曲線、右はペンローズ模様の例である。ドラゴン曲線は一筆書きの線画であり、1 区間を進むとある規則に基づいて右または左に方向を変える。この曲線は紙テープを折り重ねて広げた時にできる模様として知られている。図は 6 回折りのパターンである。ペンローズ模様はダートとカイトと呼ばれる 2 つの基本タイルを敷き詰めてできる平面模様である。一般にタイルを敷き詰める平面模様には周期性が発生するが、ペンローズ模様はこの周期性がないことが特徴である。

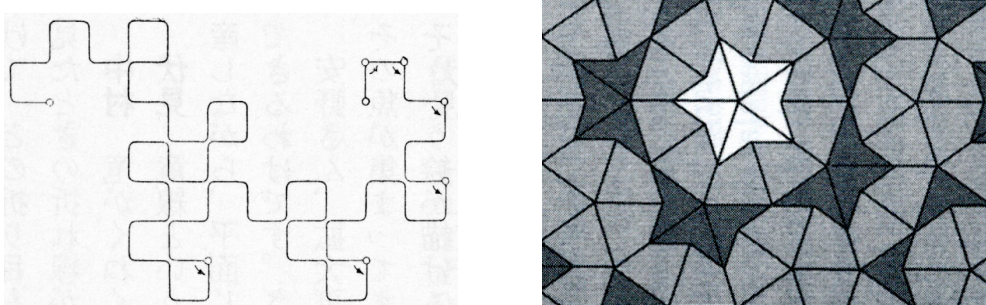


Figure 1: ドラゴン曲線 (左) とペンローズ模様 (右)(それぞれ文献 [1, 2] より)

織布と幾何学模様との関連は Figure 2 から理解される。図は縦線と横線が交差する模様であり、2 つの図形では交差のしかたが異なっている。この交差を観察することによって、2 つの図形は異なるものと識別される。一方、織布は縦糸と横糸を織り込んだものであり、周期的に縦糸と横糸を上下させて作るため、普通はこの交差は規則的に生じる。そこで、この交差を部分的に故意に乱して織布を製作すれば、模様の不規則性から特定の織布を識別することが可能となる。

3. 研究の方法

幾何学模様に情報を付与するための研究方法は次の通りである ; (1) 幾何学模様に関するこれまでの研究の調査、(2) 情報の付与方法の検討、(3) 符号化と復号方法の検討、(4) コンピュータシミュレーションによる検証。符号化とは情報が与えられたときに、その情報に対応する図形を生成することである。復号は逆に図形から情

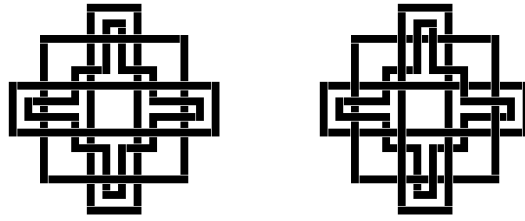


Figure 2: 交差のあるイスラム模様

報を復元することである。織布の認証については、(1) 技術調査、(2) 情報付与方法の検討、(3) 情報検出方法の検討、(4) 織機による試験布の製作、(5) 情報検出の実験の手順にしたがって研究を進めた。

4. 研究成果

(1) ドラゴン曲線への情報付与 本来のドラゴン曲線の書き順は1通りであるが、この書き順に自由度を与えることにより、同じ形状のドラゴン曲線を異なるものとして識別できるようにした。Figure 3は6回折りのドラゴン曲線の書き順を変えたものである。この形状には6通りの書き順がある。これらに1~6のインデックスを与える。インデックスと形状は以下のように対応させる。曲線を最初からたどり、方向を変える毎に、右なら0、左なら1を与えると、書き順に特有の2進数が生成される。この2進数とインデックスの対応表を作成する。符号化の場合は、表によりインデックスを2進数に変換し、この2進数に従って曲線を描けばよい。復号の場合は、曲線をたどって2進数を求め、これを表でインデックスに変換すればよい。コンピュータシミュレーションにより、符号化と復号ができることを確認した。ドラゴン曲線の複雑さを変えると情報量は飛躍的に増大する。7回折りは432通り、8回折りは126992448通りの書き順がある。

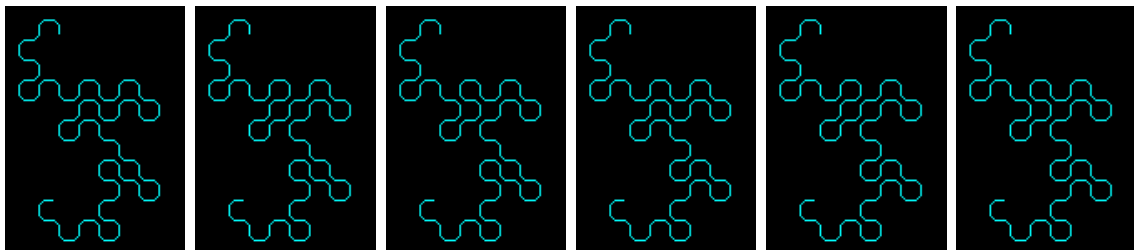


Figure 3: 書き順の異なるドラゴン曲線

(2) ペンローズ模様への情報付与 ペンローズ模様はドラゴン曲線のような線画ではないので、まったく異なる手法が必要である。ここでは、ペンローズ模様の持つinflationと呼ばれる性質を利用して情報を付与する。inflationはタイルを組み合わせてより大きなダートまたはカイトを生成することである。inflationを繰り返していけばいくらかでも大きな模様を作ることができる。Figure 4は、黒いカイトから初めて、カイト→カイト→ダートの順にinflationを適用してできた模様である。1つのinflationで生成された模様は、そこに含まれる他の任意のタイルから順序の異なるinflationによって生成できる。したがって、模様の中のすべてのタイルはinflationの順序によって一意に識別される。そこで、ペンローズ模様の特定のタイルを識別することによって、この模様へ情報を与えることにした。このタイルをベーススタイルと呼ぶ。目の視覚特性を利用して、人間にはベーススタイルを他のタイルと識別できないようにした。コンピュータは識別して情報を復号できる。符号化と復号のため、inflationの順序とインデックスの対応表を用いる。符号化では、インデックスをinflationの順序に変換して、ベーススタイルからinflationを行い、模様を生成する。復号では、ベーススタイルを検出したのち、可能なinflationを行い、模様と一致するものをパターンマッチングの手法を用いて検出する。inflationの順序

を確定し、これを対応表でインデックスに変換して情報を復号する。符号化と復号の処理が期待通り行えることをコンピュータシミュレーションにより確認した。

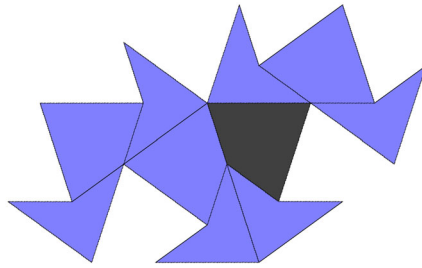


Figure 4: インフレーションによる模様 of 拡張

(3) 織布の認証 Figure 5 は平織りのパターンを崩す方法を示している。平織りは左図のように縦糸と横糸が交互に上下に入れ替わって交差する最も基本的な織り方である。この上下上下というパターンを、4本の糸について、一度だけ上上下下というパターンに崩した織り方を右図に示す。図で赤い印をつけた部分で交差が入れ替わっている。このパターンでは、同じ交差の連続は最大2であり、平織りを崩す方法の中で、同一交差の連続が最小である。同一交差がなるべく連続しないようにすることによって、織布の強度を低下させることなく情報の付与が可能になる。Figure 6 は綾織りを崩す方法である。綾織りでは、交差パターンは上上下下が繰り返される。このパターンの一部を上上下下と上下下下に崩す。これにより、同じ交差の連続が最大3となるようにしている。

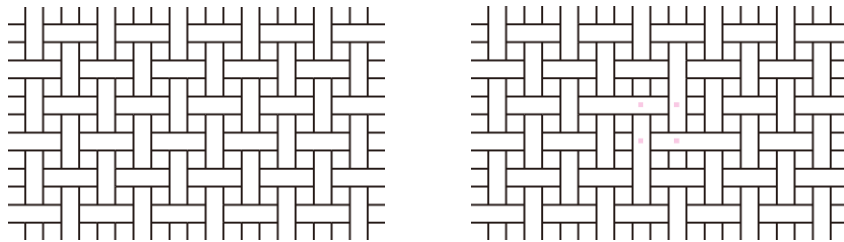


Figure 5: 平織りの崩し方

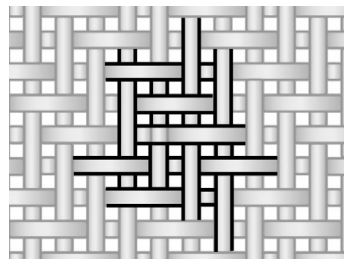


Figure 6: 綾織りの崩し方

Figure 7 の左の写真は、この崩し方を適用して実際に作成した平織りの織布をスキャナで取り込んだ画像である。ここで、この画像から埋め込まれた不規則性を検出する方法は以下の通りである。まず、Sobel フィルタを用いて縦糸と横糸の検出を行う。Sobel フィルタは方向性を持つので、縦の変化に反応するものと横の変化に反応するものを組み合わせ、縦の変化が横の変化より大きければ横糸、そうでなければ、縦糸がそれぞれ上にあると判定するようにした。Figure 7 の右に、横糸が上にあると判定された領域を黒く表示した画像を示す。次に

横糸が上にある画素の座標をクラスタリングの手法を用いてクラス分けする。Figure 7 の右の図で、赤く表示された点は、検出されたクラスタの中心である。ここで、赤い点から一定の距離にある範囲において、縦糸と横糸の画素の割合を計算する。Figure 8 はこの値をプロットしたものである。規則的な平織りの場合はこの値のばらつきは少ない。グラフではこの値を青線で示してある。値の平均値は $\mu = 0.450$ 、標準偏差は $\sigma = 0.0266$ となった。規則性を崩して情報を埋め込んだ織布から検出した縦横の割合を赤でプロットした。交差の異なる4か所において、値が大きく変化していることがわかる。この値は $\mu \pm 5\sigma$ の範囲外にある。この実験結果から、平織りの不規則性は局所的な縦横の分布の変化により検出できることが示唆される。

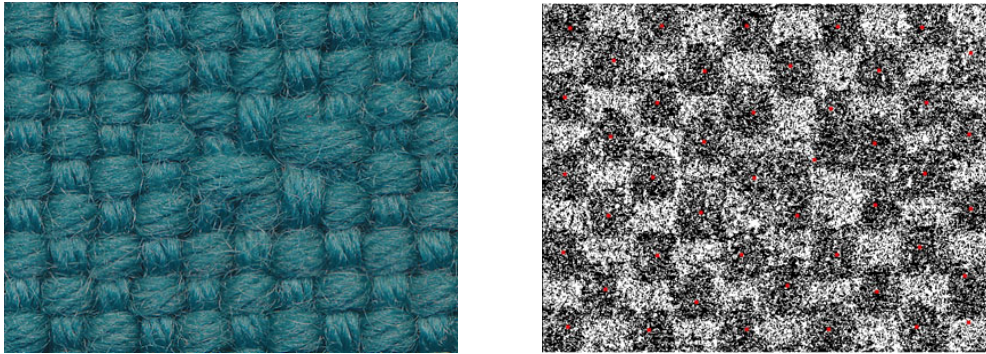


Figure 7: 情報を付与した織布 (左) と横糸の検出結果 (右)

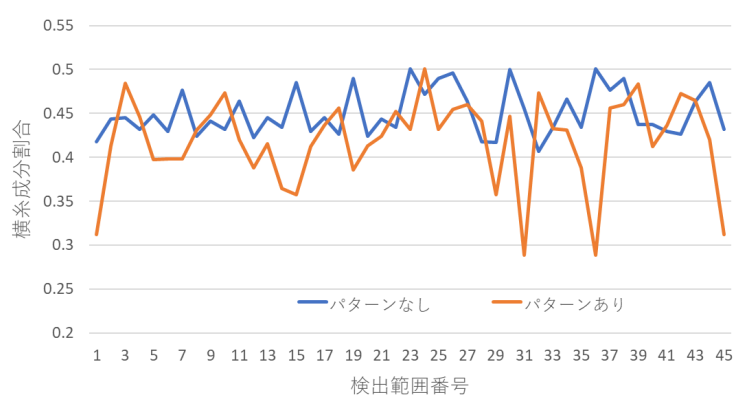


Figure 8: 検出結果

References

- [1] 伏見、安野、中村、美の幾何学、早川書房、2010.
- [2] M. Gardner, Penrose Tiles to Trapdoor Ciphers: And the Return of Dr Matrix, The Mathematical Association of America, 1997.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiroshi Ito	4. 巻 2019
2. 論文標題 Information hiding in geometric patterns and its application to fabric authentication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 96-98
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.21820/23987073.2019.10.96	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Ito	4. 巻 2020
2. 論文標題 Unique Indexing of Penrose Tiles and its Application to Information-bearing Markers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 2nd International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3399637.3399655	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 尾崎宗一郎、伊藤 浩
2. 発表標題 幾何学模様のARマーカー
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Ito and Shun Ogiue
2. 発表標題 Unique Indexing of Penrose Tilse
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Ito
2. 発表標題 Dragon Curves as An Information Bearing Mark
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考