

令和元年6月7日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00233

研究課題名（和文）5次元ライトフィールドディスプレイの構成と新しい生体認証ディスプレイの開発

研究課題名（英文）Encoded display system based on individuality of the human visual system by using 5D light field display

研究代表者

坂上 文彦（Fumihiko, Sakaue）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00432287

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、人間の視覚特性を暗号復号の鍵として利用することで、ユーザが暗号の復号を意識することなく、暗号化情報を閲覧可能なシステムについて研究を行った。この方法では、光の分光分布が制御可能な5次元ライトフィールドディスプレイを構成し、これを用いて特定の視覚特性を持つ人間のみが閲覧可能な画像情報を提示する。そのために、効果的な5次元ライトフィールドディスプレイの構成方法について検討した。また、視覚特性における個人性の計測方法と、その利用方法について検討を行った。これらを組み合わせることで、視覚特性を鍵とする暗号化ディスプレイが構成可能であることをしめした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で提案したシステムは、情報化社会における情報伝達手段において最も脆弱とされている人間に対する直接的な情報提示に着目したものである。これは、パスワード管理のわずらわしさを伴うことなく安全な情報提示を実現した方法と考えられ、ソーシャルハッキングと呼ばれる直接的な情報の盗撮やパスワード取得への対抗手段として有効と考えられる。

研究成果の概要（英文）：We proposed an image displaying system which represents encoded images by visual system individuality. In this system, the encoded images are represented on the display and the images are decoded by the characteristics of a target human. The target cannot notice image decoding because the encoded images are decoded by his visual system. In contrast, another user cannot observe the images because characteristics of their visual systems are different from the target. By this natural image decoding system, we achieve secure displaying system which disturbs voyeur. For this objective, we constructed 5D light field display system which can control general light field as well as light spectrum. In addition, we propose measuring system of individuality visual systems. We also propose multiplex image projections based on the measured visual characteristic. In the multiplex image projection, observers observe different images along with their characteristics.

研究分野：コンピュータビジョン，ライトフィールド画像処理

キーワード：ライトフィールドディスプレイ 暗号化画像提示 生体認証ディスプレイ 画像の多重投影 5次元ライトフィールド

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の情報通信技術の発展に伴い、様々な情報がネットワーク上でやりとりされるようになってきている。このような通信において、重要な情報の送受信を行う場合には、その情報をどのようにして秘匿するかが重要となる。そのため、暗号化等のセキュリティに関する技術の研究が広く行われており、強固な暗号化技術が数多く提案されている。このような情報の暗号化技術では、ネットワーク上を流れる情報、あるいはメディア等に保存された情報の保護に主眼が置かれており、これらについてはある程度の安全性が確保されているといえる。しかし、ユーザが受け取った情報を閲覧する場合、保護された情報は一時的に保護を解かれ、文字や画像といった何らかの視覚的な情報としてディスプレイなどの提示装置を通じてユーザへと提示される。このとき提示される情報はすでに保護が解除された生の情報であるため、このような情報を盗撮などにより不正に取得されてしまうと、容易に情報が流出してしまう危険性がある。このような問題を解決するためには、提示する情報に対しても暗号化を施す必要がある。しかし、強度の高い暗号化技術が提示情報へと適用されてしまった場合、閲覧を許可された正規ユーザも他の不正なユーザと同様に情報を閲覧することが困難となってしまふ。これにより、情報取得に関する利便性が大幅に取得してしまふ。このような問題を解消するためには、正規のユーザに対しては容易な情報閲覧提供でき、かつ、敵対的な不正ユーザに対しては情報の取得を困難なものにするような新しい情報提示技術が必要となる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、上述した問題を解決可能な新しい情報提示技術を提案する。本研究ではこのような目的のために以下を満たす技術の開発を目指す。

1. 対象とするユーザが不便さを感じることなく通常の方法と同様に情報を閲覧可能である。
2. 不正な情報取得を試みるユーザが情報の取得を容易に行うことができない。

まず、1. が示すことはユーザの利便性低下の抑制である。最も単純な情報の不正な閲覧（盗撮）を妨げる方法は、他のユーザが直接的に提示した情報を観測することができないようにすることである。これの実現は、対象としたユーザ以外が提示画面を閲覧できない状態にしてしまうことで達成できる。そのため、ヘッドマウントディスプレイなどを用いて情報の提示を行えば、これを実現できる。しかし、このような特殊なディスプレイの装着はユーザの大きな負担となり、長時間の使用には大きな疲労が伴うといった問題がある。したがって、なるべく通常のディスプレイを観測している場合と同様の状態で情報を取得可能であることが望ましい。よって、1についてはユーザが裸眼の状態でも目標とする画像情報を取得可能とすることとする。

次に2についてであるが、これは復号に関する困難性である。先述のとおり通常のディスプレイは盗撮や盗み見等に対して脆弱であるため、セキュアなシステムを構成するためにはこれらに関する対策が必要と考えられる。しかし、近年はカメラの小型化なども進んでおり、これを完全に抑止することはできない。そのため、本研究で提案する方法はたとえ盗撮が行われた場合でも、容易に元の情報を復元することができない情報提示を実現することで、情報の漏洩を抑制する。これらを実現可能なディスプレイシステムおよび画像提示法の実現を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的達成のために、本研究では人間の視覚特性を鍵とする5次元ライトフィールドドデ

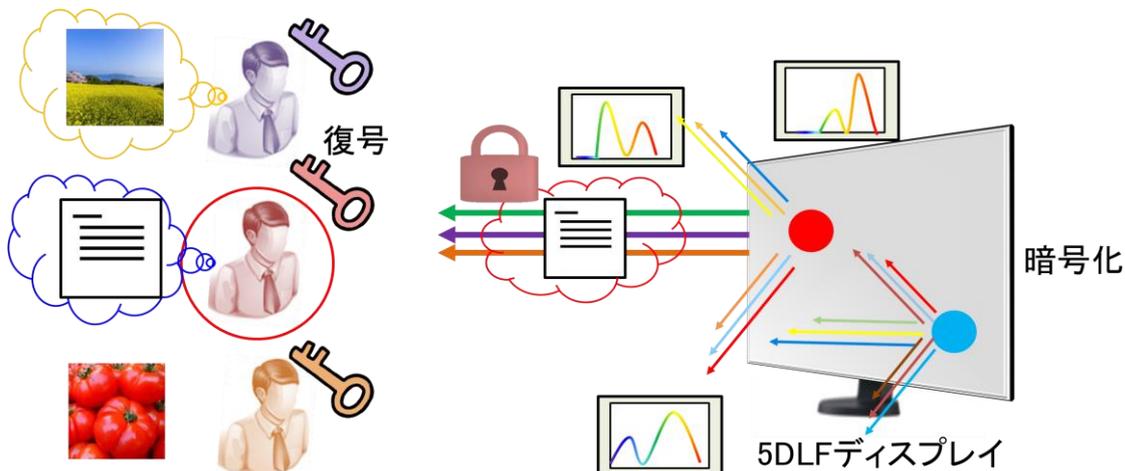


図 1: ライトフィールドディスプレイによる暗号化画像提示

ディスプレイを用いた暗号画像提示を提案する。本研究のシステムイメージを図1に示す。この方法では、人間が持つ固有の視覚特性を情報の復号を行うための鍵とみなし、特定の個人でのみ情報の復号が可能、つまり閲覧が可能な画像の提示を目指す。そのために、5次元ライトフィールドディスプレイの構成と、それを用いた暗号化画像の提示方法について研究を行う。ここでライトフィールドとは、空間を飛び交う光線の集合を表現したものであり、人間の視覚ではこれらの光線を集めることで画像の観測が行われている。ライトフィールドディスプレイとは任意のライトフィールドを発生させることが可能なディスプレイであり、様々な方向に異なる光線を投影することを可能としている。例えば、通常のディスプレイは異なる方向から観測を行った場合でも観測像が変化しないのに対し、ライトフィールドディスプレイでは方向に応じて観測される画像を変化させることが可能である。このようなディスプレイを利用することで、視力の低下した観測者に対してもボケの少ない画像を観測されることが知られている。これは、視力の低下した観測者の特性に応じたライトフィールドを発生させることで実現される技術といえる。この技術を応用することで、特定の視覚特性を持つ観測者だけが観測可能な画像提示を実現できる。

また、通常のライトフィールドディスプレイは4次元の光線情報を取り扱うことが可能であるが、本研究ではこれに光の分光分布を加えた5次元ライトフィールドを取り扱える5次元ライトフィールドディスプレイを構成する。このようなディスプレイを用いることで視覚系における光の集光特性だけでなく、色の感じ方(分光感度特性)についても利用することができる。これにより、各個人の視覚特性をより細かく表現することが可能となり、より強度の高い暗号化画像提示を実現することができる。また、このディスプレイはその名前が示す通り5次元の情報提示を行っている。したがって、情報の不正取得のためにこのディスプレイ上に提示される情報を盗撮しようとする場合、通常のディスプレイとは異なり、5次元ライトフィールドの盗撮が必要となる。このような盗撮システムの実現は通常のカメラによる盗撮と比較してきわめて困難であり、この特性からも安全性を確保することができる。

以上の方法を実現するために、本課題においては直接的に暗号化画像を行う方法に加えて、ライトフィールドの提示を行うためのライトフィールドディスプレイの構成方法に関して検討を行う。さらに、人間の視覚特性のうち暗号化に利用可能な特性について検討を行い、それらを用いた特殊な画像提示について研究を行う。

4. 研究成果

まず、本課題におけるメインテーマであるライトフィールドディスプレイを用いた暗号化画像提示に関する研究成果について報告する。この方法では、図2に示すように、マルチバンドプロジェクタとパララックスバリアを利用して5次元ライトフィールドディスプレイを構成した。ここでマルチバンドプロジェクタとは通常のプロジェクタと比較してより多くの帯域の光を投影可能なプロジェクタであり、これを用いることで、提示画像中の分光感度を制御することを可能としている。また、このようにして投影されたマルチバンド画像をスクリーンにより拡散し、その前面にパララックスバリアを配置することで、方向ごとに異なる画像を観測させることを実現した。さらに、このようなライトフィールドディスプレイ上に、特定人物のみに観測可能な画像を提示することで、対象となる特性をもつ人物のみに目標画像を提示可能であることを確認した。これにより、対象人物は目標の画像を復号・観測することが可能となり、その他のユーザには異なる画像を観測させる暗号化画像提示を実現できた。図2に実際に用いたシステムとそれを特性の異なるカメラで観測した結果の例を示す。この結果を見ると、それぞれのカメラが異なる画像を観測しており、暗号化画像提示が実現できていることがわかる。

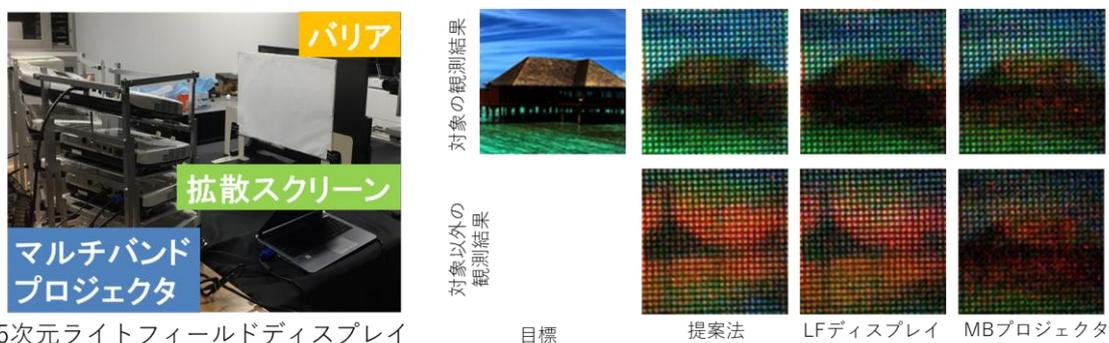


図 2 : 5次元ライトフィールドディスプレイの暗号化画像提示結果

次に、ライトフィールドを発生させる方法についていくつかの検討を行った。当初の予定ではマルチバンドプロジェクタとパララックスバリアを併用する予定であったが、これ以外にもいくつかの方式について検討し、一定の成果が得られた。

まず、散乱媒体をスクリーンとして利用する方法について検討した。この方法では、散乱媒体に入射した光が様々な方向へと拡散される性質をあらかじめカメラで計測しておき、そのよ

うな広がりを点広がり関数 (PSF : Point Spread Function) の集合により表現した. この組み合わせにより, 様々な方向に対して任意の画像を提示する方法を検討した. この結果, スクリーンを異なる方向から観測した場合, 異なる画像を観測可能であることが確認でき, 拡散媒体を利用した場合でも, ライトフィールドディスプレイを構成可能であることを示した. 図3はシステム構成と同一の画像を異なる視点で観測した際に得られた画像の例である. 視点ごとに異なる画像が観測できており, 拡散媒体を用いたライトフィールドディスプレイを構成できていることがわかる.



図 3 : 散乱媒体を利用したライトフィールドディスプレイ

また, 暗号化に利用する人間の視覚特性として, 時間応答特性についても検討を行った. 時間応答特性とは, ある光を観測した際にその光が消えた場合でも観測が一定時間持続する (残効) 特性をあらわしたものである. このような特性が個人ごとに異なるのであれば, このような特性を視覚特性の一つとして暗号化に利用することが可能である. そのため, まず複数の人物に対してこのような時間応答特性の計測を行い, 特性が互いに異なることを確認した. さらに, このような特性が異なる人物に対して異なる画像を観測させる方法について検討し, カメラを用いたシミュレーション実験において特性ごとに異なる画像を観測させられることを確認した. 図4は計測された時間応答特性と, 実際にその特性を再現した異なるカメラで観測された画像である. それぞれ異なる画像を観測できていることから, 時間応答特性についても暗号化に利用可能であることが確認できた.

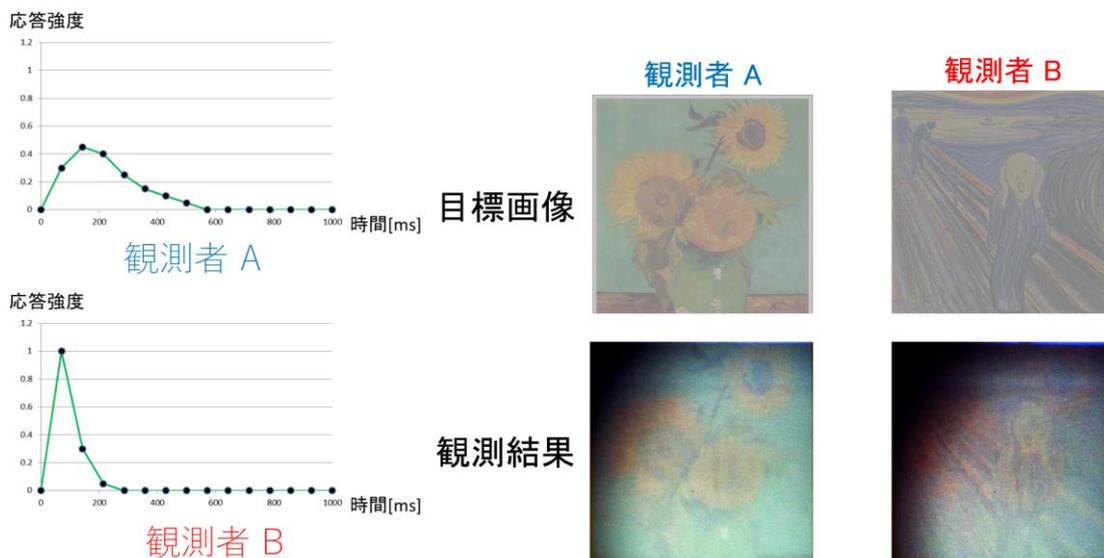


図 4 : 時間応答特性の計測とそれを利用した人物ごとの画像提示

また, 人間の視覚特性を利用する方法の検討に当たり, 特に視力特性を計測する方法について検討した. この方法では, ライトフィールドディスプレイを用いてユーザに対して特殊なライトフィールドを提示し, 視力に応じて異なる画像を観測させる方法について検討した. これにより, ユーザが何を観測したのかを確認することで詳細な視力特性を計測することが可能となる. このような方法を用いることで, 視力測定に一般に用いられるランドルト環では計測できないような遠視や近視, さらに乱視といった詳細な特性を計測することが可能となる. この研究においては, そのような計測を行うためのライトフィールドの構成方法について検討を行い, シミュレーション実験において視力特性に応じて異なる画像を観測させられることを確認した. 図5にシミュレーション環境を用いてユーザの乱視特性ごとに異なる画像を観測させ

た場合の結果を示す。この図を見ると、乱視軸が変化した場合に全く異なる画像が観測されており、提案法により視力の特性を計測可能であることがわかる。この結果から利用することで、特殊な装置を用いることなく詳細な視力特性を計測可能であることが確認された。

Axis(乱視軸)	20	90	160	180
PSF				
目標画像				
観測画像				

図 5 : ライトフィールドディスプレイによる視力計測

さらに、視覚特性を利用した方法として、分光感度特性と時間応答特性を併用した方法についても検討を行った。この方法では、視覚特性のうち色の感じ方に関する分光感度特性と、先述した時間応答特性を組み合わせることで、より詳細な視覚特性の利用が可能であるかについて検討を行った。そのために、それぞれの特性が異なる複数の人物に対して異なる画像を提示する方法について検討を行い、両方の特性を併用する方法が分光感度特性、時間応答特性を単独で用いる場合と比べてより異なる画像を提示可能であることが確認できた。図 6 は実環境において 2 つの特性を併用した場合と、それぞれの特性を単独で使用した場合の結果を比較した結果である。この結果を見ると、2 つの特性を併用することで、単独の特性を利用した場合と比べてより鮮明な画像分離が実現できていることがわかる。

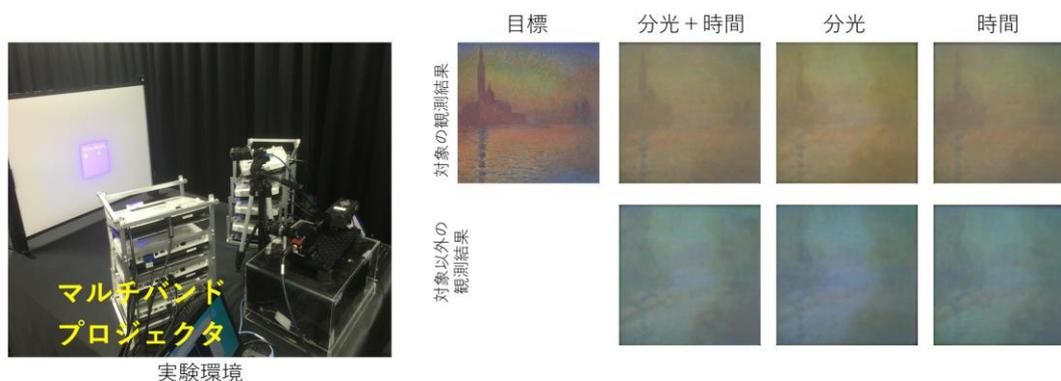


図 6 : 分光感度特性と分光分布を利用した画像提示

以上の通り、本課題においては 5 次元ライトフィールドディスプレイを用いた暗号化画像提示に関する研究を行い、それが実現可能であることを示した。それに合わせてライトフィールドディスプレイの構成方法について様々なアプローチを検討した。また、暗号化に利用可能な視覚特性として、人間の視力(レンズ特性)、分光感度特性、時間応答特性について検討を行い、これらを利用することで、特定の人物に対して特定の画像を観測させられることが確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 2 件)

- ① A. Furukawa, F. Sakaue, J. Sato, Natural Stereo Camera Array using Waterdrops for Single Shot 3D Reconstruction, International Conference on Computer Vision Theory and Applications(VISAPP2019), 2019
- ② 松本 康輔, 坂上 文彦, 佐藤 淳, 大雨における雨滴除去画像と雨滴水面形状の同時推定, 第 24 回 画像センシングシンポジウム (SSII2018), 2018
- ③ 丹羽 亮太, 坂上 文彦, 佐藤 淳, 5 次元ライトフィールドディスプレイを用いた暗号化画像提示, 第 21 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2018), 2018
- ④ 山田 浩樹, 坂上 文彦, 佐藤 淳, 人間の分光感度特性と時間応答特性に基づく高精度な多

- 重画像投影, 第 23 回 画像センシングシンポジウム, 2017
- ⑤ 山田浩樹, 坂上文彦, 佐藤淳, 分光感度特性と時間応答特性の差異に基づく高精度な多重画像投影, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2017
 - ⑥ E. Yuasa, F. Sakaue, J. Sato, Generating 5D Light Fields in Scattering Media for Representing 3D Images, Computational Cameras and Displays, 2017
 - ⑦ D. Ikeba, F. Sakaue, J. Sato, Showing Different Images to Observers by using Difference in Retinal Impulse Response, International Conference on Image Analysis and Processing, 2017
 - ⑧ M. Hori, F. Sakaue, J. Sato, Measuring Refractive Properties of Human Vision by Showing 4D Light Fields, International Conference on Image Analysis and Processing, 2017
 - ⑨ 堀 恵実, 坂上文彦, 佐藤淳, ライトフィールドディスプレイを用いた視力特性計測, 第 19 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016), 2016
 - ⑩ 池場 大樹, 坂上文彦, 佐藤淳, 視覚の時間応答の差異を利用した多重画像投影, 第 19 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016), 2016
 - ⑪ 湯浅 詠梨, 坂上文彦, 佐藤淳, 拡散媒体へのライトフィールド投影による 3 次元映像提示, 第 19 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016), 2016
 - ⑫ 坂上 文彦, 山口 哲矢, 佐藤 淳, プロジェクタ投影光の時間積分に基づく運動情報の映像化, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2016

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 佐藤 淳

ローマ字氏名: (SATO, Jun)

※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。