

光線空間変調による認証システム — 認証情報の不正コピー防止のための光線空間変調システム —

庄 沓[†] 長原 一[‡] 谷口 倫一郎[‡]

Tuo Zhuang^{†1} Hajime NAGAHARA[‡] and Rinichiro TANIGUCHI[‡]

[†]九州大学システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744
¹ソニー株式会社システム研究開発本部 〒141-0032 東京都品川区大崎 2 丁目 10-1
[‡]九州大学システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

E-mail: [†]newzhuang80@gmail.com

あらまし 本研究は光線空間の変調と復調を利用した光学式認証システムに関するものである。本稿の提案手法では、画像のような認証情報を光線空間の光量分布として扱い、各々の光量を持つ光線を特定な表面形状を持つ光線空間変調器に掛け、変調された光線空間を新たな認証情報として利用する。また、変調器と双対となるような復調器を変調器に対して特定な位置と姿勢で配置することで本来の光線空間が復調され、元の認証情報を復元できる。これによって、認証情報は光線空間変調によって復調器を持たないユーザから隠ぺいされ、認証情報の漏洩を防ぎ、より安全な認証システムを実現する。実験では、情報を隠ぺい可能なことを試作品実験で示し、その有効性を確認した。

キーワード 光学, 認証, 隠ぺい, 安全性, 光線空間, 変調, 復調

1. はじめに

光学情報を利用した光学式認証システムが多くの場面で使われている。たとえば免許証またはパスポートを使った身分確認([1])や、紙に印刷された QR コードやバーコードを使った本人確認([2])など、どれも認証情報をカメラで画像として取得し、その画像情報を照合するものである。また、このような認証システムの多くは空港などのような公の場で使われることが多く、不特定多数の人が周囲にしながら重要な個人データが入っている認証情報を開示することによって個人データが漏洩するリスクが高まる。本研究では、認証情報の提示から、認証システム(図1の a)による情報の取得までの過程を光線空間の伝搬として考え、この光線空間を変調させることで上記のようなリスクを軽減するシステム(図1の b)を提案する。このような光線空間変調によって、認証情報を権限のない第三者から隠ぺいされ、情報漏洩を防ぐことが可能。

光線空間は観測シーンからの光の光量分布を表し、光線をその位置 (X, Y, Z) , 角度 (θ, ϕ) , 時間 (t) , 波長 (λ) の7次元の光量分布として表現される。本研究では特に光線空間の位置 (X, Y, Z) と角度 (θ, ϕ) に注目する。また、光線空間の変調に関する研究([2], [3], [4], [5])が最近注目され、さまざまな応用に用いられている。

本研究では、このような光線空間の変調を利用して、図1bで示すシステムを提案する。ユーザから提示された認証情報である2次元画像(文字やコードなど)投影パターンを光線空間変調器により変調する。この変調投影情報を復調器を持たない通常のカメラや肉眼

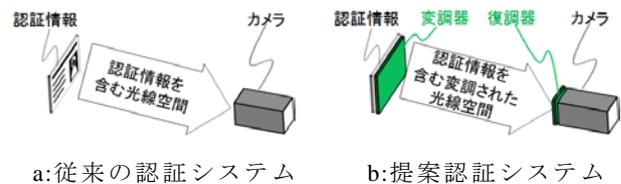


図1:提案手法と従来手法の違い

で観測すると、元の画像が観測できないので本来の認証情報が隠ぺいされたことになる。一方で、光線空間復調器を搭載したセンサにより、特定な位置・姿勢においてのみ光線空間の復調が可能となり本来の認証情報を得ることができる。つまり、復調器および観測位置姿勢も符号となっていることから、よりセキュアな光学認証が実現できる。

2. 提案手法

2.1. 認証システム

本研究で提案する認証システムを図2に示す。提案システムでは、照明部から $M \times N$ 画素の画像(認証情報)を入力とし、 $M \times N$ 個の光量を持つ平行光として出射させる。また、屈折率 n を持つ透明な材質から作られる光線空間変調器と復調器を使用する。変調器と復調器の片面は $M \times N$ ブロックに分割され、ブロックごとにユニークな傾きを持つ。このブロック毎に独立した屈折を用いてブロック毎に光線方向を制御することで、投影パターンの光線空間を変調する。図2に示す、変調された投影パターンの光線空間は本来とは異なる進行角度を持つため、元のパターンの視認が不可能となる。これによって、認証情報を光学的に隠蔽することが可能となる。

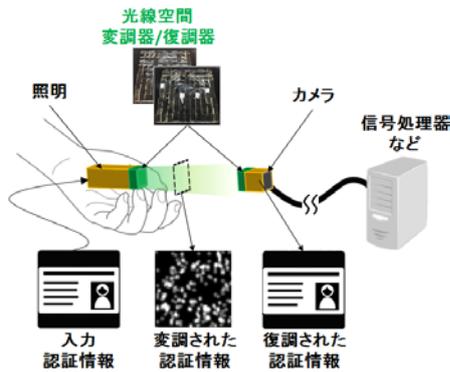


図 2:提案システムの模式図

一方、復調器では変調器と同様、片面に $M \times N$ ブロックに分割され、変調された投影パターンを元のパターンに復調するように設計されている。つまり、復調器を通すことで、元の光線空間が再構成され投影パターンの観測が可能となる。これら変調器と復調器の位置や姿勢は厳密に同じ関係無くてはならないことから、この位置姿勢の条件も符号として働く。

提案システムでは、入力する光線の向き (θ, φ) と、変調器の復調器に対する位置 (X, Y, Z) を設計することで光線空間に対する変調を実現しているため、本来の認証情報である 2 次元の画像にさらに 5 次元の光線空間情報を加えた認証情報を生成する。

次節では本節で述べたシステムを実現する光線空間変調器と復調器の設計方法を説明する。

2.2. 光線空間変調器と復調器の設計方法

本節ではまず光線空間基本的な表現方法から説明する。前述の通り、本研究では 5 次元の光線空間を考える。光線空間の光量分布を下式のように表す。

$$I = F(x, y, z, \theta, \varphi) \quad (1)$$

つまり、光線空間を光線の出発点位置と進行方向で表現可能。なお、以後の説明は 1 本の光線の XZ 平面上での振る舞いのみであり、3 次元空間中では同様なことを YZ 平面で実施すればよいのでここでは省略する。

まず、光線を図 3 のように表現する。図 3 の X_z は、点 (x, z) に角度 θ で進入する光線を表している。本研究では、レンズ設計などで使われる ABCD 行列表現 ([6]) を使って、下式のような行列を利用する。

$$X_z = \begin{bmatrix} x \\ \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

本研究では、基本的に図 3 で示したような光線の透過 (図 4a) と空間伝搬 (図 4b) を利用する。図 4 では、屈折率がそれぞれ n_1 と n_2 を持つ物質の界面 (傾きが θ_0) に、進入角 θ を持った光線が位置 x から入射することを考える。この時、スネルの法則により、進行角 φ_0 を持つ屈折光は式 3 のように表される。また、図 4 の b で示したように、空間中に距離 d だけ伝搬した光線は式 4 のように表現される。

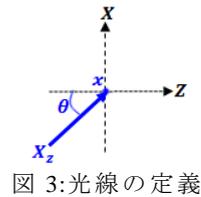


図 3:光線の定義

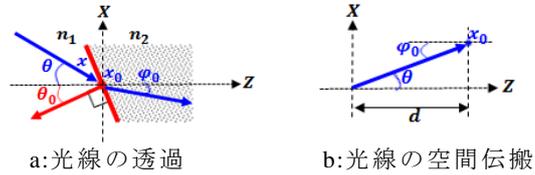


図 4:光線の透過と伝搬

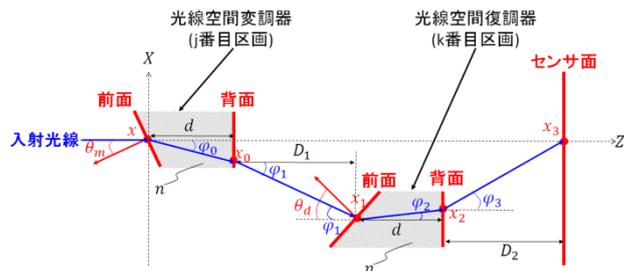


図 5:提案システムでの光線の振る舞い

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ \varphi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n_1/n_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ \theta + \theta_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ \varphi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + d \cdot \tan(\theta) \\ \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

提案システムにおける光線の振る舞いを図 5 に示す。なお、光線空間変調器及び復調器にはそれぞれ $M \times N$ ブロックに分割されていて、ブロックは単一光線のみ通すとする。図 5 では単一光線の振る舞いのみを説明する。

設計の目的は、始点 x から出射される入射光線が変調器と復調器を通ったあと、センサ面上の位置 x_3 に到達し、 $x_3 = x$ の関係が成り立つように変調器と復調器の全面の形状を決定することである。

上記の設計をするために下記パラメータを全て予め与えるものもしくは既知とする

- ① 変調器と復調器の寸法
- ② 変調器と復調器の屈折率 (n)
- ③ 変調器と復調器間の距離 (D_1)
- ④ 復調器とセンサ面間の距離 (D_2)
- ⑤ 変調器と復調器の厚み (d)
- ⑥ j と k の組み合わせ

(変調器の $M \times N$ ブロック中の第 j 番ブロックから出た光線は復調器の $M \times N$ ブロック中の第 k 番ブロックに到達する)

上記に従い、提案システムでの光線の振る舞いを考えた場合、 j 番目の変調器から出た光線の復調器への到達位置 x_1 と、 k 番目の復調器から出た光線のセンサ面への到達位置 x_3 は θ_m と θ_d に依存し、式 3 と 4 を利用して、

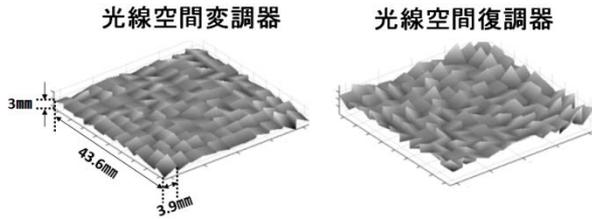


図 6: 設計した光線空間変調器と復調器

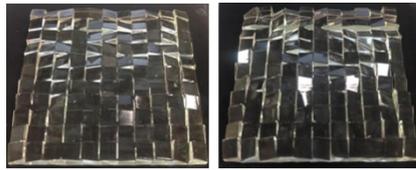


図 7: 試作した変調器と復調器

式 5 と 6 のように表現可能.

$$x_1 = x + d \cdot \tan\left(\frac{n-1}{n}\theta_m\right) + D_1 \cdot \tan\{(n-1)\theta_m\} \quad (5)$$

$$x_3 = x_1 + d \cdot \tan\left(\frac{1}{n}\varphi_1 + \frac{n-1}{n}\theta_d\right) + D_2 \cdot \tan\{\varphi_1 + (n-1)\theta_d\} \quad (6)$$

なお、スネルの法則に従い、 $\varphi_1 = (n-1)\theta_m$ となる。

前記既知パラメータの条件により、式 5 と 6 の中の未知数は θ_m と θ_d だけとなり、計算可能である。

このような計算を使い、変調器前面の全ての区画($j=0\dots m \times n$)に対応する復調器の区画($k=0\dots m \times n$)の組み合わせのセットを決めれば変調器と復調器の形状を決定できる。

3. 実装および実験結果

前章で説明した方法で光線空間変調器と復調器を設計した。なお、式 5 と式 6 を計算するためのパラメータを下記のように与えた。 $w=h=43.6\text{mm}$, $n=1.5$, $D_1=200\text{mm}$, $D_2=200\text{mm}$, $d=3\text{mm}$ 。また、変調器と復調器のブロック数は $M \times N$ を 11×11 とした。本手法による求めた変調器と復調器の形状を図 6 に示した。この設計形状に基づいて、実際に作成した試作変調器と復調器を図 7 に示す。なお、これらの試作品の製作には光造形を用いた。光造形技術は 3D プリンタなどの使用され、光硬化樹脂を紫外線やレーザーなどで 1 層ずつ硬化することによって積層して形状を作成していくものである。本稿の試作には、光波長 550nm 時の屈折率が 1.5 の透明光硬化アクリル樹脂を利用した。また、光造形時には、スポット径 10 μm のレーザーを利用し、積層分解能が 50 μm のものを利用した。また、上記試作品を使って図 8 のようなシステムを実装した。

本実験では、図 8 に示したように、認証情報をパターンマスクとして照明の前に置いた。また本実験では、光線空間復調器ありとなしの場合のカメラの観測画像(図 8 の左側のスクリーン上のパターン)が入力認証情報

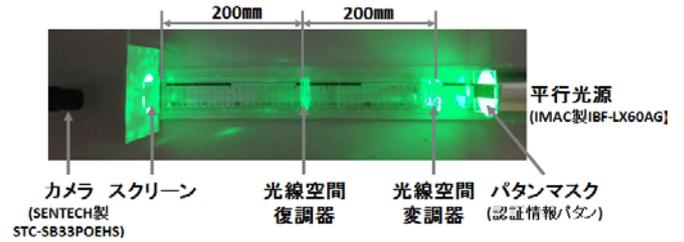


図 8: 実装したシステム

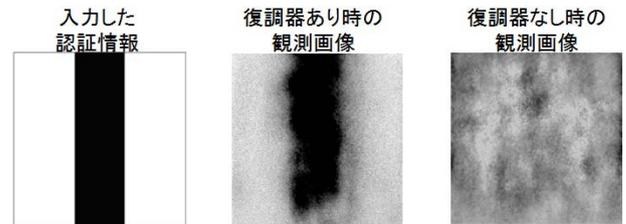


図 9: 計測結果

と一致するかどうかを確認した。その結果を図 9 に示した。

この結果から分かるように、入力した認証情報は復元されていることがわかる。ただし、復調された画像は入力の認証画像との差が大きく、不鮮明なものになっている。これはおそらくシステム中に発生した迷光が原因だと推測している。

4. おわりに

本稿では、光線空間変調と復調を導入することにより、認証情報を隠ぺいし、情報漏洩を防ぐことが可能な光学式認証システムを提案した。また、試作品を使った実験では、本提案手法の効果を確認できた。一方、迷光の発生による画質低下の課題も確認できた。

文 献

- [1] 情報処理振興事業協会 セキュリティセンター, 本人認証技術の現状 に関する調査報告書, 2003.
- [2] Thiagarajan M, Dinesh Kumar K, Journal, QR Code Authentication For Product Using Cloud Computing, Global Research in Computer Science, Vol. 3, 2012
- [3] Anat Levin, Sam Hasinoff, Paul Green, Fredo Durand, Bill Freeman, 4D Frequency Analysis of Computational Cameras for Depth of Field Extension, SIGGRAPH, 2009
- [4] Bokode: Imperceptible Visual tags for Camera Based Interaction from a Distance, Ankit Mohan, GraceWoo, Shinsaku Hiuray, Quinn Smithwick, Ramesh Raskar, SIGGRAPH, 2009
- [5] Edward R. Dowski, Jr., and W. Thomas Cathey, Extended depth of field through wave-front coding, Applied Optics, Vol. 34, No. 11, 1995
- [6] 黒田和男, 解析幾何光学入門(2), 光学光学第 21 巻第 6 号, 1992