

技術報告

ホログラムキーを用いた新しいセキュリティ カードシステム

高瀬 喜久*・久保田敏弘**

* 松下電子部品(株)商品開発センター 〒571 門真市大字門真 1006

** 京都工芸繊維大学工学部電子情報工学科 〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

(1992年6月8日受付, 1992年12月9日受理)

New Security Card System Using Hologram Key

Yoshihisa TAKASE* and Toshihiro KUBOTA**

* Corporate Products Development Center, Matsushita Electronic Components Co., Ltd., 1006, Kadoma, Kadoma 571

** Department of Electronics and Information Science, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology, Matugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606

(Received June 8, 1992; Accepted December 9, 1992)

A new security card system using hologram key is proposed. In this system, the hologram key is used as the key for generating MAC (message authentication code) to prevent the forgery and duplication of the card and the falsify of the magnetically recorded data. The types of the hologram and their features as the hologram key are discussed and the quality of the reconstructed images is analyzed theoretically. The Fresnel hologram was recorded in photoresist using the industrial 2 of 5 bar code symbol. The embossed hologram was then fabricated from the Fresnel hologram as the hologram key. The output signal of the hologram key was detected electrically using hologram reader. The feasibility of the hologram key as the operating key in the new security card system has been confirmed.

1. はじめに

クレジットカード、キャッシュカード、プリペイドカードなどわが国のカード化社会は急ピッチに進み、今や“一億総カード時代”とさえいわれている。

しかしクレジットカードの偽造、変造事件が発生したり、プリペイドカードであるテレホンカードのデータ改ざんによる大量の変造カードが出回るなど、セキュリティ面での問題点が指摘されている。

われわれはセキュリティ対策の中でカードの偽造、変造そしてデータ改ざんを防止する上で有効なホログラムキーを用いた新しいセキュリティカードシステムを考案した。その要となるホログラムキーの種類と特徴について検討し、再生像の結像性能について解析した。さらにカードの作製および信号の電氣的検出を行った。

2. 新しいセキュリティカードシステム

セキュリティを保つためのソフトウェア面での具体的な対策としては、

- (1) カードデータの暗号化→データ内容の解析と偽造の防止
- (2) 認証コード¹⁾ (MAC: message authentication code) の導入→データの改ざんの検証とそれによる不正使用の防止

などが考えられ導入されてきている。

われわれはこれらソフトウェア面での対策の採用はもちろんであるが、ソフトウェア面での対策をより効果的に運用するためのハードウェア面からの新しい取り組みとしてホログラムキーを採用し光学的な見地からホログラムキーの検討をした。

2.1 システムの仕組み

本システムの仕組みを **Fig. 1** に示す。例えばプリペイドカードのように金額情報が磁気記録データとして書かれている場合、磁気情報は簡単に読まれるし書き換えられる可能性がある。そこで書き換えられては困る金額情報のようなものについて不正読み取り書き込みを防止するため暗号化を行い記録する方法が研究されている。われわれは、この暗号化のための暗号演算キーとして、ホログラムキーを使うことを検討した。例えばカード上に貼られたこのホログラムキーを第1のキー、リーダーライター (R/W) の中に隠されているキーを第2のキー (暗号化キー) として記録データごとに、ある一定のアルゴリズム (暗号関数) に基づいて暗号演算し、その計算結果の全部あるいはデータ圧縮手段を用いて圧縮したデータの一部を認証領域 (MAC) に記録する。次にこのカードが使用された時、R/W が磁気記録データを読み取り、まず照合チェックする。つまりこのカードが使われた時金額情報など重要なデータを読み取り第1のキー (ホログラムキー)、第2のキー (R/W 中の暗号化キー) を用いて暗号演算を行いその結果が先に 認証領域 (MAC) に書かれている数字と照合し、あえば正しく、あわなければ金額などが間違っていることになる。また、金額情報など重要データを書き換える時はデータ書き込み時に第1のキー (ホログラムキー)、第2のキー (R/W 中の暗号化キー) を使って暗号演算を行い、計算結果を認証領域 (MAC) に再書き込みする。こうすることによってデータの改ざんが防止できる。

またホログラムキーの複製もホログラムリーダがないと基本的には非常に難しい。しかしホログラムキーの複製の危険性がないとはいいきれない。したがってホログラムキーに加えて例えばホログラムの記録時に特殊な位

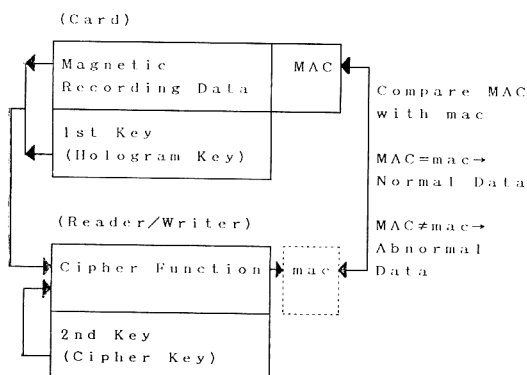


Fig. 1 New security card system using hologram key.

相板を使うとか、あるいはホログラムのまわりに作製困難な計算機合成ホログラムをつける、異なった型のホログラムを組み合わせるなど第2, 第3の防御手段を加味し、セキュリティレベルを少しずつレベルアップしていく必要がある。

今回検討したホログラムキーを貼ったカードを **Fig. 2** に示す。ホログラムキーはそれ自身でも偽造、複製防止に対して効果がある。しかしホログラムキーで表される数値を認証コード (MAC) の演算対象とすることがデータの改ざん、複製の防止にもっとも効果がある。そこでホログラムキーの数値を電氣的に読み取るには、数値を on, off (1, 0) の信号にすることができるようコード化する必要がある。そこで現在一般に使われているバーコード体系を用いて検討した。

本研究ではインダストリアル 2 of 5 コード体系²⁾を採用した (文字, 数字など独自にコード化することによりさらにセキュリティが上がる)。バーの2進記号表示として、各数字 (データ要素) は, “0”, “1” の記号の組合せで表す。ナローバー (NB: 白) を “0”, ワイドバー (WB: 黒) を “1” とし、スペース (SP: 黒) は意味をもたない。

例えばホログラムキーデータ 13262 を各データの要素に分ける。そしてそのデータ要素をコード化する。そのコード化されたものを集め、Start, Stop バーをつけて、ホログラムキーバーコードシンボルとする。このホログラムキーバーコードシンボルをフレネルホログラムとして記録する。このホログラムを基にしてエンボスホログ

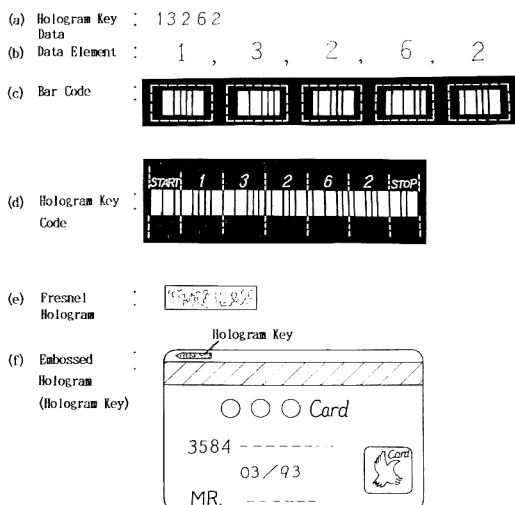


Fig. 2 An example of bar code for the hologram key data and the hologram key.

ラム (ホログラムキー) を作製し、塩化ビニールのカードに貼りつける。

2.2 ホログラムリーダの構成

ホログラムリーダの構成を Fig. 3 に示す。これは通常の磁気リーダライタにホログラム検出用のリーダ部を組み込んだものである。エンボスホログラム (ホログラムキー) を貼りつけたカードをカード挿入口から挿入し、磁気ヘッドで磁気記録データを読み取る。一方再生照明光 (半導体レーザー、波長 780 nm) をホログラムに照射するとホログラムからある一定の距離に再生像ができる。したがってこの位置にホログラム検出器 (例えばフォトダイオード) を配置しておけばカード (ホログラム) の移動とともに再生像も移動する。再生像であるバーコードの移動をホログラム検出器で順次検出し、電気信号に換え、これを増幅部・波形整形回路部で増幅・デジタル化した後復号化し、元の数字に変換して暗号演算のキーとして使う。

3. ホログラムキー

3.1 種類と特徴

本目的に使用されるホログラムキーを作製の立場から分ければ、光学的手法によるものと計算機合成によるものに大別される。前者の場合は実際に入力物体を用意しレーザー光を使ってホログラムを作製する。本ホログラムの場合、全く同じホログラムを大量に作製することが必要であり、エンボスタイプによる複製が望ましい^{3,4)}。そのため、ホログラム作製の第一段階では記録材料としてフォトレジストを使用するのが一般的である。この材料の感光波長域は 500 nm 以下であり、記録にはアルゴンイオンレーザー、またはヘリウムカドミウムレーザーが使われる。一方、ホログラムを再生するホログラムリ

ーダはコンパクトである必要があり、再生照明光源としては半導体レーザーが最も適している。この発振波長は 650 nm 以上である。したがって、光学的に作製されたホログラムでは記録と再生の条件が異なるため、一般に再生像に収差が伴う。この収差を少なくするための光学系の検討が必要である。

一方、計算機合成ホログラムは、物体の複素振幅分布を与え、回折によるホログラム面での複素振幅分布を計算で求めるもので、実際の物体はいらない。また記録、再生波長は任意に設定できるため収差の問題は生じない。ホログラムは写真縮小するか、電子ビームを使った直接描画によって作製される。記録できるホログラムの最大空間周波数は写真レンズの解像力、または電子ビームのスポットサイズによって制限される。そのため、光学的に作製されたホログラムに比べて、再生像の零次透過光からの分離が小さい。

両方式のホログラムともフレネル、フーリエ変換いずれのホログラムとしても記録できる。二つの型のホログラムは像の再生が異なるため、ホログラムリーダもそれぞれに適した構成にする必要がある。再生照明光をホログラムに対してある角度で入射させた場合、フレネルホログラムではホログラムの移動とともに再生像も移動するが、フーリエ変換ホログラムでは像は静止したままである。したがって、再生像の情報を得るためには、フレネルホログラムでは固定された点状あるいは線状の検出器で十分であるが、フーリエ変換ホログラムでは線状の検出器を走査するか、あるいはイメージセンサーのような面状の検出器が必要となる。レンズレスフーリエ変換ホログラムの再生像はフーリエ変換ホログラムと同じ性質をもつ。

このように、ホログラムの種類によって再生像の性質

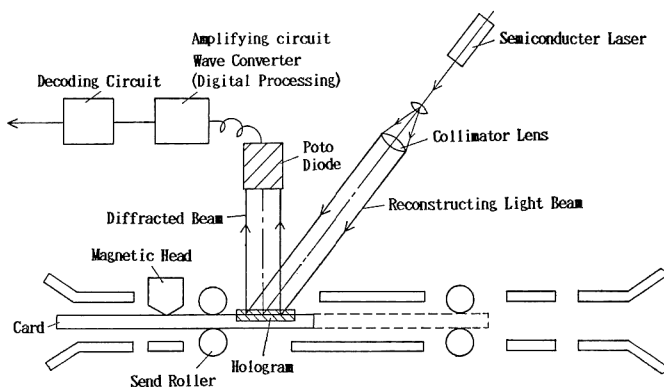


Fig. 3 Apparatus of hologram reader for detecting the data reconstructed from the hologram key.

が異なるため、目的に応じて適したホログラムを使用することになる。われわれは、光学的なフレネルおよびフーリエ変換ホログラム、また計算機合成ホログラムのいずれについても作製を行ったが、ここでは光学的に作製されたフレネルホログラムの場合について検討する。

3.2 結像性能の解析

前節で述べたように、光学的に作製されたホログラムでは一般に再生像に収差が伴うが、計算機合成ホログラムではこの問題は生じない。ここでは光学的に作製されたフレネルホログラムの場合について、その結像性能を検討する。

記録と再生の条件が異なる場合のホログラムの結像は、Champagne によって解析されている⁵⁾。ただし、その解析では参照光源、物体光源および再生照明光源がすべて同一平面内にあるとし、この面を子午面としたときの球欠像点を扱っている。この式を使えば再生像点の位置を求めることができる。しかしその形状は直接には求められない。実際には再生像はある大きさをもっており、その範囲内で良好な結像を行うことが必要である。そこで、再生される像の中心位置を Champagne の式によって求め、点像は光線追跡法⁶⁾によって評価することにする。

ホログラムの作製条件は再生の条件によって決まる。再生をコンパクトに行うために、一例として再生の条件を以下のように定める。

再生光源の波長…780 nm

ホログラムから再生像面までの距離…29.4mm

再生光の方向…ホログラム面に垂直

再生照明光…平行光でホログラムの垂直方向に対して 30°

一方、記録波長をアルゴンイオンレーザーの 457.9 nm とし、物体光はホログラム面に垂直に入射するとすれば、上述の再生条件を満たす作製条件は、Champagne の解析から

ホログラムから物体面までの距離…50.0 mm

参照光…平行光でホログラムの垂直方向に対して 17.0°

となる。

これらの条件の下で得られる再生像点のスポットダイアグラムを、2種類の大きさのホログラムについて求めた。物体のサイズは、10 mm×10 mm とし、その中心と周辺の 9 点についてスポットダイアグラムを示したのが Fig. 4 である。再生照明光は右横方向から入射している。参照光、再生照明光ともに平行光であるために、再

生像のサイズは物体のそれと同じである。ホログラムの直径が 5 mm の場合、周辺の点像は収差のため広がるが、2 mm まで絞れば収差は小さくなりよい再生像が得られることがわかる。

4. カードの作製

実際に使用されるカードは塩化ビニールカードであり、これにホログラムが貼付される。全く同じホログラムキーを大量に作製する必要があるため、ここでは実際に使用する場合に即してエンボスホログラムを作製し、それを塩化ビニールカードに貼付してカードを得た。その作製工程を Fig. 5 に示す。まず前節で述べた作製条件にしたがってマスターホログラムを作製する。ホログラムキーコードとしてバーコードシンボルを採用し、その原板はリスフィルムで作製した。バーコードシンボルとしてはインダストリアル 2 of 5 バーコードシンボルで WB が 0.45 mm, NB および SP が 0.15 mm である。全体のサイズは 5 mm×13.35 mm である。原板はオパールガラスによって拡散照明され、バーコードシンボルの情報はホログラム全面に分散される。記録材料はフォトレジストであり、干渉縞は表面レリーフ状に記録される。

つぎにフォトレジストの凹凸面にニッケルめっきを施

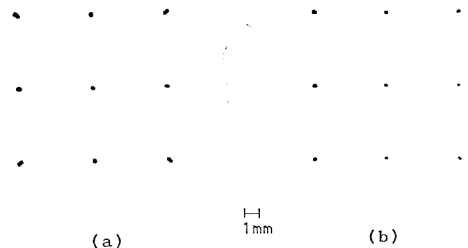


Fig. 4 Spot diagram of the point images reconstructed from the hologram. The diameter of the hologram is (a) 5 mm, and (b) 2 mm.

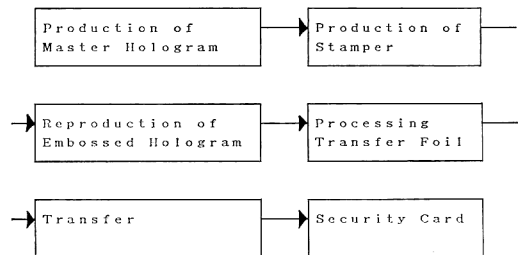


Fig. 5 The process for fabricating the hologram key.

し、スタンパーとよばれる金型を作製する。この金型をホログラム転写箔用の材料に熱プレスして、凹凸が複製されたエンボスホログラムを作製する。転写箔用の材料は、ベースフィルムに離型層とホログラム層がコーティングされたものである。熱プレスによりホログラム層にホログラムが複製される。この複製された転写箔用の材料にアルミニウムを蒸着して反射層を形成し、さらに接着層をコーティングして転写箔化する。この転写箔を塩化ビニールカードに転写して工程は完了する。転写箔の厚みは数 μm と非常に薄く、カードの表面とほとんど面一に形成することができる。

5. 再生信号の検出と信号処理

こうして作製されたホログラムキーを前述の再生条件に従って再生した。まず、再生照明光源としては、発振波長 780 nm (標準), 出射口の光出力 5 mW, 光学特性としては、開口数 $\text{NA}=0.24$, 焦点距離 $f=4.5$, レンズ構成=2 群ガラスレンズ・ビームの絞り径 $\phi 2$ のミニレーザーヘッド (MINI-780 F-50 GC: (有)アプライド企画製) を使用した。Fig. 6 に再生像の写真を示す。この写真は再生像をカラーフィルムに直接記録して得たものである。

次に再生信号は 2.2 項で述べたホログラムリーダを作製し検出した。このホログラムリーダの再生光は出射されたレーザー光がコリメータレンズを経て平行光になった後アパーチャ (直径: 2 mm) でビーム径を絞った後に垂直方向から 30° の角度で走行中のカード上のエンボスホログラムに照射するように構成されている。再生光の光源である半導体レーザーとしては光出力 3 mW, 発振波長 788 nm (標準) (LN 9705 PSR: 松下電子工業(株)製) を使用した。この再生光による再生像をホログラム面に垂直な位置に配置されたフォトセンサーで検出する。この時フォトセンサーの受光面にスリット幅 $25 \mu\text{m}$ のスリットを配置して受光した。フォトセンサーとしては受光面サイズ: $2.4 \times 2.8 \text{ mm}$, 分光感度: 波長範囲 320~1000 nm (ピーク波長 720 nm) のシリコンフォトダイオード (S1133-14: 浜松トホニクス製) を使用して検出した。この時のアナログ信号の例を Fig. 7 に示す。カードの搬送速度は, 300 mm/s であった。アナログ波形の太くて強いところが WB (“1”), 細くて弱いところが NB (“0”) である。これは従来の印刷バーコードシンボルをフォトセンサーで読み取ったときのアナログ波形と同等以上の出力信号が得られている。したがってこうして得た波形を微分し, 得られた微分出力をデジタ

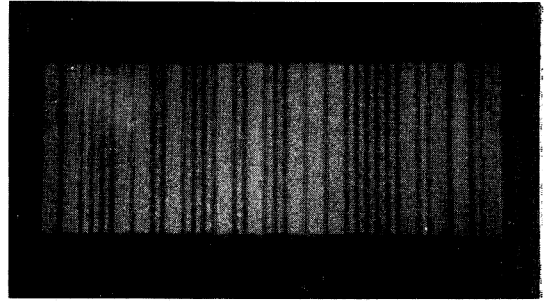


Fig. 6 An example of the reconstructed image from the hologram key. The code used as the input object is industrial 2 of 5. The width of narrow bar, wide bar, and space is 0.15, 0.45, and 0.15 mm, respectively.

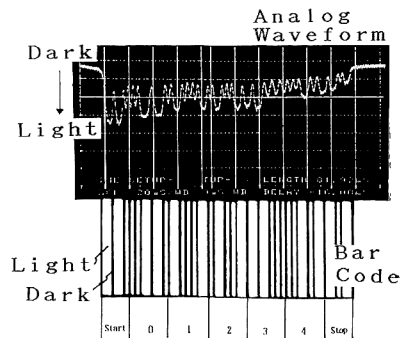


Fig. 7 Oscillogram of the output signal of the hologram key detected by the hologram reader.

ル化し, 復号回路で元の数値に戻す従来の信号処理によってホログラムキーデータの読み取りが十分可能である。

以上結果として, 安いコストで磁気リーダライタにホログラムリーダを組み込むにはフレネルホログラムが適していること, またインダストリアル 2 of 5 バーコードシンボルを用いた場合の像再生およびホログラムリーダによる再生信号の検出が可能であることがわかった。

6. ま と め

磁気記録データなど電子的記録データの改ざん, カードの偽造, 複製を防ぐことを目的に, ホログラムキーを用いた新しいセキュリティカードシステムを提案し, このシステムによる再生信号の電氣的検出の可能性を検出した。その結果ホログラムキーデータを電氣的に検出することが可能であり, 記録データの暗号演算キーとして有用であることがわかった。

本研究は光学技術セキュリティに関するテーマに応用した研究であるだけに, ホログラムキーを利用したセ

セキュリティカードシステムの有効性を確認しながらさらに高度な防御手段を加味し、社会に有用なシステムとしてまとめあげていくことが今後の課題である。

今回は透過型ホログラムについて検討したが、複製の危険性を考慮すればリップマンホログラムにすることがセキュリティレベルを上げる一つの有力な手段である。作製工程は複雑になるが、記録材料の膨潤・収縮を利用する擬似カラーホログラムの特長を利用して、再生波長が場所によって異なるように作製されたリップマンホログラムは、デットコピーが事実上不可能である。

最後に本研究を進めるにあたり、ホログラムの結像性能に関する議論をいただいた職業訓練大学校の石井行弘教授、ホログラムの試作をしていただいた凸版印刷(株)証券システム研究所の藤生隆弘所長に感謝します。またホログラムの光検出にご協力いただいた松下電器産業

(株)生産技術研究所の浜田力氏、上野和夫氏、本研究を遂行するにあたり、本カードシステムについて有益な助言をいただいた松下電子部品(株)技術情報室の藤井喬氏に感謝します。

文 献

- 1) ISO 8731-1 Banking—Approved algorithms for message authentication—: 1987(E).
- 2) 「バーコード・カード年鑑」編集委員会編: バーコード年鑑 (日本工業出版, 1989) p. 47.
- 3) 山崎哲司: “ホログラムの印刷”, O plus E, No. 77 (1986) 51-56.
- 4) 岩田藤郎: “ホログラムの印刷”, O plus E, No. 117 (1989) 96-100.
- 5) E. B. Champagne: “Nonparaxial imaging, magnification, and aberration properties in holography,” J. Opt. Soc. Am., **1** (1967) 51-55.
- 6) J. N. Latta: “Computer-based analysis of holography using ray tracing,” Appl. Opt., **10** (1971) 2698-2710.