

審査結果要旨

論文提出者 譚 小地

次世代の大容量、高速アクセス光メモリーの候補のひとつとしてホログラフィック光メモリーの研究が進められている。現行の光ディスクやハードディスクは情報を平面上に2次元的に記録するのに対し、ホログラフィーは媒体内に3次元的に記録する点に特徴があり、このため大容量化が達成できる。また、ホログラフィック光メモリーでは情報を画像化し、ビット列を2次元的に配列したページ単位で記録・読み出しが行われる。並列アクセスの導入によりデータの入出力の高速化が可能となる。

一方、高度情報化社会を迎え、個人情報や商取引情報がインターネットを經由して大量に伝えられるようになり、通信情報のセキュリティの確保が重大な関心事となっている。デジタル情報通信の暗号化は通常、通信文とキー情報を代数的に演算することによって行われる。しかし、ホログラフィック光メモリーでは、光学的な手段を用い、容易に、かつ、解読のほとんど不可能な暗号化を行うことができる。本論文は、このホログラフィック光メモリーの光学的暗号化技術について研究成果をまとめたものである。

本論文は7つの章からなる。

第1章「緒言」(Introduction)では、本研究の背景と目的、および、論文の構成が述べられている。

第2章「フォトリフラクティブ結晶を用いたホログラフィック光メモリー」(Holographic storage using photorefractive crystal)では、書換え可能な位相型ホログラフィック材料であるフォトリフラクティブ結晶を用いたホログラフィック光メモリーについて、動作原理、多重記録の方法、記録容量など装置の諸特性、システム構成の概要や開発の現状などが述べられている。

第3章「情報セキュリティの光学的な方法」(Optical techniques for data security)では、2次元画像に対する光学的暗号化法についてこれまでの研究を紹介し、本研究の位置づけを与えている。

光学的暗号化は、光路の途中で厚さがランダムに分布したマスクを挿入することにより行われる。いわばすりガラスを通して物体を見るようなもので、像は白色雑音化し元の情報を判読することはできない。通常の結像光学系では、像を撮るときに位相の情報が失われてしまうから、像から物体を復元することは不可能である。ところが、ホログラフィーでは位相情報も記録されるから、ランダム位相をキャンセルする位相マスクを用意すれば元の情報を復元することが可能となる。実際には読み出し時に位相共役再生を行い、書込み時のランダム位相マスクと同一のマスクを通して結像することにより暗号化された原情報を復元できる。とくに本研究では二重ランダム位相マスク法を基礎としている。これはホログラフィー光学系の物体面とフーリエ面にランダム位相マスクを起き信号を暗号化する方法であり、安全性の高いことが知られている。

第4章「位相暗号化を用いたセキュリティホログラフィック光メモリー」(Secure holographic

storage that uses fully phase encryption)では、ホログラムに記録する情報を位相コード化することにより、安全性が一層高められることを述べている。情報を光強度でコード化する従来の場合、暗号化に2つのランダム位相マスクを用いても、解読にはフーリエ面上のランダム位相マスクのみが必要であり、像面上のランダム位相マスクは不要である。ところが、位相コード化では、物体面上のランダム位相マスクも解読に不可欠である。このため、暗号解読の複雑度が2乗倍増え、セキュリティを向上できる。しかし最終出力段階で位相を強度に換えるため干渉計が必要となり、装置が複雑になるという欠点がある。本章では、ニオブ酸リチウムをホログラフィック記録媒体とした実験結果およびそのシミュレーション結果が述べられている。

第5章「偏光コード化を用いたセキュリティホログラフィック光メモリー」(Secure holographic storage with polarization encoding)では、直交する2つの偏光を用い、デジタル情報を偏光でコード化し、さらに、位相遅れがランダムに分布したランダム偏光マスクを用いて暗号化する方法が提案されている。このシステムの実現には、偏光状態も含めて位相共役波を発生するベクトル位相共役鏡が必要になる。本論文では、バクテリオロドプシンが、光の強度分布のみならず、偏光状態分布も記録再生できることに着目し、これをベクトル位相共役鏡として用いている。こうして、偏光コード化に基づく暗号化とその解読を実験的に確認した。

第6章「二重ランダム位相暗号化によるホログラフィック光メモリーの記録密度の向上」(Improvement on holographic storage capacity by use of double random phase encryption)では、暗号化によりホログラフィック記録の多重度を向上できることが述べられている。ホログラフィック光メモリーでは、複数のページを多重記録したものから、ブラッグ回折の選択性を利用し、特定のページを読み出す。しかし多重度を上げるとページ間の分離が不十分となり、隣接するページが部分的に再生されるクロストーク雑音が発生する。クロストークもデジタル信号で構成されるから、データの0と1の判定に対する影響は大きく、読み取りエラーの大きな要因となっている。そこで、各ページを異なるマスクで暗号化すると、隣のページからのクロストークは正しいキーを使って再生されていないので、白色雑音となり、データの判定に対する影響を軽減できる。この方法は雑音そのものを減らすわけではないが、雑音の性質を変換し、記録性能を向上できることを示したものである。

第7章「結語」(Conclusions)では本論文のまとめが述べられている。

以上を要するに、本研究は、ホログラム記録時にランダムマスクを挿入することによりセキュリティ機能を持たせたホログラフィック光メモリーシステムの開発に関するもので、著者は、振幅、位相、偏光といった光の諸属性を上手に使うことにより、安全性を飛躍的に高められることを実験的および理論的に実証した。本研究は、年々高度化する情報社会に有用な技術を提供するものであり、物理工学の進歩に対する寄与は大きい。よって、博士(工学)の学位請求論文として合格であると認める。