

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 中村 悠介

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

データセンタのハードディスクが消費する電力の増大が大きな社会問題となっている今日、データの長期保存性と低消費電力性にすぐれた光メモリは、コールドデータ（全データの約7割を占めるといわれる保存後ほとんどアクセスされることがないデータ）を保存するストレージアーカイブシステムとして期待されている。しかしながら光メモリ自体の性能は、現行のBlu-rayにおいてすでに技術的な限界に達しており、将来の更なる大容量化の要求には、技術開発の方向性に大きな転換が必要とされている。このような社会的背景のもと、本研究は、次世代の光メモリシステムとして期待されているホログラフィックメモリの記録密度向上を主目的として行われた。ホログラフィックメモリは、ホログラフィの原理を利用して、情報を記録・再生する光メモリシステムで、2次元的に配置された複数のビットをページ情報として一度に記録・再生を行う「並列処理」や、異なるページ情報を空間的に重ねて記録できる「多重記録」という特徴から、ギガbpsレベルの高い転送レートとテラバイトレベルの大容量記録が可能になるとされている。本論文では、ホログラフィックメモリの記録密度を決定する3つのファクターである、1ページのデータ容量、記録媒体上でのホログラムサイズ、同一箇所に重ね書きしたホログラム多重数のそれぞれについて改善を検討して、システム全体としての記録密度の向上を図った。以下に本論文を構成する各章の要約を示す。

第1章は、序論である。各種ストレージ方式および次世代光ディスク方式の特性を比較し、角度多重記録方式の優位性と問題点について明らかにし、本研究の目的・位置づけなどについて述べている。

第2章は、基礎理論として、角度多重方式ホログラフィックメモリの記録再生原理および本論文を理解するために必要な再生信号の処理方法、再生信号品質の評価指標についてまとめられている。

第3章では、ホログラムサイズ縮小に関する検討として、Run length limited (RLL) 高密度記録およびRLLターボ符号について述べている。一般的にホログラムサイズはページデータのピクセルサイズに反比例するため、ホログラムサイズを縮小すると1ページのホログラムが保持できるデータ量は減少してしまう。そこで、本論文では一次元方向にピクセルの連続数を規定するRLL変調をホログラフィックメモリに適用した。これにより光の回折が抑制され、RLL変調方向にホログラムサイズを半分にできることを示した。さらに、RLL変調を誤り訂正符号の一部として扱うことで訂正能力を向上させる新しいRLLターボ符号を考案し、理論限界に近いエラー訂正符

号であるLDPC符号よりもさらに訂正能力が高く符号化効率のよい符号化方法を確立した。本方式の採用により1.78倍の記録密度の改善がなされ、2TB/discの記録容量達成の見通しを実験的に得ることができた。

第4章では、ページデータ容量増加に関する検討として信号変調方式の最適化を行った。ページデータ容量を増やすためには光通信などで行われているのと同じように振幅位相多値信号を用いればよいが、多値化により信号間距離が短くなりノイズが顕著になってしまうという問題点がある。そこで、本論文ではホログラフィックメモリにおけるノイズを整理・定式化した上で、多値化時の信号点配置の最適化を行った。まず、ホログラフィックメモリにおいて位相多値記録を実現するには、位相検出時の基準波面となるオシレータ光の位相を0, $\pi/2$ の2回変えて再生光と干渉させる位相ダイバーシティホモダイン検出が有効であることを明らかにした。その上で、センサ起因の暗電流ノイズや、干渉性ノイズである媒体からの散乱ノイズを数式化し、想定されるビットエラーレートを求めて多値化時の信号点配置の最適化を行った。

第5章および第6章は、ホログラム多重数増加のためのノイズ低減方法について述べている。一般的に、角度多重記録で多重されるページ数を増やすためには、光重合反応するモノマを多く含む記録媒体を用いればよいことが知られているが、同時に散乱ノイズも増加してしまうため実際にはこのような記録媒体を用いることは難しい。これに対し本論文ではこの散乱ノイズを低減する方法として、波長ダイバーシティ検出方式を考案した。散乱ノイズの原因は光重合反応後のポリマからのレイリー散乱であり、これがイメージセンサ上でスペckルノイズを生成する。そこで本手法では、再生時の光源を広帯域化し、異なるスペckルパターンを重畳させることで散乱ノイズを低減することを試みた。シミュレーションの結果、広帯域化による信号劣化よりもノイズ低減によるSNR改善効果が上回り、モノマの増加によって高密度化が可能であることが示された。なお、本方式を位相多値信号に用いた場合、媒体のシフトによって生じる位相誤差が問題となることも判明したが、位相検出のためのオシレータ光をホログラムとして記録するオシレータページ記録方式を新たに考案し、本手法が実用上問題ない程度にロバスト性をもつことをシミュレーションにより明らかにした。

第7章は、本研究の成果をまとめ、全体の結論とした。