

氏名	嶋田 堅一
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第9999号
学位授与年月日	令和3年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査学術院	理工情報生命学術院
学位論文題目	Optical modeling of holographic memory employing angularly multiplexed recording and improvement of optical quality of reproduced holographic image (角度多重方式ホログラフィックメモリの光学モデリングとホログラフィック再生像の品質向上に関する研究)
主査	筑波大学 教授 工学博士 伊藤 雅英
副査	筑波大学 准教授 博士(工学) 羽田 真毅
副査	筑波大学 講師 博士(理学) 渡辺 紀夫
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 安野 嘉晃
副査	東京大学 教授 工学博士 志村 努

論文の要旨

本論文は、角度多重方式ホログラフィックメモリシステムにおいて、偏光や振動を含む種々要因がホログラム再生像に与える影響を定式化する光学モデルを構築し、それらの要素を解析することにより、影響度が高い因子を明確にすると共にその補償方法を示し、ホログラム再生像の品質向上を実現したものである。

まず、研究の背景として、データ爆発時代における大容量データアーカイブの必要性や低炭素社会の実現といった社会背景を元に本研究が対象とする角度多重方式ホログラフィックメモリに対する研究動機や研究の重要性を述べている。電子データをアクセス頻度とデータ量の観点から解析し、アーカイブに最適なメモリとしての光メモリの重要性に言及している。また更なる大容量化をめざす場合に顕在化する問題として、ホログラム再生像の品質劣化を取り上げ、再生像品質への影響因子でありながら先行研究では十分に議論されていない、再生光の偏光状態の影響や、機械的な振動の影響を明確化すると共に、本研究においてホログラム再生像の品質向上を研究目的として設定した経緯を述べている。

続いて、これまでホログラフィックメモリとして提案されてきた角度多重方式、シフト多重方式、マイクロホログラム方式などの各種方式について説明し、本研究が対象とする角度多重方式ホログラフィックメモリの位置づけを明確化している。また再生像を形成するホログラムからの回折光の解析方法として、先行研究が報告しているベクトル回折理論、スカラー回折理論などの各種シミュレーション方法についてその全体像を俯瞰し、先行研究ではどのような因子を再生像品質への影響因子として捉えているか明らかにしている。本論文の主要な部分を占める再生像に対する偏光の影響を解析するために、新たに構築した光学モデ

リングの具体的な内容を説明し、先行研究との関係を明確化している。また再生時および記録時の参照光と信号光の偏光状態が再生像品質に与える影響を定量的に解析し、試作機を用いて取得した実験結果との比較を通して本モデリングの妥当性を検証している。またデータの大容量化のためには対物レンズの開口数 (NA) を高くすることが必須であり、必要とされる高 NA 化に伴い顕在化する偏光の影響を解析し、実験的に確認されている再生像面内の輝度が部分的に低下する様子を説明するとともに、その改善方法を提案している。また、角度多重方式ホログラフィックメモリに搭載する主要な機械部品であるガルバノミラーやスピンドルモータの振動が信号の低下に与える影響を解析している。本研究で提案している時間平均ホログラフィの概念を用いた光学モデリングを用いた振動解析について述べている。また試作機を用いて取得した実験結果との比較を通して、本モデリングの妥当性の検証もおこなっている。

最後に、先行研究で議論されている再生像品質への各種影響因子に加え、偏光および振動の影響を含めて、これらの影響因子がホログラム再生像の信号品質に与える影響度を定量的に示している。また、ホログラフィックメモリシステムを構成する各種要素の実力値を踏まえて、どの影響因子の影響度が高く、問題となりうるかを従来技術を考慮しながら議論をおこなっている。ディスク位置ずれに対する補償方法として、ディスク位置を微調制御する代わりに、ディスクに比べて質量が十分に軽い空間フィルタ位置を補正する事でディスク位置ずれによる影響を補償する方法を提案し、本方法の効果を計算および実験において確認している。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

ホログラム再生像に与える偏光状態の影響について光学モデル構築をおこなっていることは高く評価できる。ボルン近似が成り立つ条件下では再生像の信号振幅はスカラ回折理論で導出される信号振幅と記録時および再生時における参照光と信号光の偏光状態によって定まる減衰係数との積で表現されることを解析式を用いて明らかにしている。これにより計算負荷の高いベクトル回折理論に頼らずに偏光影響を考慮したホログラム再生像の解析を可能となりシミュレーションの幅が大きく広がった。さらに、再生時の参照光を S 偏光とすることで再生像におけるブラッグ回折方向の輝度傾斜が改善する事を初めて示した。また対物レンズを高 NA 化した際に発生する輝度低下についての実験結果について上記理論を用いて説明し、信号光および再生光の面内における偏光方向を調整する事で本現象を改善することができることを示したことにも新規性がある。

ホログラム再生像に与える振動影響を主要なメカ機構であるガルバノミラーとスピンドルモータによる機械振動に要素分解し、それぞれがホログラム再生像に与える影響を時間平均ホログラフィの概念を用いて光学的にモデル化したことも評価できる。ガルバノミラーの振動は参照光入射角度の変動、スピンドルモータの振動はディスク位置の変動と捉える事で、ホログラム再生像の信号振幅に与える振動影響ホログラム再生像の信号振幅に与える振動影響を定式化している。またモデル化を通して、記録記録中の参照光入射角度の振動影響は、再生時の参照光振幅ならびに位相を振動波形に応じて変調する事で光学的に補償出来る事を示したことは新しい知見といえる。

偏光や振動を含む種々要因がホログラム再生像の信号品質に与える影響を定量的に明確化したことも評価できる。その結果、偏光影響や振動影響はシステムマージンの許容範囲に収まるがディスク位置ず

れによる品質劣化は許容範囲を超え、問題となる事が明らかになった。そこで再生時におけるディスク位置を微調する代わりに、ディスクに比べて質量の軽い空間フィルタ位置を補正する事でディスク位置ずれによる影響を高速に補償し、ホログラム再生像の品質を向上する方法を提案し、本補償方法により、ディスク位置ずれを補償することにより、再生像の品質劣化はシステムの許容範囲に収まる事を示したことはシステム設計に大きく寄与するものと思われる。

〔最終試験結果〕

2021年2月16日、理工情報生命学術院学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。