

論文の内容の要旨

論文題目	ホログラフィック光相関システムとその応用に関する研究
学 位 申 請 者	池田 佳奈美

昨今、世界中で取り扱われる情報量が爆発的に増加しており、膨大なデータを実時間で分析するデータ解析技術が求められている。しかし、現状の計算機を用いたデータ解析技術では、データ容量と処理速度は相反関係であるため、膨大なデータの実時間処理には多大なマシンパワーが必要となる課題がある。これは現状の計算機では記憶装置と演算装置により別々に処理するためそれらの間の転送速度がボトルネックとなり、ソフトウェア面からのみでの課題解決は難しい。したがって、ハードウェア実装による新規の並列コンピューティングはブレイクスルーとなる期待が大きく、これまでにGraphics Processing UnitおよびResistive Random Access Memoryによる並列コンピューティング等が提案されている。このような背景のもと、本研究においては光相関技術に着目した。

本論文では、ホログラフィック光多重記録手法を導入した光相関演算システムにおいて、空間周波数分布制御による光エネルギー均一化記録手法構築、相関フィルタの高密度記録のための光エネルギーと相関信号の実験的評価、および光学実験系の自動制御化などにより、膨大なデータにおいても超高速相関演算を実現できる可能性を実験的に示した。更に、機械学習を導入した光相関用符号化技術により、クロスドメイン検索を実現し、光相関演算技術の適用分野を大幅に広げた。

本論文は全7章から構成されている。第1章では、本研究に先立ち、光相関システムの従来の研究開発の動向を述べ、本研究の位置づけを明確にした。

第2章では、高速相関演算実証の前にコアキシャルホログラフィック光相関システムの速度に関する要素を整理し、光相関演算・転送速度を定義した。

第3章では、光相関器による光相関演算の高速性の実験的実証を目的とし、空間周波数分布制御による光エネルギー均一化記録手法構築、相関フィルタ高密度記録のための光エネルギーと相関信号の実験的評価および光学実験系の自動制御化などにより、143 Giga bit per second 相当での光相関演算を実験的に達成した。本実験結果によって膨大なデータにおいても超高速相関演算を実現できる

可能性を示した。

第4章では、光相関器の安定性や再現性向上を目的とし、光相関システム用のディスク構造について提案した。従来の光ディスクのサーボ制御系と光相関器の組み合わせによる光相関システムの安定性の向上を実験的に確かめた結果を示した。

第5章では、光相関システムのユーザビリティと汎用性の向上を目指し、まず、クラウド環境における光相関システムの位置づけの提案を行った。さらに、光相関システムを照合部に導入した光・デジタルハイブリッド動画検索システムの提案と実証を行った。著作権管理システムにおけるボトルネックの改善として、限られた画素数や改変されたサムネイル画像を対象に実写データを排除することを目的とした画像分類法を構築し、システム全体としての効率化を評価した。

第6章では、光相関システムの用途拡大に向けて、深層畳み込みニューラルネットワークを特徴抽出器として用いるクロスドメイン類似画像検索システムを提案・構築した。光相関用の変換モジュールをautoencoderの学習に基づき生成し、深層畳み込みニューラルネットワークと共に光相関システムの前処理に加えるシステム構成を実現した。構築した変換モジュールによってクロスドメイン検索を光相関システムに基づいて実証した実験結果について述べた。

第7章では、本研究の成果をまとめ、今後の展望について述べた。

本研究によって光相関システムの高速度が実験的に示されたことによって、デジタル情報処理技術との融合による光相関システムの応用展開可能性が拡がり、光相関システムが情報化社会におけるデータ解析性能向上のブレイクスルーとなり得ることを示した。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 池田 佳奈美

審査委員主査 渡邊 恵理子

委員 渡邊 昌良

委員 美濃島 薫

委員 宮本 洋子

委員 庄野 逸

(審査委員署名)

平成30年1月22日に、5名の審査委員の出席のもと、博士論文審査の公聴会および最終試験を実施した。

本論文では、ホログラフィック光多重記録手法を導入した光相関演算システムにおいて、空間周波数分布制御による光エネルギー均一化記録手法構築、相関フィルタの高密度記録のための光エネルギーと相関信号の実験的評価、および光学実験系の自動制御化などにより、膨大なデータにおいても超高速相関演算を実現できる可能性を実験的に示した。更に、機械学習を導入した光相関用符号化技術により、クロスドメイン検索を実現し、光相関演算技術の適用分野を大幅に広げた。

第1章では、爆発的に増加する情報のデータ処理技術に関する課題、および光相関システムによる解決の可能性が示されたうえで、本研究の位置づけが明確にされている。

第2章では、ホログラフィックメモリシステムとホログラフィック光相関システムの比較とともに、体積ホログラムを相関フィルタとする光相関演算システムの原理及びコアキシャル型の光相関器の基本構成について記述された。光相関システムを用いたデータ相関時間について光相関器への入力、光相関器での照合、光相関器からの出力の3つに分類し、コアキシャル光相関演算速度に関係する要素が整理された。さらに、相関速度について、データベース記録密度とデータベーススキャン速度に分けて整理され、光相関システムの全体速度向上に向けた要素が示された。

第3章では、光相関演算の高速化を目的とした記録方法の提案と実験実証に関して記述されている。まず、ホログラムディスクの媒体や光学系等による様々な要素の中で、特に重要なデータベース記録密度とデータベーススキャン速度に分けて解析されている。照合データサイズとホログラム記録密度によって定まるデータベース記録密度に関しては、空間周波数分布制御による光エネルギー均一化記録手法の導入と、相関フィルタ高密度記録のための光エネルギーと相関信号評価により従来に比べ大幅に向上できることが示された。

さらにデータベーススキャン速度のディスク回転数高速化による向上、ハードウェア改良や光学実験系の自動制御化が実施されている。以上を統合した実験により、143 Giga bit per second 相当での光相関演算の実証実験に成功している。

第4章では、光相関器の安定性や再現性向上を目的とし、光相関システム用の新たなディスク構造が提案されている。波長選択ミラー層をもたない簡易・安価な構造の光ディスク基板が提案され、シミュレーションに基づく最適設計の後、実験用に試作された。さらに、トラッキングサーボ制御の導入と試作された光相関システム用ディスクを用いることで、2 μm 間隔で1000個以上のホログラムのシフト多重記録が行われ、良好な相関信号が得られることが示された。以上、従来の光ディスクのサーボ制御系と光相関器用のディスク構造の組み合わせにより、光相関システムの安定性の向上、さらには低価格化の可能性が実験的に示されている。

第5章では、光相関システムのユーザビリティと汎用性の向上に関して記載されている。はじめに、クラウド環境において光相関器を組み込むシステム構成の提案が行われた。さらに、光相関システムを照合部に導入した光・デジタルハイブリッド動画検索システムとして、Webブラウザから光相関器が利用可能なデモシステムが構築された。さらに著作権管理システムにおけるボトルネックの改善として、限られた画素数や改変されたサムネイル画像を対象に実写データを排除することを目的とした画像分類法が提案され、システム全体としての効率化が実現されている。

第6章では、光相関システムの用途拡大に向けた検索システムが提案された。はじめに、特定の画像にとどまらず、様々なデータを光相関演算用にデータ変換可能な光相関用の変換モジュールが提案された。通常は要素数削減に用いる autoencoder を、本光相関用データ変換モジュールにおいてはバイナリ化における情報損失を可能な限り抑制するための要素数拡大に用い、中間層の次元数が入力層より大きい autoencoder を導入している。さらに、深層畳み込みニューラルネットワークを特徴抽出器に用いることで、スケッチベースの画像入力と、2次元画像データとの検索というクロスドメイン類似画像検索システムが実現された。このように、これまで特定の画像のみの用途に留まっていた光相関システムが、様々な用途に対応可能であることが実験的に示されている。

第7章では、本研究の成果をまとめ、今後の展望が記載されている。

本論文で得られた知見は、光情報処理技術の発展において重要な役割を果たすものと考えられる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。