

光相関デバイスを活用した超高速データ検索システムの研究開発(152103017)

Optical correlator-based ultra-high-speed data retrieval system

研究代表者

渡邊恵理子 電気通信大学

Eriko Watanabe The University of Electro-Communications

研究分担者

菅谷 壽鴻 電気通信大学

Toshihiro Sugaya The University of Electro-Communications

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

概要

本研究開発では、光相関デバイスを活用した超高速データ検索システムの実現に向けて、画像データにとどまらず、多様なデータ入力を可能にする前処理・検索アルゴリズムを提案し構築することを目的とした。前処理・特徴抽出・検索アルゴリズムの構築、超高速相関機能の実証と拡張、光相関デモシステムに向けた連続記録の精度向上、光データ検索デモシステム構築、Ecma International に国際標準化提案を実施し、当初の目的を達成した。

1. まえがき

従来のデジタルコンピュータでは、超大容量データとのマッチング計算においては 2 次記憶メモリからの転送速度がボトルネックとなってしまう。本研究においては、超高速相関機能 (100Gbps 以上の転送速度と画像相関速度) を持つ光相関デバイス、およびそれを活用したデータ検索システムを研究開発する。特に多様なデータ入力を可能にする前処理・特徴抽出・検索アルゴリズムを構築し、実験により実証する。さらに様々なシステムと複合を容易にするためデバイスインターフェースの共通化に関して、新たに提案する符号化 (データ変換) 技術に適した標準化の指針を立てる。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、下記に示す 5 つの成果を得た。

2.1 多様なデータ入力を可能にする前処理・特徴抽出・検索アルゴリズムの構築

従来の光相関デバイスでは特定の条件を満たした画像データのみを対象としており、用途が限られるという課題があった。そのため取り扱えるデータの拡張を目指し、自己符号化器を用いた光相関演算用データへの変換法を提案した。自己符号化器(AutoEncoder)を導入した光相関用データ変換モジュールを図 1 に示す。

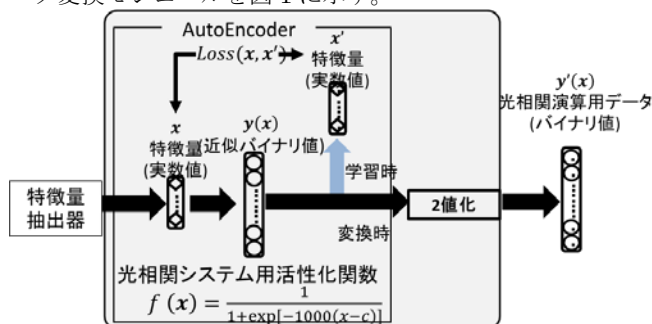


図 1 光相関用データ変換モジュール

光相関用符号モジュールに対し、光相関用データ変換時のホワイトレートの分散を 3% 以内に留める符号化手法を実現するために、光相関用データ変換モジュールにおける AutoEncoder の中間層 $y(x)$ に用いる活性化関数の改良を行った。深層学習等で一般的に用いられるシグモイド関数をベースとしつつ、光相関システム向けに下記の 2 つを導入した。まず、入力値 x に対する乗算値を 1000 とするこ

とで、限りなく 0 または 1 が出力されるようにした。この結果、光相関において、必須であるバイナリ入力条件を満たすことに成功した。つぎに、入力値を減算するオフセット c 、および、同時にオフセット c をホワイトレートが 20% となるように動的に設定するアルゴリズムを導入した。このアルゴリズムにより、オフセットが入力データに応じてホワイトレートが 20% となるように動的設定されるため、記録ページ間のエネルギー分散を抑えることが可能となった。

以上のような変更をシグモイド関数に加えた光相関システム用活性化関数を AutoEncoder に用いることで、入力データに関わらずホワイトレートが正確に 20% となる符号化手法の実現に成功した。このモジュールの導入により多様なデータ入力を可能にする前処理部を実現できた。重要な点は、この光相関用データ変換モジュールを利用することで、すでに最適化された特徴抽出器 (深層学習の学習済みネットワークなど) を利用して様々なデータを光相関で演算が可能になることである。

2.2 超高速相関機能の実証と拡張

光相関デバイスを線形 Support vector machine(SVM)に利用するために、Binary Histograms of Oriented Gradients を特徴抽出方法とし、バイナリ分解を用いた符号化提案し、SVM を光相関で実施した。また、アプリケーションとして人検出をターゲットとして実証した。深層学習の 1 つである Convolutional Neural Network (CNN) を特徴抽出器として利用し、バイナリ分解による符号化方法と組み合わせてシステム全体の高精度化も実施した。また、超高速相関機能の実証として、光相関デバイスを改善し、ディスク回転数 900rpm、多重記録間隔 $2.1 \mu\text{m}$ において、143Gbps の超高速光相関演算を実証した。実験結果例図 2 に示す。

2.3 ホログラム連続記録の精度向上

ホログラム連続記録の精度向上に向けて、ディスク構造を新たに設計し安定的なホログラムの記録・相関演算に成功した。これによりシンプルなディスクでフォーカストラッキングサーボが可能となったため、赤色レーザーでフォーカストラッキングをかけた状態で、データサイズ 180×240 pixel の同一画像データを $2 \mu\text{m}$ 間隔でシフト多重し、1500 個以上のホログラムを記録した。光相関実験では、記録したこれら 1500 個以上のホログラムに対し、緑色の CW レーザを用い、記録と同一画像データを入力して自己

相関信号を取得した。2 μm間隔でのシフト多重にもかかわらず自己相関が十分取れている信号が得られていることを確認した。

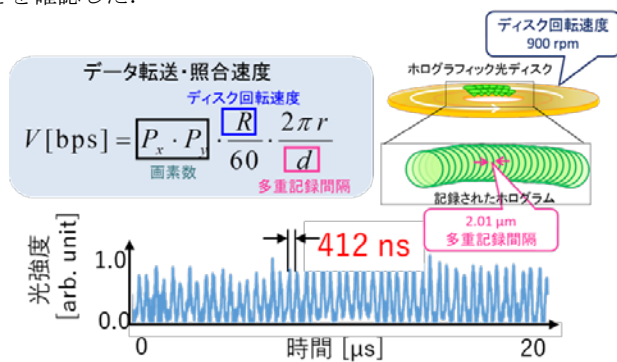


図2 超高速相関機能（100Gbps以上の転送速度）の実証実験例

2.4 光データ検索デモシステムの基盤構築

ウェブインターフェイスにて実行できるクロスドメイン検索システム（手書きスケッチ画像と2次元画像の類似画像検索）の基礎を構築した。クロスドメイン画像検索システムの構成を図3に示す。本システムはクライアントがウェブブラウザ上で欲しい製品のスケッチを描くと、それに類似した商品画像を結果として出力するフリーハンドスケッチをクエリとした画像検索システムである。クライアントが入力したスケッチ画像は、学習済みの特徴量抽出器によって特徴量抽出される。ここでは、Sketch a Net [Q. Yu, et al. Computer Vision and Pattern Recognition (2016).] を特徴量抽出器として利用した。本研究では入力データと類似した画像を検出するクロスドメインのあいまい検索を、光相関器を用いて実現したが、様々な特徴抽出器と結合することで、様々な検索システムが実現可能である。

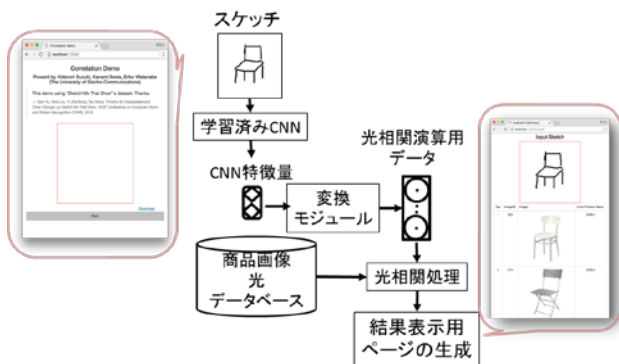


図3 光データ検索デモシステム構築

2.5 Ecma International に国際標準化提案

Ecma TC31 会議で、光相関用 Device Interface のプロジェクトの提案が承認され、2018年3月のTC31会議で、規格文書の目次提案が承認された。今後、Ecma 総会で規格承認へ向けて進む予定である。Ecma International とは ISO、IEC、ITU に準じた国際標準化機関である。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

光相関器では、相関演算に用途が限定されるものの、従来の技術に比べ圧倒的に高速な転送速度を持つため、大規模データとのマッチング計算を高速に低コスト（低消費電力）で実施可能である。そのため、本研究成果は、大規模なデータベースとのパターンマッチングを必要とする、大規模画像・映像識別、ゲノム解析などへの展開が期待される。さらにはゴーストイメージングにおける相関処理部への適用、大容量データ処理・蓄積・分析に利用される並列

分散処理への導入も期待できる。

4. むすび

光相関デバイスを活用した超高速データ検索システムの実現に向けて、画像データにとどまらず、多様なデータ入力を可能にする前処理・検索アルゴリズムを提案し構築した。また光相関デバイスの超高速相関機能の実証と拡張、連続記録の精度向上を実施した。さらに、本技術の標準化活動として、Ecma International に国際標準化提案を行った。

【誌上发表リスト】

- [1] Kanami Ikeda and Eriko Watanabe: "High-Speed Optical Correlator with Coaxial Holographic System", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 54, No. 9S, 09ME02 (2015/8/19).
- [2] Kanami Ikeda and Eriko Watanabe: "High-speed image matching with coaxial holographic optical correlator," Jpn. J. Appl. Phys., Vol.55, No. 9S, 09SC01, (2016/8/4).
- [3] Kanami Ikeda, Hidenori Suzuki and Eriko Watanabe, "Optical Correlation-based Cross-domain Image Retrieval System," Optics Letters 42(13), 2603-2606 (2017)

他 25 件

【申請特許リスト】

- [1] 渡邊恵理子、藤吉弘亘、谷口泰史、池田佳奈美、脇田英、パターン識別装置、識別方法、およびプログラム、日本、特願 2016-025892 (2016/02/15)
- [2] 渡邊恵理子、菅谷寿鴻、池田佳奈美、斎藤圭佑、宇佐美廉、光相関システム及び光相関用データの記録方法、特願 2018-060719、(2018.3.27)

【国際標準提案リスト】

- [1] 標準化機関: Ecma International、会議名: TC31 (Information Storage)、提案番号: Ecma/TC31/2016/005、標準化技術の名称: Device Interface for high speed retrieval using holographic correlation、規格提案年月日: 2016年3月9日

【参加国際標準会議リスト】

- [1] Ecma-International TC31、韓国ソウル、2016年7月21日
 - [2] Ecma-International TC31、日本 東京、2016年11月16日
 - [3] Ecma-International TC31、日本 東京、2017年6月16日
- 他 3 件

【受賞リスト】

- [1] Kanami Ikeda and Eriko Watanabe, The Best Student Paper Award, "Optical Correlation Method for Partial Image Matching with Coded Reference Pattern", October 8, 2015.
 - [2] Kanami Ikeda, Suguru Wakita and Eriko Watanabe, Best Presentation Award, "Basic evaluation of two-dimensional modulation code for optical correlator", October 23, 2015.
 - [3] 鈴木秀典、池田佳奈美、渡邊恵理子、(一社) 日本光学会 情報フォトニクス研究グループ主催 第 11 回関東学生研究論文講演会 優秀講演賞【発表題名】 "自己符号化器を組み込んだ光相関演算用データ変換法"
- 他 3 件

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://thetis.f-lab.tech.uec.ac.jp>