

補助事業番号 2022M-208

補助事業名 2022年度 光ニューラルネットワークと光信号処理技術が可能にする超高速パターン認識に向けた研究 補助事業

補助事業者名 金沢大学 理工研究域 機械工学系 機械物理研究室 砂田哲

1 研究の概要

光リザバーと呼ばれる光ニューラルネットワークチップと高速光ランダムパターン投影技術を合わせて、超高速のパターン認識システムを開発した。本パターン認識技術の原理検証実験を実施したところ、毎秒1ギガフレームのレートでの高速認識処理が可能であることを示す結果を得た。

2 研究の目的と背景

人工知能(AI)/機械学習技術の急速な進展により、音声認識やイメージ認識をはじめとしたパターン認識技術が大きく進展し社会に大きなインパクトを与えている。これらのパターン認識はカメラ等のセンサやコンピューティングハードウェアの性能に大きく依存しているため、センサ等の応答速度を超えるような高速現象や突発事象の認識には対応は不可能である。突発的に生じる異常の高速検出、化学反応やマイクロスケールで発生するナノ秒スケールの高速ダイナミクスの同定、大容量光通信技術に関わる高速パターン認識など、ナノ秒・ピコ秒に迫る次世代の超高速認識技術の開拓には、センサを含めたハードウェアの抜本的な変革が不可欠である。本研究の目的は、ニューラルネットワークの一種であるリザバー計算を光回路上に実装し、我々が開発中の高速光制御技術と合わせることでナノ秒スケールの高速現象にも対応可能となる超高速のパターン認識技術基盤を開拓することである。

3 研究内容

超高速パターン認識の原理検証および技術基盤開発

(http://www.me.se.kanazawa-u.ac.jp/physics/Files/outcome2022JKA_sunada.pdf)

(http://www.me.se.kanazawa-u.ac.jp/physics/04_crr.html)

本研究で開発した高速パターン認識技術は、観察対象の空間情報を時系列信号に変換する光投影技術と時系列データを高速処理可能なリザバー計算に基づいている。

光投影システムは、レーザー、高速位相変調器、マルチモードファイバから構成されており、ランダムな位相変調された光をマルチモードファイバに入射することで、高速に変動する複雑なスペックルパターンを生成することができる。このスペックルパターンを観察対象に照射してレンズで集光する。スペックルパターンはランダムに変動するため、その集められた光の時間変動には、観察対象の空間情報がエンコーディングされている。すなわち、ゴーストイメージングのようにランダムパターンの投影により空間情報が時系列データに変換される。通常、ランダムパターンの生成には、空間位相変調器または機械的なパターンスイッチングを用いているが、その生成レートには限界があった。一方、本研究で開発した光スペックルパターン投影システムでは、位相変調の

レートによりそのパターン生成レートを制御できるため、10GHzを超えるレートでのスペckルパターン生成が可能である。

変換後の時系列信号は光リザバー計算回路に送られる。この光リザバー計算回路は光共振器構造のものであり、光の多重反射に基づき仮想的な光ランダムネットワークを形成するように設計されている。光リザバー計算回路には7つの出力ポートが設けられており、そこからリザバーの応答信号を測定することができる。本検証実験では、MNISTの手書き文字の認識を対象にして、その7ポートからの出力信号のロジスティック回帰により、その認識性能を調査した。その結果、毎秒1ギガフレームのレートにて90%以上の精度の認識可能となることを明らかにした。また、多波長を用いたスペckルパターン投影にすることで、更なる高速化や認識精度の向上が可能となることも明らかにした。

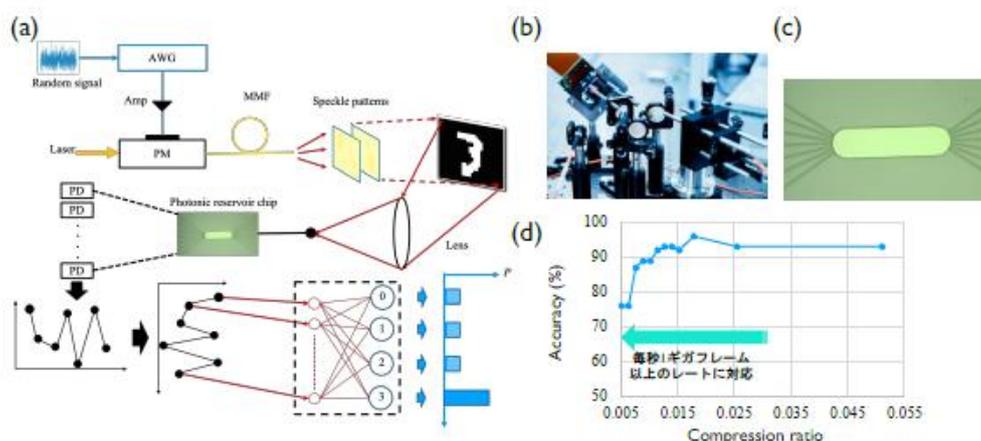


図. (a) イメージ認識システム, (b) スペckルパターン投影部の写真, (c) 光リザバー計算回路, (d) イメージ認識結果の一例。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本提案の超高速パターン認識技術が更に発展すれば、どんな突発事象にも高速に認識・判断が可能となるAI技術への展開が期待される。また、通信応用において光信号処理(信号認識・同定)が超高速に実現でき、更なる大容量化に貢献できる。さらに、将来的には、これまで測定困難であったナノ秒・ピコ秒スケールの超高速ダイナミクスを複雑な計測技術に頼ることなく、同定可能な革新的な計測・認識技術へと発展可能であり、科学や産業の発展に大きく寄与できる革新的技術と期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

リザバー計算を軸にフォトニックコンピューティングに関する研究を理論・実験の両面から実施してきた。本研究における高速イメージ認識技術は、これまでの研究を発展させたものであり、今後大きな進展が期待される技術である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(論文掲載)

1. J. Hanawa, T. Niiyama, Y. Endo, and S. Sunada, "Gigahertz-rate random speckle projection for high-speed single-pixel image classification," *Optics Express* 30(13), 22911–22921 (2022).

(国際会議)

2. K. Arai, T. Yamaguchi, T. Niiyama, and S. Sunada, "Photonic Neural Field Dynamics and its Application to Reservoir Computing," *NOLTA2022*, A5L-C-01, Online (2022).

(国内学会発表)

3. 堀切 裕太, 荒井 航平, 山口 智也, 新山 友暁, 原山 卓久, 砂田 哲, "光微小共振器を用いたリザバーコンピューティングの性能評価," 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 21a-A404-9, 東北大学 河内北キャンパス (2022).
4. 山口 智也, 荒井 航平, 新山 友暁, 砂田 哲, "高速スペckル投影系と光リザバー計算を用いた高速物体認識システム," 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 22a-B101-8, 東北大学 河内北キャンパス (2022.9.22)
5. 砂田 哲, "光ニューラルフィールドダイナミクス:リザバー計算とセンシングへの展開," 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 23a-M206-1, 東北大学 河内北キャンパス (2022).
6. 砂田 哲, "光ニューラルフィールドと高速・高効率リザバー計算への応用," 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-3/4-10, Online (2022).
7. 山口 智也, 荒井 航平, 新山 友暁, 砂田 哲, "光リザバー計算回路を用いた高速イメージ認識," *Optics&Photonics Japan 2022*, 14aD8, 宇都宮大学 (2022).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

特になし

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 金沢大学 理工研究域 機械工学系

(カナザワダイガク リコウケンキュウイキキカイコウガクケイ)

住 所: 〒920-9120

石川県金沢市角間町

担 当 者: 教授 砂田哲(スナダサトシ)

担 当 部 署: 同上

E - m a i l: sunada@se.kanazawa-u.ac.jp

U R L: <http://www.me.se.kanazawa-u.ac.jp/physics/>