

光行列演算装置の開発

① ビジョンの概要

省電力・省スペース・光速で動作する光演算による行列積演算装置を開発する。行列積演算は AI、VR から計算科学まで先端技術で最も重要な演算であり、その省電力化・省スペース化・高速化が実現できれば学術的・社会的なインパクトは極めて大きい。

② ビジョンの内容

本構想では現在の高性能 GPU と同程度の演算性能を備え、さらにスマートフォンの SoC に内蔵可能な消費電力と省スペース化を可能にする光演算装置 (optical processing unit, OPU) の研究開発を行う。特に対象とする演算として行列積に着目し、行列積を光速に計算する演算装置と従来の CPU などの CMOS 電子回路技術を連携させてハイブリッドコンピューティングを実現し、社会実装を行う。

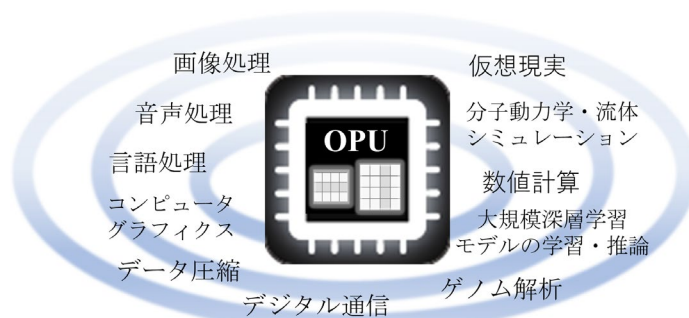


図1 OPU による行列積とその広がり

行列積は、現代のデジタル世界における最重要の要素演算である。スマートフォンの画像処理、音声認識、コンピューターゲームや仮想空間のグラフィックス生成、データや動画の圧縮やデジタル通信、大規模な深層学習の学習・推論、生体分子のダイナミクスを解析する分子動力学シミュレーション、空気や水などの流体の流れのシミュレーション、ゲリラ豪雨・地震・ウイルス感染などの自然災害におけるシミュレーションといった科学計算とさまざまな計算において、行列積が演算の中心となっている。

産業界においては、NVIDIA が急成長を遂げた理由としても、その主力製品である GPU (Graphical Processing Unit) が、この行列演算を高速に行うことができるという長所を積極的に伸ばしていったことが考えられる。実際に、現在、深層学習を代表として大量の行列積を必要とする場合には GPU を用いることが前提となっている。しかし、GPU では発熱を抑えるために冷却装置が必要となり電力を大きく消費させる。高性能になればなるほど冷却装置や電力も大きくなる傾向があり、騒音の問題の解消や小型化は困難である。

③ 学術研究構想の名称

光行列演算装置の開発

④ 学術研究構想の概要

【学術研究構想のアウトプット】

省エネルギー・省スペース・超低遅延・超低損失・光速で動作する行列演算装置を開発し、CMOS 電子回路技術との連携によるハイブリッドコンピューティングを実現する。

【本学術研究構想の技術的課題】

先行研究には、空間光変調を用いた自由空間上での演算に基づくアプローチと干渉系の集積化に基づくアプローチがある。前者は情報を自由空間に展開するため並列化が容易であるが、装置の大型化や外乱への耐性などの課題がある。後者は集積化による装置の小型化や外乱への耐性に利点を持つが、大規模な並列化は現在のところ難しい。そのために、シリコンフォトニクス、メタマテリアル等の新規光技術や光演算用の新たな行列演算法の開発など、ハードウェアとソフトウェアを協調したアプローチが求められる。

⑤ 学術的な意義

【提案の背景】

2020 年 7 月に OpenAI が発表した深層学習による高性能な大規模言語モデル GPT-3 は、1,750 億個のパラメータを持つ。文章の生成、文章の要約、質問への回答、翻訳など様々な応用がある。2022 年 11 月 30 日に発表され世の中を驚かせた対話システム ChatGPT などでも重要な役割を果たしている。GPT-3 を NVIDIA の V100 で学習する場合、1,287MWh を要する。日本の 1 世帯が 1 年間に消費した電気エネルギーが 4,322kWh ほどであることを考えれば、300 世帯の年間の消費量に相当する。さらに、機械学習は学習させれ

ば必ず期待した性能がでるとは限らないため、複数回の学習を行い試行錯誤するのが通常であるため、実際には数千世帯の年間消費量に相当するエネルギーを必要とする。このように世界各国でしのぎを削る大規模言語モデル開発競争においてその大部分を占める演算が行列積である。

【期待されるブレークスルー】

光技術は一般に CMOS 電子回路技術と比べて省エネルギーという特性を持つため、産業的意義はもとより、持続可能社会を目指す我が国において、本構想は大きなブレークスルーをもたらす。

【研究成果及び様々な効果（他の学術分野への波及効果を含む）】

スマートフォンの画像処理、音声認識、コンピューターゲームや仮想空間のグラフィック生成、データや動画の圧縮やデジタル通信、大規模な深層学習の学習・推論、創薬における生体分子のダイナミクス解析、ゲリラ豪雨・地震・ウイルス感染などの自然災害におけるシミュレーションといった科学計算とさまざまな場面で行列積は最重要の演算要素である。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

行列積の光学演算に関連する研究にはフランスの複数の大学にまたがる研究チームがベンチャー企業（LightOn）を立ち上げている。また、アメリカ MIT の研究チームが、ベンチャー企業（Lightelligence）を立ち上げている。しかし、これらの先行研究は、光の並列性を限定的にしか利用しておらず、大規模な行列積の光学演算には至っていない。

⑦ 社会的価値

本構想が実現すれば、現在あらゆる分野の社会基盤として開発が進む人工知能において、大きなブレークスルーとなる。さらに、本構想に基づく、様々な電子機器に対する省エネ技術への大きな貢献も期待される。そのため、産業的意義はもとより、持続可能社会を目指す我が国において、本構想は重要な意味を持つ。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール 5 年次終了時点、8 年次終了時点、10 年次終了時点で明確なアウトプットを創出するためのマイルストーンを下記の通り設定する。

【5 年次終了時点】5 年次終了時点で、光演算装置の実装およびそれを取り巻くプログラム言語やコンパイラ・デバッガなどのプロトタイプを開発する。

【8 年次終了時点】最終的なアウトプットに向け短期的な研究・開発・評価を繰り返す。この時点で実機の仕様が確定すればウォーターフォール型の開発に切り替え、最終的なアウトプットに向けて進めていく。

【10 年次終了時点】実アプリケーションの研究開発の実施というアウトカムを軌道にのせ国内の企業とともに国際社会に対する社会実装の運用に向けた調整、体制整備等を行う。

【実施機関と実施体制】本構想は東京大学情報理工学系研究科を中心とした共同実施体制で行う。光演算装置及びその周辺のエコシステムを実装するグループ、その性質を数理的に解明するグループ、光演算装置を実応用として使うグループに分かれて進める計画である。さらに、東京大学学内の情報基盤センター、生産技術研究センター、工学系研究科などと連携して実施するとともに、デジタル技術に強みを持つ国内外の大学や研究機関、また関連する産業分野の企業複数と連携して実施する。

同時に、光演算装置の研究開発の観点から世界をリードしていく人材の教育も行っていく。

【総経費】約 1,500 億円

⑨ 連絡先

中村 宏（東京大学大学院情報理工学系研究科）