

海外法人便り

超低消費電力を実現する次世代
ニューラルネットワークに関する研究Research on Next-Generation Neural Networks
Achieving Ultra-Low Power Consumption中野 雄太
Yuta Nakano

概要

IMRA EUROPEが近年注力している次世代AI・スパイクングニューラルネットワークとその応用について紹介する。直近の成果では従来の物体検出に比べて、性能を維持しながら99%以上の消費電力削減に成功した。

1. はじめに

IMRA EUROPEはアイシンが培ってきた自動車技術を、欧州企業・研究機関との共同開発等によってさらに発展させることを狙いに設立された研究所である¹⁾。技術領域としては数理科学をコア技術の柱として、先端材料や電磁気応用、コンピュータサイエンスの部門を所持している。本報告では特に、コンピュータサイエンスの分野におけるIMRA EUROPEの最近の活動、より具体的には超低消費電力化や時系列データ処理を得意とする次世代AI・スパイクングニューラルネットワークに関する成果や今後の展望を紹介する。

2. スパイクングニューラルネットワークについて

スパイクングニューラルネットワーク (Spiking Neural Network, 以下SNNと呼ぶ) は従来のニューラルネットワークと異なり、疎で非同期なスパイク信号を伝播して高度な判断や推論を行うAI技術である。このように書くときと堅苦しくわかりづらいため噛み砕いて表現すると、入力データから冗長な信号を取り除き、必要な時に、必要最小限の信号処理で結果を出力するAIである。従来のニューラルネットワークではその構造に含まれる全てのニューロンとシナプス (ニューロン同士を結合する軸索部) において演算処理が行われるが、SNNでは選別された信号だけがネットワーク内を伝達していくため、入力される信号によって演算を行わないニューロンやシナプスが存在する。

この特性を利用することで大幅な演算コストを削減することができる。例えば、セキュリティカメラにおける画像処理への適用を考えた場合、従来のディープラーニン

グを利用した画像処理技術では代わり映えの無い背景情報も演算対象になる。一方SNNでは背景情報 (変化の無い領域) は完全に無視され、動物体 (変化が現れた領域) のみを処理対象とすることができる。

また、冗長な信号を取り除いて必要な時だけ (非同期に) 処理が実行できる点はアイシンが得意とする電動モータやパワートレインの制御における時系列データ処理でも活かすことができる。何か特異な信号が存在した場合にのみ処理を行うことで、より効率的にその異変を検出することができる。

このSNNのアイデア自体は2000年以前から存在していたが当初はネットワークの学習が上手いかず、様々なSNN用の学習方法が開発され実問題に適用できるようになってきたのはここ最近の話である。さらに、ここ数年の間にSNNを実装する専用のエッジデバイス・ニューロモーフィックハードウェアの開発が急速に進み、この技術分野への期待が一気に高まった。この特殊な実装を要するハードウェアの開発には大企業だけでなくスタートアップも参戦しているため、市場規模の観点からもその注目度が伺える。

しかしながら、SNNは従来のAI技術とは信号伝播が全く異なるため、利用するための難易度は非常に高い。実際に、近年目覚ましい結果を示しているディープラーニングとは学習方法が異なるため、従来技術とは別のSNN特有の知識を要する。つまりSNNを学習させることやそれを実装するためのニューロモーフィックハードウェアの利用にはノウハウの蓄積が必須である。その課題を攻略し、如何に他の企業・研究機関から抜き出るか、現在熾烈な戦いが繰り広げられている。

3. SNNを用いたIMRA EUROPEの研究開発

IMRA EUROPEとアイシンはこのSNN技術が将来のコア技術になり得ると予想し、約5年前から研究開発を進めている。ご存知のとおり、自動車産業ではEVの台頭やSDV (Software Defined Vehicle) 化により各機能の低消費電力化が強く求められている。また、他の多くの分野においても環境・エネルギー問題が叫ばれているのは周知の事実であり、本技術はそのソリューションになり得るため、現在特に注力している技術である。

3.1 ミリワットの電力で駆動するエッジシステム

本研究開発を始めたころは基礎研究に時間を費やしてきたが、最近はそので得た知見を具体的なアプリケーションへ展開している。その展開例の一つとして車両周辺監視やセキュリティカメラ等への応用を想定した超低電力消費・歩行者検出システムを開発した。本システムはイベントカメラと呼ばれるセンサ(3.2節で説明)と本目的用に学習したIMRA独自のSNN²⁾、そしてそれをニューロモーフィックハードウェアへ実装したエッジシステムである。セールスポイントはリアルタイム、且つ、mW(ミリワット)オーダーの消費電力で動作することができる点である。消費電力に関してさらに詳しく説明すると、歩行者検出時には平均15mW程度、歩行者不在の状況では1~2mW程度の消費電力で動作する。図1に歩行者検出の結果とその際の消費電力を示した。左図や中央図の歩行者が検出されている場合に対して、右図では歩行者がいない状況において消費電力が極端に抑えられていることがわかる。つまり、SNNがネットワーク内で対象となる信号が存在しないと判断し、自動的にアイドル運転を行っていると言える。この結果は、従来のディープラーニングとハードウェアで実装したエッジシステムに比べて、人が常に存在するデータにおいて99%以上消費電力を削減しており、人が存在しないアイドル状態での性能も含めるとさらに差が付

くことは言うまでもない。

3.2 動き「のみ」を捉える次世代センサ・イベントカメラ

本システムにはイベントカメラと呼ばれる、こちらが次世代のセンサを用いている。このセンサは、その瞬間をキャプチャする従来のカメラと違い、直前の瞬間から変化があった部分のみを捉える。この特徴はミリ波レーダーやLiDARなどで作成される距離画像と似ていて、物体が無い所には信号が存在しない。また、時系列の観点で考えても、変化のあった時間帯にだけ信号が存在する非同期データとすることができる。つまり、このイベントカメラは前段で説明したSNNの特徴とマッチし、相性の良いセンサの一つとして注目されている。また、上記の他に高い時間分解能やハイダイナミックレンジも備えており、このイベントカメラ信号処理単体でも近年多くの論文が出され、様々な分野への応用が期待されている³⁾⁴⁾。

3.3 ニューロモーフィックハードウェアへの実装

SNNが世に出ていくためには、革新的なアルゴリズムだけでなく、それを駆動させるハードウェアの存在が不可欠である。前述した通り、近年、ニューロモーフィックハードウェアの開発が急速に進み、主導権を取るために各社がしのぎを削っている。つまり現在は未だコモディティ化されておらず、それぞれの企業や研究機関が独自の仕様でリリースしている状況である。SNNの実装やそれを用いたアプリケーションの開発を始めるには、まずどのニューロモーフィックハードウェアが適しているのか選定しなければならず、多大な調査と知識、経験を要する。

IMRA EUROPEはこれまで既に3つのニューロモーフィックハードウェアへの実装経験があり、それぞれの長所・短所を身をもって理解してきた。例えば、イベントセンサの特性とSNNを組み合わせた動作認識アルゴリズムの実装では、ポイントとなる時系列情報に関するパラメータを実装できるニューロモーフィックハードウェア

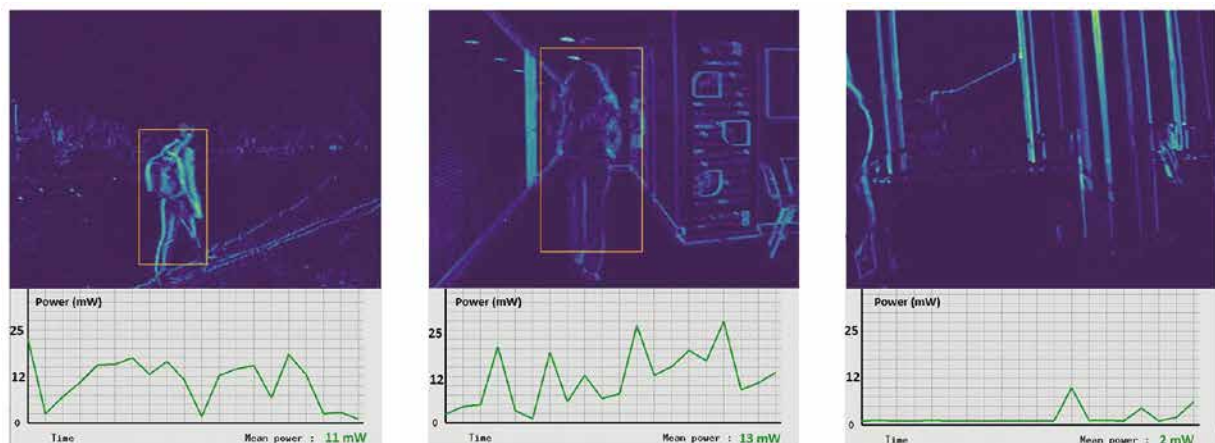


図1 IMRA EUROPEが開発したミリワットオーダーで駆動するリアルタイム歩行者検出SNNのエッジシステム

と、それを実装するプラットフォームを過去の経験を基に適切に選定したことで高い性能を実現することができた⁵⁾。結果として、この手法は図2で示しているIBMが監修したジェスチャ認識ベンチマークデータにおいて世界三位の性能を記録している。

3.4 様々なセンサデータへのSNN適用

また、IMRA EUROPEではこれまでに様々なセンサデータを扱ってきた経験があり、現在はその経験をSNNと組み合わせることで新たな研究開発を行っている。例えば、ミリ波センサの信号処理において、従来最も多く用いられる方法はミリ波データから物体との距離を画像化した距離画像を作成し、物体検出を行うというものである。それに対して我々は、図3のようにミリ波のrawデータのまま時系列データとしてとらえ、SNNで処理をする研究を進めている。この技術は現在までに論文⁶⁾が執筆され、特許も申請されている。

4. 欧州大学との連携

我々は地の利を活かし、ヨーロッパの大学や企業と積極的に連携を行っている。例えば、先に説明したSNNの研究開発においては、IMRA EUROPEの近所に居を構えるコートダジュール大学のAIラボ (i3S)⁷⁾と共同で進めている。さらに、従来の共同研究の枠を超えて、私自身がコートダジュール大学に籍を置き、AIラボの博士学生の論文指導教官として大学業務を行っている。

このように深い関係を築くことで、フランスの産学連携制度・CIFREを利用しながら、現在までに同研究室の博士課程の学生を2名雇用、また修士学生1名をインターン生として採用し、研究開発を加速させている。

さらに、上記共同研究を行っている教授も所属しているSNN関連のコミュニティに参加したり、欧州で行われている技術展示会においてIMRA EUROPEとしてブースを構え、周りの意見の吸い上げや我々の技術に対する

フィードバックを得られるように努めている。図4はIMRA EUROPEが技術展示会に出展したときの様子である。

他のプロジェクトにおいても、パリのエコールデミンスやトゥールーズ大学の教授にアドバイザーとして入ってもらうなど、欧州の知見や考え方を積極的に取り入れられるように日々活動している。

5. おわりに

我々はこのSNNやニューロモーフィックハードウェアを用いた低消費電力技術への需要が今後さらに大きくなると信じている。ただし、現状、SNNは従来のディープニューラルネットワークほど万能ではなく、解きたい問題に応じた適切な使い方が要求される。IMRA EUROPEはこれら技術をどのように用いれば性能が出るのか、社会実装できるのかを、近年の研究開発を通じて蓄積してきた。今後、さらに研究を進め、我々が「SNNソムリエ」として本分野の先頭に立ち、自動車産業ならびに社会の課題解決を目指す。

参考文献

- 1) 戸嶋裕基(アイシン技報):イムラヨーロッパの近況, pp.53-55, 2020
- 2) Hugo Bulzomi, Yuta Nakano, Jean Martinet et al. : Object Detection for Embedded Systems Using Tiny Spiking Neural Networks: Filtering Noise Through Visual Attention; International Conference on Machine Vision Applications, 2023
- 3) Yuta Nakano, Takeshi Fujita et al. : Data representation of event data for object detection; Symposium on Sensing vis Image Information, 2023
- 4) Yuta Nakano, Takeshi Fujita et al. : Event Data Representation based on Time Stamp for Pedestrian Detection; International Conference on Intelligent Vehicles and Applications, 2023
- 5) Hugo Bulzomi, Yuta Nakano, Jean Martinet et al. : Neuromorphic Temporal Pattern Detection with Spiking Neural Networks using Synaptic Delays, 2024
- 6) 中野雄太, 藤田剛(画像の認識・理解シンポジウム): ミリ波セン

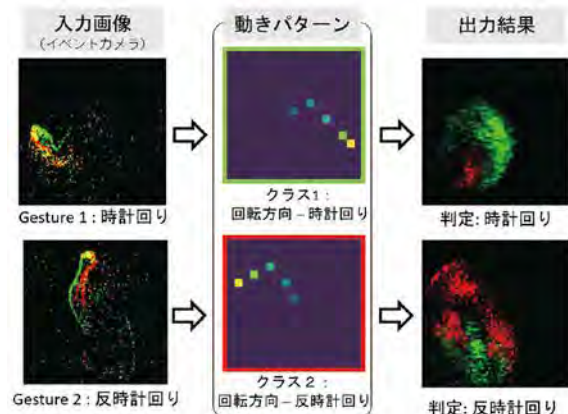


図2 イベントカメラのデータから動き特徴を抽出し、ジェスチャ認識を行うアルゴリズム

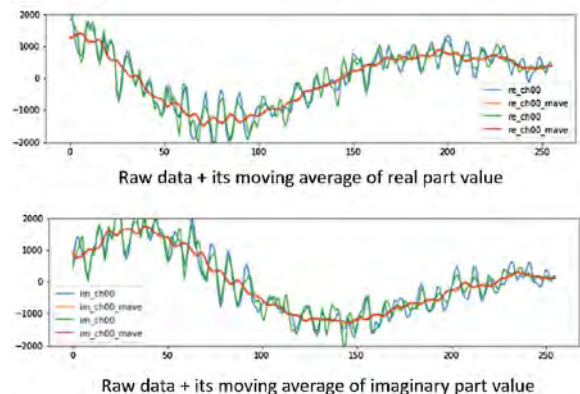


図3 ミリ波のrawデータにおける時系列信号処理

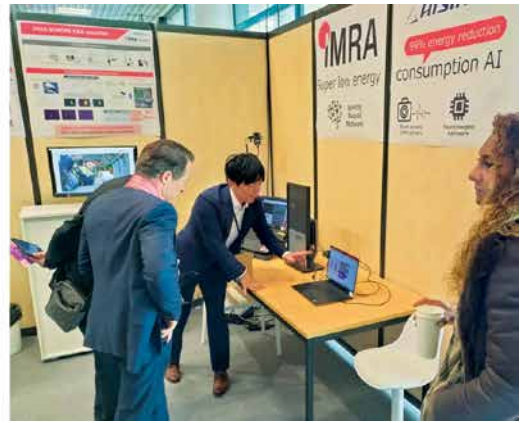


図4 欧州のAI技術関連展示会に参加したときの様子
(左:ADAS & Autonomous Vehicle Technology Expo, 右:WAICF – World AI Cannes Festival)

サのrawデータを入力とするディープニューラルネットワークの実装と車内乗員検知への適用, 2023

- 7) コートダジュール大学・i3S(Laboratory of Computer Science, Signals and Systems of Sophia Antipolis)紹介ページ
<https://www.i3s.unice.fr/en/>

筆者



中野 雄太

IMRA EUROPE S.A.S
SNN (スパイキングニューラルネットワーク) や因果探索手法、AIを用いた電動パワートレイン制御の研究開発マネジメントに従事。工学博士