

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500184

研究課題名(和文) 昆虫脳を模倣する制限付きカーネルマシンの開発と最大電力点追従装置への応用

研究課題名(英文) A limited kernel machine inspired by insect's brain and its application for maximum power point tracker for photovoltaics

研究代表者

山内 康一郎 (YAMAUCHI, Koichiro)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：00262949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：昆虫脳のように微小な神経回路であっても高度な学習能力が実現されている。この事実を元に、微小な機械学習手法を開発した。本手法は、重要な知識だけを取捨選択して制限容量以内に保存する能力を持つ。これを組み込み用マイクロコンピュータに組み込み、太陽電池の発電効率を高めるマイクロコンバータを製作した。太陽電池は電流源であり、その両端電圧を適切な値にセットしなければ発電能力を十分に発揮できない。この両端電圧は気温、日射強度によって決まるものであるが、個々の太陽電池パネル毎によっても微妙に異なっている。そこでこれを発電中に学習し、日射強度の急激な変動があった際にその両端電圧を予測して高速制御する。

研究成果の概要(英文)：We proposed a tiny learning machine: "limited general regression neural network (LGRNN)", which is inspired by insect's brain. LGRNN learns new instances one by one, and selects important instances, and store them into a limited capacity. This ability is realized by choosing one of several learning options adaptively by estimating an evaluation function, which predicts expected error due to the execution of each learning option.

The proposed method was applied to a micro-converter of photovoltaics, which improves the electricity generation ability of solar panels. The system consists of a conventional hill climbing mechanism for finding the maximum power point(MPP), and LGRNN. Normally, the device tracks the MPP using the conventional method, while the LGRNN learns the relationships between the current magnitude of solar-irradiation, temperature and MPP. When the solar-irradiation changes abruptly, however, LGRNN yields the predicted MPP for controlling the chopper circuit quickly.

研究分野：知能情報

キーワード：制限付き学習法 昆虫脳 組み込み用学習アルゴリズム MPPTマイクロコンバータ 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

マイクロコンピュータの能力の向上により、従来ならば実現するには非現実的なソフトウェアであっても実用的スピードで実行できるようになってきた。より高度な知能処理を行うソフトウェアが実現できる段階に来ている。例えば、電子機器は経年劣化によって特性が微妙に変化するが、それを学習アルゴリズムで運用中に学習できれば、常に所要の要件を満たすように制御信号を調整するのに使用できる可能性もある。

ただし、組み込み機器には依然として厳しいリソースの制限が存在するため、それに対応したソフトウェアが必要である。

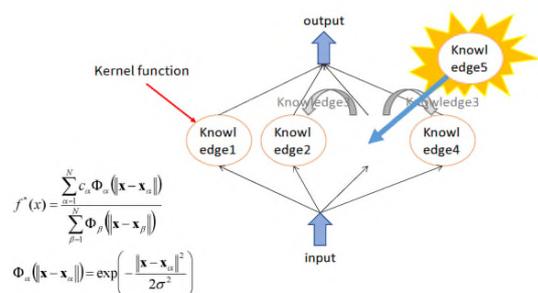
2. 研究の目的

組み込み機器用のマシンラーニングアルゴリズムを開発し、その応用例の一例として太陽電池のマイクロコンバータに組み込む。そして制御対象（本研究では太陽電池）の性質を運用中に学習させ、環境変化に対して高速な応答を実現する。

3. 研究の方法

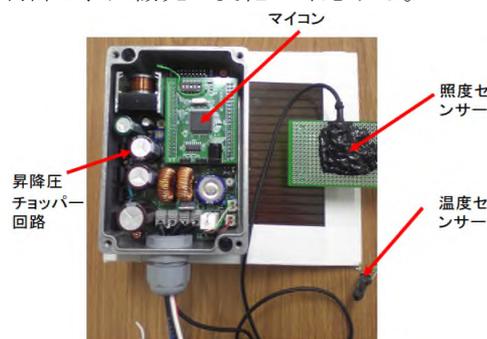
カーネルパーセプトロンをベースとして予算つきオンライン学習法の開発を行うとともに、これを一般帰帰ニューラルネットワークにも展開して性能を高める研究を行っている。

これらの学習器は基本的に新しいサンプル1個につき、新しいカーネル関数を1個割り付けることで記憶していく。多くのサンプルを記憶させようとするればそれだけ多くのカーネル関数が必要となりメモリも消費することになる。つまり、カーネルの数に上限が設定される。この制限された条件の下で追加的に学習を進めるには、冗長なカーネルを破棄して新しいカーネルを割り付ける工夫が必要である。また、これだけではなく、環境変化により過去の記憶が、しばらくは必要としない場合にも積極的に忘却するようにすることで、適応能力を損なわないようにする工夫を加えてある。このために、コンピュータのオペレーティングシステムに使われるページングアルゴリズムを参考にしている。



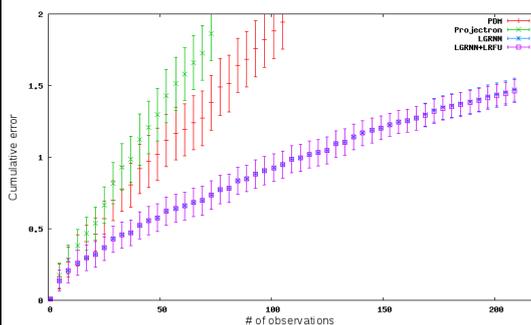
これら学習アルゴリズムの開発に加えて太陽電池のマイクロコンバータへの応用研究も行った。マイクロコンバータとは太陽電

池パネルそれぞれに装着するコンバータで、個々の太陽電池パネルの最大電力点を追従して常にそのパネルの発電能力を最大限発揮できるようにするコンバータである。提案コンバータは運用中に最大電力点と、太陽光の照度、太陽電池パネル表面温度との関係を学習する。そして、太陽光が急激に変化した際に、学習器に覚えこませた結果を用いて最大電力点を高速に予測して、チョッパー回路を制御し、太陽光の変化に即応する。



4. 研究成果

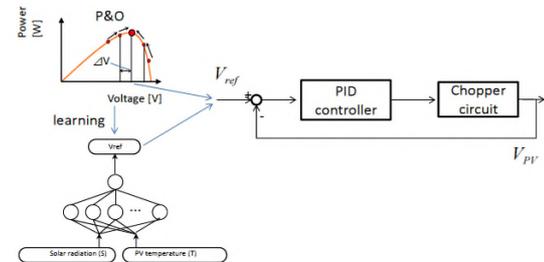
1) 他の予算つき学習法を凌駕する性能を出す学習エンジン LGRNN を開発できた。オンライン学習の際に新規サンプルに対する誤差を累積させたもの（累積誤差という）をプロットした一例を下に示す。パープルで示され



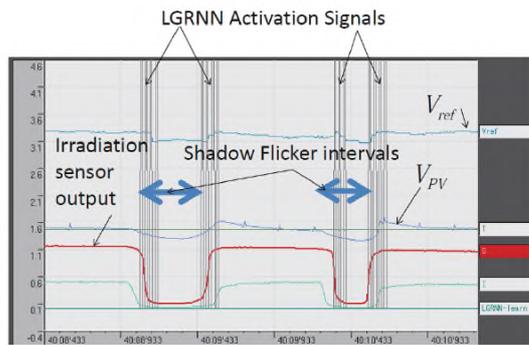
たカーブが提案手法 (LGRNN+LRFU) の結果であり、他の類似手法を下回っており、誤差が小さく抑えられていることが分かる。

2) マイクロコンバータ

マイクロコンバータに提案手法を組み込んだ。普段は従来の山登り法によって最大電力



点を追従する一方で LGRNN が照度・温度に対応する最大電力点を学習する。その一方で、照度が急変した際には LGRNN が直接制御信号を出す構成とした。下の図は照度急変時のシステムの挙動をデータロガーで観測したものととなる。



赤色の曲線は照度センサーの出力であり、その出力が急変した際に縦棒で示された位置でLGRNNが出力地を求めている。その際に水色で示された  $V_{ref}$  (制御信号をアナログ値で示したもの) が急に変化していることがわかる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

[1] Koichiro Yamauchi . "Incremental learning on a budget and its application to quick maximum power point tracking of photovoltaic systems", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol.18, No. 4, pp. 682--696, (2014). 査読あり

[2] 山内康一郎 . "昆虫脳をヒントにした学習エンジンとその応用", ARENA, vol.17, pp. 163--167, (2014). 査読なし

[学会発表] (計 16件)

[1] Akihisa Kato, Hirohito Kawahara, Koichiro Yamauchi. "Incremental learning on a budget and a quick calculation method using a tree-search algorithm ", in IJCNN2015: The International Joint Conference on Neural Networks 2015, IEEE, to Appear, Killarney, Ireland, July12-17, 2015

[2] 小木曾 貴也, 山内 康一郎 . "アンサンブル法による学生スキル収集と教育への利用 ~ skill collector の提案 ~",

Technical Report 電子情報通信学会技術報告, NC2014-53, pp. 55--58, 2014年12月13日, 名古屋大学

[3] Kenta Igushi, Takaya Ogiso, Koichiro Yamauchi . "Acceleration of reinforcement learning via game-based renewal energy management system", in SCISIS2014, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, New York, pp. 415--420, Kitakyusyu International Conference Center, Japan, December 3-6, 2014

[4] Yusuke Kondo, Koichiro Yamauchi . "A Dynamic Pruning Strategy for Incremental Learning on a Budget", in Neural Information Processing -- The 21st International Conference, ICONIP2014 --, Springer-Verlag, vol.LNCS8834, No.1, pp. 295--303, Imperial Hotel, Kuching, Sarawaku, MALAYSIA , November 3-6, 2014

[5] 山内康一郎 . "重み付き射影法によるリソース制限下での追加学習", in 平成 26 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, vol. J5-5, 中京大学名古屋キャンパス 1号館, 2014.9.8-9

[6] 加藤 和義, 伊串 健太, 小木曾 貴也, 山内 康一郎 . "Supervised Actor-Critic 法を活用した分身エージェントの生成と自動取引への応用", in 平成 26 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, vol. J5-6, 中京大学名古屋キャンパス 1号館, 2014.9.8-9

[7] Akihisa Kato, Hirohito Kawahara, Koichiro Yamauchi . "Improved Limited General Regression Neural Network for

Embedded Systems”, in JNNS2014 Hakodate, 日本神経回路学会, 公立ほこだて未来大学 (北海道函館市), 2014年8月27日-29日

[8] 近藤 勇祐, 山内 康一郎. “ページ置き換えアルゴリズムを導入した Limited General Regression Neural Network”, Technical Report 電子情報通信学会技術報告, NC2013-112, pp. 139--143, 2014年3月17日-18日 玉川大学

[9] 加藤 晶久, 山内 康一郎. “組み込み用学習法 LGRNN とその探索木を用いた高速計算法”, Technical Report 電子情報通信学会技術報告, NC2013-66, pp. 75--80, 2013年12月21日 岐阜大学サテライトキャンパス

[10] Koichiro Yamauchi, Yusuke Kondo, Akinari Maeda, Kiyotaka Nakano, Akihisa Kato. “Incremental learning on a budget and its application to power electronics”, in Minho Lee, Akira Hirose, Zeng-Guang Hou, Rhee Man Kil, editors, Neural Information Processing -- The 20th International Conference, ICONIP2013 --, Springer-Verlag, vol. LNCS8227, pp. 341--351, Daegu, South Korea, Nov 3, 2013 - Nov 7, 2013

[11] 伊串健太, 山内康一郎. “スマートグリッドゲームと強化学習を組み合わせた売電制御法の検討”, in 第29回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 991--995, 大阪国際大学 枚方キャンパス, 2013年9月9日-11日

[12] Koichiro Yamauchi. “An importance weighted projection method for

incremental learning under unstationary environments”, in IJCNN2013: The International Joint Conference on Neural Networks 2013, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, New York, pp. 1--9, Fairmont Hotel Dallas, USA, 04 Aug - 09 Aug 2013

[13] Koichiro Yamauchi. “Incremental learning on a budget and its application to quick maximum power point tracking of photovoltaic systems”, in The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, pp. 71--78, Kobe Convention Center (Kobe Portopia Hotel), November 20-24, 2012

[14] Koichiro Yamauchi. “Soft-projection method for incremental learning on a budget”, in 第15回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2012), 筑波大学 東京キャンパス文京校舎, 2012.11.7-9

[15] Koichiro Yamauchi, Yusuke Kondo. “A limited general regression neural network and its application to a quick maximum power point tracker”, in The 22th Annual Conference of Japanese Neural Network Society, 日本神経回路学会, 名古屋工業大学, 2012年9月12日-14日

[16] Yusuke Kondo, Koichiro Yamauchi. “A Quick Maximum Power Point Tracking Converter for Photovoltaic Systems Using A Limited General Regression Neural Network”, in The 22th Annual Conference of Japanese Neural Network Society, 日本神経回路学会, pp. P20, 名古屋工業大学, 2012年9月12日-14日

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1件）

名称：太陽光発電ユニット

発明者：山内康一郎

権利者：学校法人中部大学

種類：特許

番号：特願 2012-251792

出願年月日：2012年11月16日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://sakura.cs.chubu.ac.jp>

## 6. 研究組織

研究代表者

山内康一郎 (YAMAUCHI, Koichiro)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：00262949