

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月5日現在

機関番号：32407

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700180

研究課題名（和文）カオスニューラルネットワークを用いた太陽光発電最適動作点追尾アルゴリズムの開発

研究課題名（英文）The Maximum Power Point Tracking Algorithm using Chaotic Neural Network for The Photovoltaic Power Generation

研究代表者

木村 貴幸（KIMURA TAKAYUKI）

日本工業大学・工学部・助教

研究者番号：80579607

研究成果の概要（和文）：太陽光発電システムは、天候などの気象条件に左右され発電量が不安定となる。安定した電力量を供給するために、本研究では太陽光発電における効率的な最適動作点追尾アルゴリズムの開発を行った。さらに、太陽光発電と風力発電から構成される電力グリッドに対して、相互結合型ニューラルネットワークを用いた最適電力供給制御手法を評価した。これら結果は、非線形電源を有する電力システムでの最適化において、ニューラルネットワークなどの最適化手法が有効であることを示唆する重要な知見である。

研究成果の概要（英文）：

The electric power from the photovoltaic power generation always fluctuates because the amount of the electric power depends on the weather conditions. Then, this study proposed a new maximum power point tracking algorithm to use the photovoltaic power generation systems stably and efficiently. Further, this study also evaluated a power-controlling algorithm for the power grid with photovoltaic power generation systems and wind turbine power generation systems. The obtained results indicated that the heuristic algorithms using the neural networks work well for the novel power generation systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：ソフトコンピューティング、最適動作点追尾アルゴリズム、組み合わせ最適化

1. 研究開始当初の背景

（1）近年、二酸化炭素排出量削減を目指す環境問題への取り組みや、将来的に枯渇する化石燃料などの観点から、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーを用いた発電システムに関する研究が盛んに行われている。天候により発電量が不安定となる発電機器に関して、安定した電力を負荷へ供給するには、自己放電が非常に少ないリチウムイオ

ン電池などの高価な蓄電設備を整えることが必須となっている。従って、可能な限り容量が少なくかつ安価な蓄電器上での運用を目指すために、気象条件の変化に対して発電量が最大となる最適動作点を動的に追尾するアルゴリズムを提案することが望まれている。

（2）現在まで種々の最適化問題に対して効率的な解法アルゴリズムであるニューロダ

イナミクスなどのソフトコンピューティング技法を用いたアルゴリズムの応用に関して、下記の研究計画で遂行している。

- H18年度：経路制御問題に関する解法の提案
- H19年度：配送計画問題に対する解法の提案
- H22年度：太陽光発電用及び燃料電池用デジタル電源の開発と実装実験

(3) これまでの研究計画・背景を鑑み、本研究では、太陽光発電に関する最適動作点追尾アルゴリズムの提案を行う。さらに、太陽光発電と風力発電、ユーティリティグリッドから構成される電力グリッドに対して、最適電力を決定する最適化アルゴリズムを提案する。

2. 研究の目的

(1) 太陽光発電システムにおいて、種々の気象条件に対してその最適動作点を追尾する効率的なアルゴリズムを提案する。さらに自然エネルギーを用いた電力グリッドに対して、その最適電力量を決定する最適化アルゴリズムを提案する。

(2) 相互結合型ニューラルネットワークを用いた解探索アルゴリズムは、アニーリング法やボルツマンマシンなどを用いて解の探索に確率性を導入し、局所解にトラップすることを防ぐための改善を行う。しかしこれらの手法では、初期値の選択が解の良し悪しに大きく影響するため効果的な解法とは言えない。本研究テーマの最終的な目標であるカオスダイナミクスを用いた解探索手法は、エネルギー最小化原理を用いず解の探索を行うため、種々の最適化問題に対して効率的な解探索を行えることが可能である。

3. 研究の方法

(1) 提案手法の構築のために太陽光発電モデルの構築を行う。具体的には、部分影などの存在しない理想的な太陽光発電モジュールから構成される発電モデルを構築する。このモデルに対して、従来法である山登り法や増分コンダクタンス法の評価を行い、従来法の問題点を明らかにする。さらに、上記の問題点を改善するために手法の提案を行う。数値実験により、手法の評価を行う。

(2) 太陽光発電および風力発電、燃料電池、ユーティリティグリッドから構成される電力グリッドを計算機上で構成し(図1)、各発電システムの最適電力供給量を決定する最適化アルゴリズムを提案する。

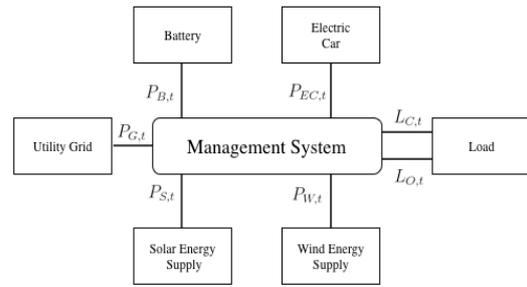


図1 電力グリッドモデル

4. 研究成果

(1) 太陽光発電における最適動作点追尾制御アルゴリズムの従来法である増分コンダクタンス法の評価を行った。

① 数値実験の結果を図2と図3に示す。図2から電圧動作量 ΔV が1Vの場合、最大電力までの追尾が早いことが確認できる。しかし、図3から ΔV が1Vの場合では、定常状態での出力誤差が大きくなることが確認できる。これらの結果から、収束速度と収束精度はトレードオフの関係となることが明らかとなった。

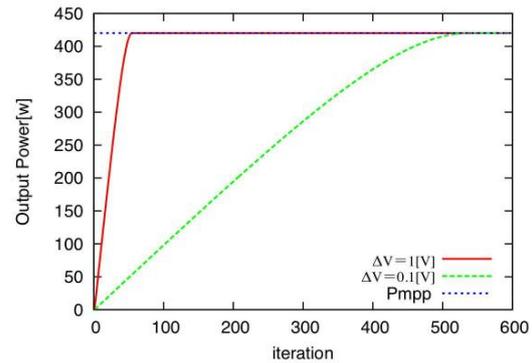


図2 電圧動作量 ΔV に対する収束速度

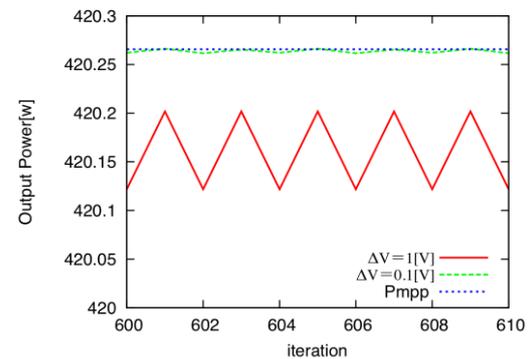


図3 電圧動作量 ΔV に対する収束精度

② 増分コンダクタンス法は電圧動作量が一定であるため、収束速度と収束精度を高く維持することが困難である。従って、最適動作点に接近するまでは動作量を大きくさせ、最適動作点の近くでは動作量を小さくするこ

とで収束速度が早くかつ精度を正確に保つことができる。そこで、新たに最適動作点追尾制御法を提案する。提案手法の動作として第一段階では山登り法を用いて最大電力点を素早く探索し、第二段階では増分コンダクタンス法を用いることで細かい追尾を行う。

③ 提案制御法の評価を行う。提案手法における電圧動作量は、第一段階では1V、第二段階では0.1Vとする。更新速度は250msとする。本実験では、表1の実験条件で照度を変化させ最適動作点を追尾した。条件1では変化頻度を、条件2では最大変化量を1%ずつ変化させている。

表1 実験条件

	条件1	条件2
変化頻度	1~10%	5%
最大変化幅	5%	1~10%

④ 表2の条件1における実験結果を図4と図5に示す。増分コンダクタンス法と比較して提案法は誤差が低く、特に12時付近では0.005%以下と少ないことが確認できる。

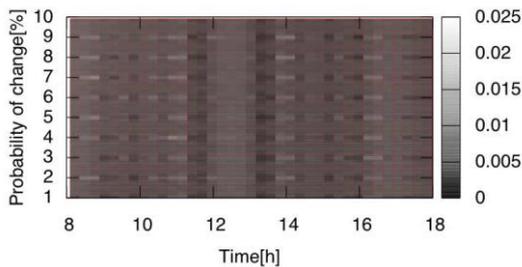


図4 実験条件1における従来法の誤差

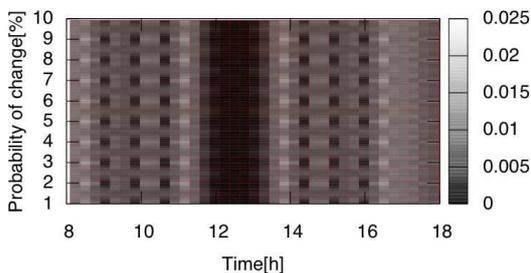


図5 実験条件1における提案法の誤差

⑤ 実験条件2における実験結果を図6と図7に示す。条件1と同様に増分コンダクタンス法と比較して提案法は誤差が低く、特に12時付近では0.005%以下と少ないことが確認できる。これらの結果から従来法と比較して、

提案手法の探索効率が良くなることが確認できる。

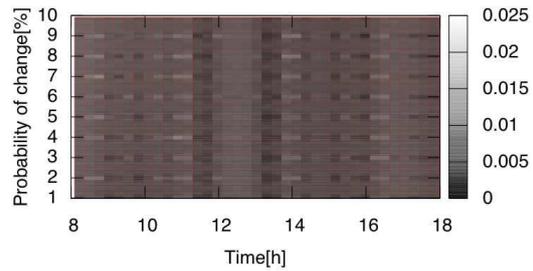


図6 実験条件2における従来法の誤差

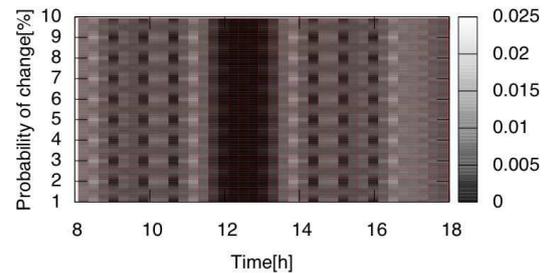


図7 実験条件2における提案法の誤差

⑥ 太陽光発電の最大電力点追尾制御について従来法を評価し、収束速度と収束精度の両立が難しいという問題を明らかにした。これらの問題を解決するために新たな最適動作点追尾法を提案した。計算機実験の結果から、収束時間を維持しつつ収束精度が向上することを確認した。

(2) 太陽光発電と風力発電から構成される電力グリッド(図1)について手法の評価を行った。

① 従来法では、単一の電力需要家に対する最適制御手法を提案している。しかし、近年の太陽光発電の利用の高まりから、各家庭やビルの屋上が発電所となり、分散電源型社会が形成されている。これらの分散管理の概念に基づき、従来の電力ネットワークよりもより複雑な電力の潮流を制御することが求められている。

② 複雑な電力ネットワークを形成する場合、その形状が手法の性能にどのような影響を及ぼすのかを調べることは重要である。そこで電力ネットワークの形状と最適制御の性能を検討するため、WSモデル型電力ネットワーク上での手法の評価を行った。

③ 20個のノードから構成されたWS型電力ネットワークと1,000個のノードから構成されたWS型電力ネットワークの結果を表2と3

に示す。表 2 と 3 から、ネットワークがランダムな形状を有する場合 ($p=0$)、改善率が上昇していることが分かる。従って、ネットワークの形状と改善率に強い相関が存在することが確認できる。

表 2 ノード数 20 における結果

枝交換確率	0.00	0.01	1.00
初期不足ノード数	8.37	8.79	8.81
最適制御後電力不足ノード数	5.12	4.82	4.61
改善率 [%]	41.79	45.16	47.67

表 3 ノード数 1,000 における結果

枝交換確率	0.00	0.01	1.00
初期不足ノード数	436.88	438.88	439.02
最適制御後電力不足ノード数	166.64	155.52	65.28
改善率 [%]	61.86	64.46	85.13

④ 実験結果から、ネットワークがランダム性を有する場合、電力グリッドの改善率が高くなることがわかった。

(3) 太陽光発電追尾アルゴリズムに関して、山登り法と増分コンダクタンス法を組み合わせた新たな手法を提案した。しかし、ニューラルネットワークなどのソフトコンピューティング技法の応用までには至っていない。今後の展望としては、ニューラルネットワークを用いることにより電力需要予測を行い、この予測に対応した動作追尾法を提案する予定である。

(4) 電力グリッドに対する最適電力量決定アルゴリズムについてニューラルネットワークを用いた手法を評価し、その有効性を確認した。海外及び国内を含めて、電力最適化問題に対するソフトコンピューティング技法を用いた最適制御手法の応用については珍しく、これら結果は、非線形電源を有する電力システムでの最適化において、ニューラルネットワークなどの最適化手法が有効であることを示唆する重要な知見である。

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. Takayuki Kimura, Takefumi Hiraguri and Tohru Ikeguchi, “An Effective Routing

Algorithm with Chaotic Neurodynamics for Optimizing Communication Networks,” “American Journal of Operations Research, Vol. 2, pp. 348–356, 2012, 査読有, DOI: 10.4236/ajor.2012.23042

2. Takayuki Kimura, Tohru Ikeguchi and Chi Kong Tse, “Efficient Routing Strategy with Memory Information for Complex Networks,” “American Journal of Operations Research, Vol. 2, pp. 73–81, 2012, 査読有, DOI: 10.4236/ajor.2012.21008

[学会発表] (計 14 件)

1. Keisuke Kimura and Takayuki Kimura, “Optimal Operation for Renewable Energy Systems Using Recurrent Neural Networks,” 電気学会, 2013. 3. 11, 新都心ビジネス交流プラザ (埼玉県).

2. Keisuke Kimura and Takayuki Kimura, “Neural Network Approach to A Renewable Energy System with Complex Networks,” International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2013. 3. 6, Courtyard King Kamehameha’s Kona Beach Hotel, The Island of Hawaii, USA,

3. Takayuki Kimura and Tohru Ikeguchi, “Effective routing strategy by chaotic neurodynamics for complex networks,” International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2013. 3. 5, Courtyard King Kamehameha’s Kona Beach Hotel, The Island of Hawaii, USA.

4. Yusuke Ohtsuka and Takayuki Kimura, “A Study of A New Two- stages MPPT Method for The Photovoltaic System,” “International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2013. 3. 5, Courtyard King Kamehameha’s Kona Beach Hotel, The Island of Hawaii, USA.

5. 大塚裕輔, 木村貴幸, “2段階増分コンダクタンス法を用いた最大電力点追尾アルゴリズムの一考察,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2012. 12. 17, 福井市地域交流プラザ (福井県).

6. Keisuke Kimura and Takayuki Kimura, “Optimal operation by recurrent neural networks for a renewable energy power-grid,” “International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2012. 11. 21,

神戸コンベンションセンター（兵庫県）.

7. Ryouta Nakashima, Takayuki Kimura and Youichi Ishizuka, “A study of output instability in the current-mode controlled DC- DC buck- boost converter,” International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2012.10.25, Gran Melia Victoria, Majorca, Spain.

8. Takayuki Kimura and Tohru Ikeguchi, “Traffic Dynamics on Effective Routing Strategy for Complex Networks,” International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2012.10.25, Gran Melia Victoria, Majorca, Spain.

9. Takayuki Kimura and Tohru Ikeguchi, “A Routing Strategy with Load- Balancing Effects by Chaotic Neural Networks,” 回路とシステムワークショップ, 2012. 7. 31, 淡路夢舞台国際会議場（兵庫県）.

10. 木村 佳佑, 木村 貴幸, “スマートグリッドシステムに対するリカレントニューラルネットワークを用いた最適化手法に関する一考察,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2012. 7. 6, 鹿児島県産業会館（鹿児島県）.

11. 中島 良太, 木村 貴幸, 石塚 洋一, “電流制御方式昇降圧型DC- DCコンバータに現れるカオス現象の一検討,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2012.3.28, 福江文化会館（長崎県）.

12. Takayuki Kimura and Tohru Ikeguchi, “Efficient routing strategy using chaotic neural networks,” 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2011. 9. 16, 北海道大学(北海道).

13. Takayuki Kimura and Tohru Ikeguchi, “A Chaotic Routing Strategy for Packet Delivery in Complex Networks,” International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2011. 9. 5, Kobe Industrial Promotion Centre.

14. 木村 貴幸, 平栗 健史, 神野 健哉, “カオスニューラルネットワークを用いた経路制御方式,” 電子情報通信学会 通信方式研究会, 2011. 7. 8, 久米島イーブ情報プラザ（沖縄）.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 貴幸 (KIMURA TAKAYUKI)
日本工業大学・工学部・助教
研究者番号：80579607