

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 5 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420252

研究課題名(和文) 電力価格時系列予測のためのハイブリッドインテリジェントシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Hybrid Intelligent System for Electricity Price Time-Series Forecasting

研究代表者

森 啓之 (Mori, Hiroyuki)

明治大学・総合数理学部・専任教授

研究者番号：70174381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では電力市場における電力価格予測モデルを高精度化するためにカーネルマシンのガウス過程(以後、GPと略記)について研究した。本研究ではGPを改善するために3つの改善策について検討した。1つはカーネル関数をガウス関数ではなくマハラノビス関数の使用による一般化、2つ目はパラメータ推定において大域的最適値をもとめるため進化的計算のEPSOの応用、3つ目はクラスタリング手法を用いて学習データを複数のデータに分割し、各クラスごとに予測モデル構築する前処理技術について比較検討した。また、ニューラルネットの一般化ラジアル基底関数ネットワーク(GRBFN)への有効性についても検討した。

研究成果の概要(英文)：In this research, new models for GP of Kernel Machine have been proposed to deal with electricity price forecasting in power markets. So, intelligent systems are the mainstream of the methods due to the good nonlinear approximation. However, there is still room for improvement of intelligent systems for electricity price forecasting. This research proposes three strategies for GP, Use of Mahalanobis Functions in GP, Application of EPSO to determination of parameters, and Precondition of learning data by crisp and fuzzy clustering. In addition, the effectiveness of the strategies was investigated for an alternative model of GRBFN (Generalized Radial Basis Function Network) of ANN (Artificial Neural Network).

研究分野：電力系統工学

キーワード：電力価格予測 地域別限界価格 ガウシアンプロセス クラスタリング 進化的計算 ニューラルネットワーク ファジィ論理 予測

1. 研究開始当初の背景

電力自由化を経たスマートグリッド環境下の電力システムでは、米国を中心に様々な技術革新やビジネスモデルが提案されている。そのような環境下の電力システムでは発電会社、配電会社、需要家、送電ネットワーク管機関、電力市場、サービスプロバイダーなどのプレーヤーが存在する。そのプレーヤーのほとんどは利益最大化およびリスク最小化に関心がある。利益最大化およびリスク最小化をもたらす大きな要因の一つに電力市場における電力価格の変動がある。電力価格の時系列は、他の時系列と比べて、変動が大きいと、予測が困難であることが知られている。例えば、米国の電力会社共同体の PJM(Pennsylvania, New JerseyMaryland)では 2014 年 1 月に電力価格が通常約 20 倍上昇したことが知られている。このような現象は突発的に価格上昇し、その後、下降するため「スパイク」と呼ばれている。

また、日本では 2016 年 4 月から電力小売りの全面自由化が開始され、新たな段階に進んでいる。その結果、需要家は電力の売り手やサービスを自由に選択できるため、プレーヤー間の競争は激化している。前述の利益最大化およびリスク最小化を実現する手段として、電力価格予測が注目されている。その理由として電力市場において事前に電力価格変動の正確な振舞が分かっているならば、電力売買において優位な立場を得ることができるからである。従来の電力価格予測手法を次のように大別できる。

1) 統計的手法

2) インテリジェントシステム手法
上記の 1) では ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)、GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) モデルなどが研究されて来た。他方、インテリジェントシステムでは非線形近似能力が高いニューラルネットワーク

の多層パーセptron (MLP; Multilayered Perceptron) ラジアル基底関数ネットワーク (RBFN; Radial Basis Function Network) の応用が研究されて来た。統計的手法に比べて、インテリジェントシステムが非線形時系列に対して適用性があるため、予測結果においてその性能が優れていることが確認されてきた。しかし、電力市場のプレーヤーの視点から、一層の高精度予測モデルの開発への期待がされている。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の通りである。

- 1) 電力価格予測を高精度に行うためカーネルマシンと他のインテリジェントシステムを融合したハイブリッドシステムを開発する。
- 2) 電力価格予測モデルにおいて予測モデルの指標として使用される平均誤差、最大誤差、誤差の標準偏差を削減することを目的とする。特に最大誤差を発生する場合はスパイクが発生時であるため、予測モデルの最大誤差を削減することに着目する。

3. 研究の方法

1) まず、予測モデルとしてカーネルマシンの階層的ベイズ推定を用いた GP(Gaussian Process) モデル (以後、GP と略記) を用いることで従来のニューラルネットワークの MLP や RBFN とは異なる手法について研究した。階層的ベイズ推定の特徴としてハイパーパラメータを導入することでモデルに柔軟性を持たせたこと、予測値が高精度化すること、予測値の不確定性の指標としてエラーの評価などがある。GP のカーネル関数としてマハラノビス関数の使用について比較検討する。また、別の予測モデルとして GRBFN (Generalized Radial Basis Function Network) の使用について検討した。

2) 単純な予測モデルを使用するよりも、クラスタリング手法で予測モデルの学習データをいくつかのクラスに分類し、そのクラス毎に予測モデルを構築する前処理付き予測モデルに着目した。前処理付き予測モデルを GP モデルに適用することで GP に適用することで誤差の改善を研究した。

3) 上記の 2) のクラスタリング手法として工学において広く使用されているローカルなクリスプクラスタリング手法である k-means, 最適化手法の SA (Simulated Annealing) のように温度パラメータを導入し、グローバルなクリスプクラスタリング結果を得る DA(Deterministic Annealing) クラスタリング、ファジィ論理を k-means に導入し、データが複数のファジィクラスタリングの所属を可能にする FCM(Fuzzy c-Means) などについて研究した。

4) 予測モデルのパラメータを評価する際、従来法では勾配法を用いていたが、予測精度を改善するため、進化的計算の EPSO (Evolutionary Particle Swarm Optimization) でパラメータの大域的最適値を求めることを開発した。EPSO は PSO とは異なり、反復毎に良好なパラメータを決定するアルゴリズムである。

4. 研究成果

提案する手法を米国 ISO New England の実データに適用した結果、以下の研究結果を得た。

1) 電力価格予測において GP は MLP や RBFN よりも良好な結果を得た。ここで、GP のカーネル関数としてマハラノビス関数を使用することが効果的であることを確認した。また、GP のエラーの評価は不確定の評価に重要であることが分かった。

2) 前処理付き GP モデルに使用することは従来の GP よりも良好な結果を得ることが確認できた。前処理のクリスプクラ

スタリングとしては DA クラスタリングが k-means よりも効果的であった。ただし、スパイクが所属するクラスではデータ数が少ないため、最大誤差削減にさらなる改善の余地があることが分かった。

3) 上記の 2) の最大誤差の課題のスパイク対応に対してクリスプクラスタリングではなくファジィクラスタリングを導入することは、誤差削減になることが確認した。

4) 予測モデルのパラメータ推定に進化的計算の EPSO を使用することで誤差削減に貢献できることを確認した。また、EPSO は初期値に依存しにくい手法であることも分かった。

5) 電力価格予測において GRBFN といくつかのファジィクラスタリングの融合について研究した結果、ファジィクラスタリングが有効であることを確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

[1] H. Mori and K. Nakano “Application of Gaussian Process to Locational Marginal Pricing Forecasting,” *Procedia Computer Science* (Elsevier), Vol. 36, pp. 220-226, Nov. 2014. <査読あり>

[2] H. Mori and K. Nakano, “An Efficient Hybrid Intelligent Method for Electricity Price Forecasting,” *Procedia Computer Science* (Elsevier), Vol. 95, pp. 287-296, Nov. 2016. <査読あり>

[学会発表](計 5 件)

[1] H. Mori and K. Nakano “LMP Forecasting with Prefiltered Gaussian Process,” *Proc. Of IEEE CIS Symposium Series on Computational Intelligence 2014 (SSCI2014)*, 6 pages, Orlando, FL, USA, Dec.2014.<査読あり>

[2] H. Mori and K. Nakano, “EPSO-based

- Gaussian Process for Electricity Price Forecasting," Proc. of IEEE CIS CEC2015 (2015 Congress on Evolutionary Computation), 6 pages, Sendai, Japan, May 2015. <査読あり>
- [3] H. Mori and K. Nakano, "Development of Advanced Gaussian Process for LMP Forecasting," Proc. of IEEE ISAP2015 (CD-ROM), 6 pages, Porto, Portugal, Sep. 2015. <査読あり>
- [4] H. Mori and S. Itaba, "An Efficient Hybrid Intelligent System for Electricity Price Forecasting," Proc. of IEEE TENCON2016, 4 pages, Singapore, Nov. 2016. <査読あり>
- [5] H. Mori and S. Itaba, "Integration of Improved GRBFN with Fuzzy Clustering for Electricity Price Forecasting," Proc. of IFSA-SCSI 2017 (Accepted), 6 pages, Otsu, Japan, June 2017. <査読あり>

〔図書〕(計1件)

編著「スマートコミュニティのためのエネルギーマネージメント」大河出版(210頁)
(2016-8)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

無し

取得状況(計0件)

無し

〔その他〕

次のホームページにて研究成果の論文リスト公開予定。

<http://www.isc.meiji.ac.jp/~hmori/pwr/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 啓之(Hiroyuki Mori)

明治大学・総合数理学部・専任教授