

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	機械学習に基づく電力市場における前日計画法 — 再生可能エネルギーの不確かさのもとでの取引戦略 —
Title(English)	
著者(和文)	渡邊郁弥
Author(English)	Fumiya Watanabe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11424号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:井村 順一,藤田 政之,三平 満司,山北 昌毅,早川 朋久
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11424号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	渡邊 郁弥		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	井村 順一 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「機械学習に基づく電力市場における前日計画法 - 再生可能エネルギーの不確かさのもとでの取引戦略 -」と題し、電力小売事業に参加するアグリゲータの電力市場における取引戦略について考える。特に、再生可能エネルギーの不確かさに対処するために、機械学習の方法に基づいた前日計画法を提案する。本論文の各章の概要は次に述べる通りである。

第1章「序論」では、本論文の研究背景と先行研究、研究目的を述べる。まず、電力小売事業に参加するアグリゲータと電力取引市場について述べ、再生可能エネルギーの不確かさに起因する電力市場取引が困難であることを述べる。また、関連する既存の前日計画法について述べる。特に、既存の手法として再生可能エネルギーの発電量の予測に基づく方法を取り上げ、その特徴と問題点を整理する。これに対し、本論文ではアグリゲータの利益を最大化する計画値を直接出力するブラックボックスを、機械学習の手法を用いて構築することを述べる。そして、本論文の研究の目的を説明する。

第2章「問題設定」では、前日計画とアグリゲータの利益を数理モデルにより表現し、アグリゲータの利益を最大化する前日計画法を求める問題を与える。まず、取引前日までに得ることができる情報から計画値を出力する計画関数を定義し、その計画値に対して定まるアグリゲータが得る利益を定式化する。続いて、定式化された利益をもとに、利益を最大化する理想的な前日計画法について考える。そのうえで、理想的な前日計画法は現実には実現できないことを述べる。本論文では、実現不可能な理想的な計画を近似的に達成するために、過去のデータに対して利益を最大化する計画関数を、機械学習の方法を用いて構築することを提案する。特に、パラメトリックな計画関数モデルを定義することで、計画関数モデルの学習問題を、モデルパラメータの最適化問題として定式化する。

第3章「線形なパラメータを持つ計画関数モデルと凸最適化に基づく学習法」では、計画関数モデルとして線形なパラメータを持つモデルを用いた場合の学習法について述べる。ここでは、インバランスに対するペナルティを表す関数と運用コストを表す関数がそれぞれ凸関数であるとき、パラメータの線形性から、第2章で述べるモデルパラメータの最適化問題が凸最適化問題となることを示す。さらに、ペナルティ関数と運用コスト関数がそれぞれ区分的アフィンな凸関数であるという仮定を追加すると、パラメータの最適化問題が線形計画問題に、L2 正則化が導入されている場合には2次計画問題になることを示す。最後に、利益を直接評価することの重要性を確認するために、数値例を通して予測値に基づく前日計画法との比較を行い、考察する。その結果から、予測値に基づく前日計画に比べ、提案手法を用いることでより大きな利益を示すこと、インバランスを抑える計画が達成されていることを示す。

第4章「ニューラルネットワークを用いた計画関数モデルと勾配降下法に基づく学習法」では、計画関数モデルとしてニューラルネットワークを用いた場合の学習法を述べる。ニューラルネットワークの学習で一般に用いられる勾配降下法を適用するためには、評価関数である過去の利益のパラメータに対する勾配を計算する必要がある。本論文では、ペナルティ関数と運用コスト関数が区分的アフィンな凸関数であるとき、利益が線形計画問題の最適値によって表されるという性質に着目し、勾配を計算する方法を示す。具体的には、線形計画問題の強双対性から勾配を計算する方法を導くことができる。そして、第3章で述べた方法に比べて、ニューラルネットワークを用いた場合は学習に必要なメモリ容量を削減することができ、多数のデータを用いた学習が可能であることを述べる。最後に、多数データの利用可能性とその効果を調べるために、数値例を通して第3章で述べた方法とニューラルネットワークを用いた方法について比較を行う。その結果から、ニューラルネットワークを用いることで多数データが利用可能となり、過学習抑制の効果でより大きな利益を得ることができることを示す。

第5章「結論」では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題を示す。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： システム制御 系
Department of Graduate major in システム制御 コース
学生氏名： 渡邊 郁弥
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 井村 順一 教授
Academic Supervisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this study, we consider a transaction strategy in a day-ahead electricity market in the situation where uncertain renewable energy is introduced. The aggregator who is a participant in the electricity market must bid on the schedule of the prosumption energy by the day before of the actual transaction. If the actual transaction energy differs from the scheduled transaction energy, the aggregator must pay a large imbalance adjustment penalty. In order to avoid paying the penalty, we construct a model that determines the schedule based on a machine learning method using past data. In particular, we aim to maximize a profit of an aggregator by learning using the profit of the aggregator as an evaluating function. In this study, we use a linear parameter model and a neural network model as the scheduling model. First, we show that the problem finding the optimal model parameter is convex if we use a linear parameter model. Moreover, if the functions representing the operation cost and the imbalance penalty cost are defined as piecewise affine functions, we can derive that the problem finding the optimal parameter is a linear program. Furthermore, if we introduce a L2 regularization term in the evaluation function, we can derive that the problem finding parameter is a quadratic program. Next, we provide a training algorithm if we use a neural network model. In particular, we provide a computation method of the gradient of the profit with respect to the parameter for using a gradient descent method. If we use a neural network model, a required memory size for training is suppressed compared with a linear parameter model. For this reason, we can use more training data if we use a neural network model, then we can suppress overfitting. Finally, we evaluate the usefulness of the proposed method by numerical examples.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).