

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Robust State Estimation of Power Systems under Cyber Attacks: Decomposition-based Approach
著者(和文)	AHMADINAJAFABADINAIME
Author(English)	Naime Ahmadinajafabadi
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12481号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:石井 秀明,三宅 美博,DEFAGO XAVIER,小野 功,小野 峻佑
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12481号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	AHMADINAJAFABADI NAIME	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	石井 秀明	教授	小野 峻佑	准教授
	審査員	三宅 美博	教授		
		DEFAGO XAVIER	教授		
	小野 功	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Robust State Estimation of Power Systems under Cyber Attacks: Decomposition-based Approach」と題し、英文による全 6 章から構成されている。本論文は、近年、情報通信技術の導入が進む電力システムのサイバーセキュリティ向上を目的としており、その監視制御システム内において重要な役割を果たす状態推定問題を主に扱っている。悪意ある外部の攻撃者により、系統内の一部の計測値や系統モデルに関する情報が改ざん攻撃を受けた場合に、その影響を抑制するために検知および状態推定を行うロバストかつ効率的な推定アルゴリズムを提案している。

第 1 章「Introduction」では、本研究の背景および研究の概要がまとめられている。近年、エネルギー分野において深刻なサイバー攻撃事例が急増していることを述べた後、サイバーセキュリティに関する基礎、とくにデータ改ざん攻撃およびその検知手法について説明している。検知にはモデルに基づく手法とデータに基づく手法があるとし、双方の近年の研究動向を概説している。その後、本研究の主課題である状態推定とそのセキュリティに関して、本論文の貢献を関連研究と合わせて述べている。

第 2 章「Overview on Power System State Estimation」では、電力システムにおける静的な状態推定問題の基本的な問題設定が説明されている。最初に準備として、電力システムの数理モデル、非線形および線形な状態推定問題、およびヤコビアン行列が導入されている。つぎに代表的な従来法として、重み付き最小二乗法による状態推定法、さらにその結果を利用した異常検出法について紹介している。また本論文で対象とするデータ改ざん攻撃モデルを定義し、それが従来法では検知が不可能である上、攻撃者が状態推定値を操作できる悪意性の高いものであることを述べている。最後にロバストな推定法として知られる 3 種類の手法を説明し、その内、本研究では最小二乗刈込み法を主に用いるとしている。

第 3 章「Decomposition-Based State Estimation and Attack Detection」では、本論文で考える問題を定式化している。とくに電力システムの状態推定においてデータ改ざん攻撃の影響を抑制するために、システムを分割した上でロバストな推定手法を適用するアプローチを採用すると述べている。攻撃の影響下で安定して状態推定を実行するには、分割後の系統がグラフとして以下の性質を満たすべきとしている：①各サブシステムが閉路グラフで、ノード数が少ない。②サブシステム数が少ない。さらに、こうした望ましい性質を有する系統分割のためのアルゴリズムを提案している。その手順は、電力システムを平面グラフとして描画した上で、複数の電線が交差する点を考慮し、最も小さい閉路である面を検出するアルゴリズムを適用することと述べている。

第 4 章「Analysis of the Decomposition-Based State Estimation」では、前章で導入した系統分割手法を IEEE バスシステムと呼ばれる標準モデルに適用し、数値シミュレーションを通じた検証を行っている。最初に小規模な 14 バスのシステムに対して提案法を適用し、その手順や結果を詳細に述べている。つぎに 30, 57, 118, 145, 300 バスの各システムについても、得られるサブシステムの数、サブシステム内のノード数、計算時間等を示している。比較対象として最小全域木による系統分割法を採用している。ランダムなデータ改ざん攻撃下での状態推定の性能比較を行い、提案法の優位性を示している。

第 5 章「Targeted Coordinated Attacks on Decomposition-Based State Estimation」では、より悪

意性の高い攻撃に備えてロバスト性を向上させるために、3ステップから成る状態推定アルゴリズムを提案している。そこでは、分割したサブシステムで最小二乗刈込み法による状態推定・攻撃検知を行った後に、全てのサブシステムの結果を統合し、異常値を除去した上で系統全体の状態推定・攻撃検知を実施する。本章の後半では本アルゴリズムの有効性をシミュレーションを通じて検証している。攻撃として、複数の計測値やヤコビアン行列データが系統モデルの情報に基づいて同時に改ざんされたものを用いており、最小二乗刈込み法に基づく提案法と他のロバスト推定を用いた手法を比較している。前章と同様に、はじめは14バスシステムに焦点をあて、攻撃箇所および攻撃の順序について詳細に説明をしている。提案法によって得られる系統内のサブシステムの構成を用いると、最小全域木による手法の場合に比べて、より多数の同時攻撃に対してロバストな推定が可能となることが述べられている。さらに大規模なシミュレーションにより、検知や状態推定の性能がより多くの攻撃に対してロバストであることが示されている。最後に、より規模の大きなシステムとして118バスシステムに対する数値実験も行っており、その結果が議論されている。

第6章「Conclusion」では、各章の内容をまとめた後、今後進める研究の方向性として、①より悪意性の高いサイバー攻撃の検討、②系統分割時にセンサの数や位置を考慮した手法の開発などを挙げ、期待される成果などが述べられている。

以上を要するに、本論文は電力システムの状態推定に対して、悪意性の高いデータ改ざん攻撃がなされた際にも安定して推定・検知を実行するためのロバストな手法を提案しており、シミュレーションを通じて詳細に解析を行っている。これは、ロバストな状態推定に対する数理モデルに基づくアプローチとして、新規性および学際性が高く、学術上貢献するところが極めて大きい。したがって、本論文は博士（学術）の学位論文として十分な価値が有るものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。