

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A study on abnormal-node detection and root cause analysis for dependable IoT sensor networks
著者(和文)	BERJABNesrine
Author(English)	Nesrine Berjab
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12298号, 授与年月日:2022年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:横田 治夫,宮崎 純,DEFAGO XAVIER,渡部 卓雄,吉瀬 謙二
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12298号, Conferred date:2022/12/31, 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		Nesrine Berjab	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	横田 治夫	教授	審査員	吉瀬 謙二	教授
	審査員	宮崎 純	教授			
		Defago Xavier	教授			
		渡部 卓雄	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A Study on Abnormal Node Detection and Root Cause Analysis for Dependable IoT Sensor Networks (ディペンダブルな IoT センサネットワークのための異常ノード検出と根本原因分析に関する研究)」と題し、高信頼な IoT センサネットワークを実現するための異常ノード検出に関する複数の手法と異常の根本原因分析手法について論じるもので、英文 7 章よりなっている。

第 1 章「Introduction」では、近年様々な場面において Internet of Things (IoT) デバイスの利用が増している状況を受け、正常でない IoT センサの社会生活等に及ぼす影響の大きさに触れ、IoT センサネットワーク中で異常値を発生するセンサノードの特定と、異常値発生時に、ノードの故障、外部からの攻撃、あるいは火災等の異常値発生の根本原因を分析することの重要性を述べ、本論文で提案する手法の貢献に関する概要と、論文構成について述べている。

第 2 章「Preliminaries」では、本論文で提案する手法の前提として、対象とする多種類 IoT センサの階層的分散クラスタ構成、利用するデータモデル、センサが出力する異常値に関する定義、およびセンサノード間の相関に関する想定について述べている。

第 3 章「Handling Anomalies With Temporal Correlation」では、階層的に分散する各センサノードにおいて異常値を時間的相関から軽量に判別するためにファジー論理とルールを用いる FuzHD 法と名付けた独自の手法を提案するとともに、Wang-Mendel (WM) 法とサンプルデータを用いてルールを改良した FuzHD+rRB 法、および k-Nearest Neighbor (k-NN) 法により Top-k 繰返しパターンを用いてデータの欠損値を補完する独自の TkRP 法を FuzHD+rRB 法と組み合わせた FuzHD++法を提案している。それらの評価を行うため、Intel Berkeley Research Lab (以下 Intel Lab) と Yokota Lab の 2 種類の IoT 環境の実計測データに、欠損パターン、故障パターン、攻撃パターンを挿入した実験データを用いている。評価の結果、最先端の 11 種類の欠損値補完アルゴリズムとの精度比較により、TkRP 法は最も高精度な既存手法より二乗平均平方根誤差 (RMSE) が 0.25 以上改善したことを示している。欠損値補完以外で FuzHD、FuzHD++と同様の機能を定量的に評価できる既存手法は存在していないが、FuzHD と FuzHD++を比較し、rRB と TkRP の効果により、Intel Lab のデータで検出精度が少なくとも 0.15 向上し、0.89 以上の精度を達成し、Yokota Lab のデータでは 0.92 以上の精度を達成していることを示している。

第 4 章「Spatial Correlation Based Abnormal Nodes Detection」では、分散配置された気温、湿度、光度等の複数種類の IoT センサノードからサーバにデータを集約し、時間サイズを変化させた sliding window と中央絶対偏差 (MAD) を組み合わせ、2 フェーズで多種 IoT センサノードのクラスタ内/クラスタ間の空間的な相関関係を複数基準で調べることで、更に精度高く異常ノード検出を行う独自の Multi-criteria Xcorr 法を提案している。第 3 章と同様の 2 種類の IoT 環境の実計測データを用いた評価では、Multi-criteria Xcorr 法により異常ノードの検出の精度が最低でも Intel Lab のデータで 0.90 まで、Yokota Lab のデータで 0.93 まで向上したことを示している。

第 5 章「Spatiotemporal Correlation Based Trust Scheme」では、分散した IoT センサノードでの FuzHD++法での異常ノード検出結果と、それらを集めたサーバでの Multi-criteria Xcorr 法での異常ノード検出結果とを組み合わせ、センサ状態の Markov モデルに従った遷移確率マトリクスから、各 IoT ノードの信頼度 (Trustworthiness) を判定する T-LHDM (Trust Based on Low and High Decision Making) 法を提案している。第 3 章、第 4 章と同様の 2 種類の IoT 環境の実計測データを用いた評価では、分散した検出結果による判定精度より、サーバでの検出結果を含めた判定精度が適合率、再現率とも向上しており、Intel Lab のデータの故障有無による既存 3 手法の相関精度との比較において、同一の判定基準の中で、0.95 という最もよい判定精度となったことを示している。

第 6 章「Multivariate Attributes Based Root Cause Analysis」では、IoT センサノードでの異常値

発生時に、ノードの故障、外部からの攻撃、あるいは火災等の異常値発生の根本原因を特定するために、第3章から第5章までの異常ノード検出結果に、IoTセンサの位置情報、季節、曜日、時間等のセマティックな情報を加えて判断を行うための独自のオントロジーの構成として A2S2 (Anomaly Analysis on Semantic Sensor) と、既存のセンサストリームに関するオントロジーや時間空間情報に関するオントロジーと組み合わせた知識グラフを作成して原因特定を行う手法を提案している。実際の IoT データを用いた原因特定精度の評価の結果、複数個所での故障のシナリオで 0.79 以上、故障データ挿入による攻撃のシナリオで 0.83 以上、火災シナリオで 0.94 以上正しく特定できたことを示している。

第7章「Conclusion」では本論文で提案する内容とその効果をまとめ、発展性について論じている。以上を要するに、本論文は今後ますます重要度が高まるディペンダブルな IoT センサネットワークを実現するための異常ノード検出と根本原因解析に関して、その根幹をなす独自の複数の手法を提案し、実応用を想定した評価でその効果を示したもので、その適用性、有用性、発展性が高く、その成果は学術上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士（学術）の学位論文として十分価値があるものと認める。

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。