

# ゲートウェイ冗長化による 無給電電力監視システムの耐障害性向上

天野真裕<sup>†</sup> 丸田哲郎<sup>††</sup> 水戸慎一郎<sup>‡</sup> 小林秀幸<sup>†</sup>

仙台高等専門学校<sup>†</sup> 泰興物産株式会社<sup>††</sup> 東京工業高等専門学校<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

スマートファクトリーは、製造装置や管理システムをネットワークに接続し、製造過程の効率化を目指す工場のことである。スマートファクトリーの実現には、多数のセンサとセンサからのデータの処理が可能な仕組みが必要である。そこで、水戸らは、無給電ワイヤレス電力センサ[1]を開発し、無給電電力監視システムを試行している。この電力センサは、エナジーハーベスト技術により、バッテリーレスで駆動する。さらに、製造装置の電力データを無線通信で簡単にサーバに保存することが可能である。

水戸らの無給電電力監視システムは、ゲートウェイが電力センサからのデータを集約し、クラウドへ送信している。一般的に無給電電力監視システムは、長期運用が望まれる。そのため、ゲートウェイに障害が発生し、動作不能となるとシステム全体が停止し、問題となる。

一方で、多数のセンサからのデータを処理する方法としてフォグコンピューティングが提唱されている。フォグコンピューティングは、センサからのデータを一次処理し、必要なデータのみをクラウドに送信することで、多数のセンサからのデータの処理を可能にする。

そこで、本研究では、フォグコンピューティングによりゲートウェイを冗長化し、耐障害性を向上させ、無給電電力監視システムの長期運用を実現することを目的とする。本論では、実機実験によるダウンタイムの評価を行い、冗長化させたシステムの有効性を検証する。

## 2. 原理

### 2.1. 無給電電力監視システム

無給電電力監視システムの概要を図1に示す。無給電ワイヤレス電力センサは、電力線の漏れ磁束のエネルギーから電力の計測とデータの送信を行う。工場内の各製造装置にこの電力センサを設置し、製造装置の管理を行う。製造装置の動作中、電力センサは定期的に電力データを

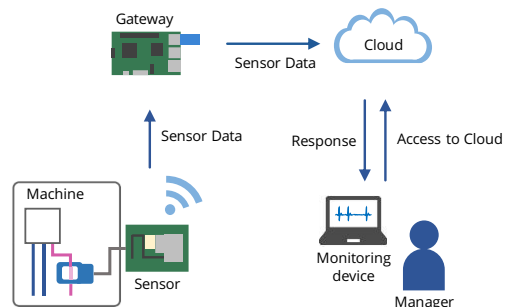


図1. 無給電電力監視システムの概要

ゲートウェイへ送信する。その後、ゲートウェイは各電力センサからの電力データをクラウドへ保存する。工場の管理者はモニタリング用のデバイスからクラウドへアクセスすることで製造装置の稼働状況を把握する。

### 2.2. 関連研究

冗長化の手法として、IP Anycast[2]やHA (High Availability) クラスタ[3]が提案されている。

IP Anycastは、サーバに共通の仮想IPアドレスが割り当てられる。クライアントがサーバへアクセスする場合は、最小のメトリックが設定されたサーバに接続される。サーバに障害が発生した際は、経路情報が更新され自動的に他のサーバへ接続される。この機能はルータのルーティング機能により実現されている。しかし、水戸らの無給電電力監視システムはルータのような役割をする機器を有していない。そのため、電力センサが正常動作しているゲートウェイを判断し、センサデータを送信する必要がある。

また、HA クラスタでは、定期的な生存確認の信号の送信によって障害の検知を行っている。本論においても、ゲートウェイ間で生存確認の信号を送信することで、障害発生を検知する。

### 3. 提案手法

電力センサが正常動作しているゲートウェイを判断し、センサデータを送信する必要があるという問題を解決するために、ブロードキャストによって送信するゲートウェイの選択を不要とする。さらに、ゲートウェイ間での生存確認の信号の送信することによって、障害発生を検知する。本論ではこれら2つの方法によるゲートウェイの冗長化を実現する。

Improve Fault Tolerance of Power Monitoring System by Gateway Redundancy

Masahiro Amano<sup>†</sup>, Tetsuro Maruta<sup>††</sup>, Shinichiro Mito<sup>‡</sup>, Hideyuki Kobayashi<sup>†</sup>

<sup>†</sup>National Institute of Technology, Sendai College,

<sup>††</sup>Tycho Co.&Ltd,

<sup>‡</sup>National Institute of Technology, Tokyo College

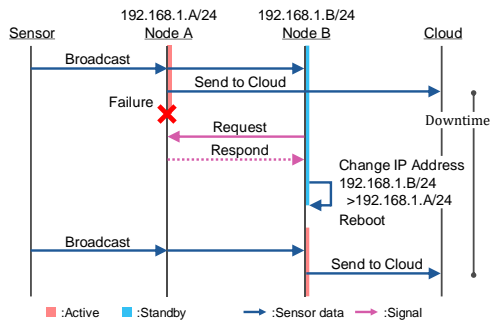


図2. 提案手法の処理手順

図2に提案手法の処理手順を示す。2台のゲートウェイをそれぞれノードAとノードBとする。ゲートウェイがセンサデータをクラウドへ送信する状態を稼働状態、生存確認の信号を他のゲートウェイへ送信する状態を待機状態とする。初期状態として、ノードAを稼働状態、ノードBを待機状態として起動させる。この時IPアドレスをノードAは192.168.1.A/24、ノードBは192.168.1.B/24のように同じネットワークに属するように設定する。その後、無給電電力監視システムの運用を開始する。まず、電力センサはブロードキャストにより各ノードへセンサデータを送信する。次に、稼働状態であるノードAは、センサデータをクラウドへ送信する。また、待機状態であるノードBは、定期的に稼働状態であるノードAへ生存確認の信号を送信し、応答を確認する。応答が返ってこない場合、障害が発生したと判断しフェイルオーバーを実行する。フェイルオーバー実行の際は、まず、待機状態であるノードBのIPアドレスを稼働状態であるノードAのIPアドレスの192.168.1.A/24に変更する。次に、ノードBは再起動し、稼働状態へ移行する。再起動後はノードAに代わってノードBが電力センサからのセンサデータをクラウドへ送信する。

#### 4. フェイルオーバー評価実験

提案手法の有効性を確認するために、システムを実装し、評価を行う。評価方法として、ダウンタイムを計測する。本手法を運用中、ノードAのシャットダウンにより疑似的に障害を発生させる。その後、フェイルオーバーが実行されることを確認する。ゲートウェイはRaspberry Pi model B+を2台使用する。生存確認の信号としてInternet Control Message Protocol (ICMP)を使用し、送信間隔を10秒から60秒の10秒間隔で変動させる。各ゲートウェイで生存確認の信号の送信時刻と応答結果、シャットダウンの時刻、再起動の時刻を記録する。これらから、ダウンタイムを算出する。以上の計測を生存確認の信

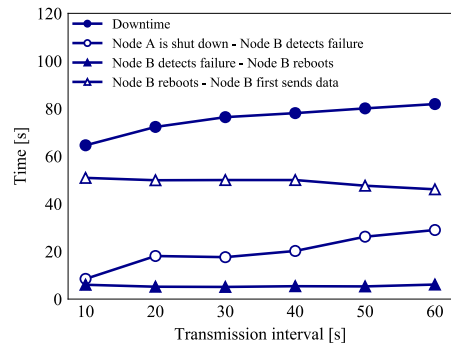


図3. 実験結果

号の送信間隔ごとに10回ずつ実施する。

図3に実験の結果を示す。横軸は生存確認の信号の送信間隔、縦軸は時間である。各グラフは、ダウンタイム、ノードAのシャットダウンからノードBの障害検知までの時間、ノードBの障害検知からノードBの再起動までの時間、ノードBの再起動からセンサデータがクラウドへ送信されるまでの時間の平均値を示している。障害発生時にフェイルオーバーが実行され続けたセンサデータの取得が可能であることを確認した。ダウンタイムは生存確認の信号の送信間隔が60秒時に最小59秒、最大104秒、平均81.9秒であった。したがって、センサデータの損失を考えた場合、電力センサが5秒に一度、送信していることから最大で21個のセンサデータが損失する可能性がある。また、生存確認の信号の送信間隔が短いほど、ダウンタイムも短かった。よって、生存確認の信号の送信間隔を短くすることでデータの損失を軽減することが可能になる。

#### 5. おわりに

本研究は、無給電電力監視システムの長期運用のため、ゲートウェイを冗長化し、耐障害性を向上させることを目的としている。フォグコンピューティングを基にした冗長化を行う手法を提案し、実験により、障害発生時にフェイルオーバーが実行され、継続したセンサデータの取得が可能であることを確認した。さらに、データの損失は最大21個程度であり、実用に足ることを確認した。今後は、実際の製造現場で検証を行い、有効性を確認する。

#### 参考文献

- [1] 泰興物産株式会社, 水戸慎一郎, 山田恭平, 計測装置用の電子回路・計測装置および計測方法, 特許第6278377号, 2018-2-14
- [2] 大隅淑弘 et al., “一般組織において地理的に分散配置した複製サーバのフェイルオーバー・フェイルバックを可能にする冗長化構成”, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.3, pp.965-975, Mar., 2016
- [3] C. B. Leangsuksun et al., “Achieving high availability and performance computing with an HA-OSCAR cluster”, Future Generation Computer Systems, Vol. 21, No.4, pp.597-606, Apr., 2005