

審査の結果の要旨

氏名 陳浩

本論文は、電力自由化の進展に伴い、電力量の計量ということが単なる電気料金の課金を行うための装置という役割から、インターネットを通じて電力取引や需要家への新しいサービスを提供する装置として期待されるようになってきたことに鑑み、スマートメーターの新たな可能性について研究したものである。

スマートメーターに対する期待はさまざまなものがあるが、特に需要家の需要予測が正確におこなわれれば電力需給バランスの維持に貢献するばかりではなく、電力市場取引の可能性を高めることになる。ローカルな情報を加味して電力需要を機械学習などのAIを使って予測することにより電力需要予測精度を向上させ、新電力会社の需給バランス調整に貢献することや、ローカルな電圧や有効無効電力を監視することにより電力システムの運用に資することが必要となる。

また需要家の需要がどのような機器構成によるものかを受電点での電力需要を測定するだけで検出することが可能となれば需要家に対する新しいサービスの提供に資するのみならず、サービスの無駄を排除しより効率的なサービスの提供につなげることが可能となる。需要家内の電気機器の使用状況を個別に測定するのではなく、受電点一カ所の総需要を測定するだけで、需要家の生活状況が判別でき、その情報に基づいて消費電力性を診断したり、デリバリーサービスなどに対するアドバイスを実施したりすることができる。

しかしこのような可能性を現実のものとするには、単に一定時間毎の積算電力量を遠隔で通知する現状の仕組みではこたえることができない。このような多様なサービスを実現するためには、膨大なデータを必要とするが、それらをインターネットでアップロードするには限界がある。

そこで本研究では、一定量のデータ取得と主要な演算をローカルに行うことをと、一部の結果をインターネット上のクラウドサーバーで処理するフォグコンピューティングスキームを提案し、そのうえで実現可能な様々なアプリケーションについて研究を実施している。

第1章ではこのような研究の背景、目的等について述べている。スマートメーターの種類やその目的に応じたデータ量やそのデータ取得間隔などを調査し実際の適用例を調査している。それらを需要家サイドのニーズと供給者サイドのニーズとさらに社会のニーズに

分類して詳細に検討している。それらのニーズに応えるためにどの程度のデータ取得頻度が必要でその結果集積すべきデータ量の大きさを把握している。その結果として需要予測と機器分離が最も高いニーズを持っていることを導きだし、それを実現するためには従来のスマートメーターシステムでは十分ではなく、スマートメーター自身に高い計算能力を持たせローカルに一定の処理をした上で、クラウドでさらなる加工処理を行うというフォグコンピューティングスキームを提案している。

第 2 章では、本コンピューティングスキームのアプリケーションを調査し、エネルギーマネジメントと情報マネジメントさらにセキュリティ対策が主たるアプリケーションとなっていることを導き出した。さらにいくつかの会社が実際に導入しているフォグコンピューティングスキームの実施例を調査し提案した機器分離や需要予測はまだ十分な適用例がないことを示している。そのため本研究では独自にフォグコンピューティングスキームを実現するスマートメーターを作成してこれらのアプリケーションを実装してみる事を検討した。この装置をホームマスターと命名し家庭内の IOT デバイスとして位置づけた。ホームマスターはインテルのエジソンという小型の CPU を用いて電力量の測定や短時間の電流波形のサンプリングを行い、需要予測や機器分離を可能とするプラットフォームと位置づけた。

第 3 章では、需要予測のさまざまな手法について調査し深層学習や機械学習特にグラディエントブースティングマシンを使って需要予測の精度を確認した。学習データとして 4,000 件の家庭の一年を超える電力需要データを元に複数の機械学習を行い従来の先行研究よりもかなり高い精度を得ることができた。需要家の数が増大すれば需要予測の精度は向上して行くものの、需要家の電力需要の傾向がお互い独立ではなく共分散の要素がある場合、誤差は一定の値以下には下げることができないということも明確にすることができた。このことから複数の需要家を集めて電力供給を行う新電力会社に対する示唆として、需要パターンがそれぞれ独立で大きく異なる需要家を集めることが需要予測上、重要であるということができる。

第 4 章では需要予測のボトムアップアプローチとトップダウンアプローチの違いについて検討を行っている。先行研究では様々な分野でこの両者を比較してどちらが優位であるか論議がなされてきた。いまだ決着は見られず、どちらも譲らない状態が続いている。電力における需要予測と言う視点ではこのような研究がなされてはいないため、実データをもとに検証をおこなった。その結果どちらのアプローチもほとんど同じと言う結果が得られた。しかしながらフォグコンピューティングにおいてはローカルが気温情報とか需要家の性向とか、在不在情報とか追加的情報が加味できるため、明らかにボトムアップの方が有利となる。本研究では基本データや在不在情報を取り込みその差がどの程度あるかを検証している。

第 5 章では、機器分離のうちデータ粒度のあらい、低分解能電力需要を基に研究を行った。この分野では隠れマルコフモデルが有名であり様々な研究がなされている。隠れマル

コフは様々な機器の使用状態を定義し、ある状態から別の状態に遷移する確率を学習して実データの機器分離を行うものである。

また日本では四季が明確であることから気温に影響されやすい電力機器が多く使用されているため、電力需要と気温データを組み合わせると需要が精度よく予測できる。一方で予測が大きく外れる場合需要家が不在であると判定することが可能であり在不在判定に効果的な手法となる。複数の需要家で検証を行ったところ単純な電力需要レベルによる判定を大きく上回る精度を得ることができた。このように分コンピューティングではローカルな情報を取り入れることが可能でかつ、その結果をローカルに止めることができるためプライバシーの問題などを避けてサービスを提供することが可能になる。

第 6 章では、機器分離のうち、従来取り扱われてこなかった細かい粒度の、高分解能電力需要を基に研究を行った。ここでは主に電流波形の特徴をベースとして、テレビやエアコンなど 6 種類の家電製品を同時に測定しそれらの起動停止データなどを深層学習した上で合成した電流から機器分離を行った。その結果 85%以上の精度で機器分離を行うことができた。本研究で実現した精度は、新たなサービスを提供するには十分な精度であると考えられる。この精度を得るためにはフォグコンピューティングだけでは不可能であり、一定の処理をローカルで行った上で、クラウドで計算すると言うような手法が必要となる。

第 7 章ではこれらを実現するために実際に制作したホームマスターの機能を紹介しそこで行った実験を表示した。機器構成は電力測定部とフォグコンピューティング部に分かれクラウドにはイーサネットケーブルを経由して接続される。データとしては掃除機やハンドドリル等を使って検証を行った。機器の分離が可能であることを示した。

第 8 章では結論をまとめた。以上述べてきたように新しいサービスを提供するためには従来のような電力を計測してその情報をクラウドにアップロードするだけでは不十分であり、本論文で述べたようにローカルに計算能力を持ったフォグコンピューティングを採用することが望ましい。

それにより電力需要予測や機器分離を行うことが可能となり電力取引や家電製品の監視さらには新しいサービスの提供といったことが現実となることを示唆した。そのために必要なアカデミックな貢献として深層学習や機械学習は重要な要素となることを示した。

以上のことから本論文は情報工学分野ならびに技術経営学分野さらには電力工学分野において有用性が高く、十分新規性を持つ、独創的な研究とすることができる。最先端の機械学習やデータ処理を行っており実際のハードウェアも制作して検証をしていることから基礎と応用の両面で有用な知見や手法を提供するものであると評価できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。