

令和元年6月13日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K15979

研究課題名(和文) 現実環境に適応できる電力割当制御システムの構築

研究課題名(英文) Development of the Adaptive Power Allocation Management System in Real Environments

研究代表者

森本 尚之 (Morimoto, Naoyuki)

三重大学・地域人材教育開発機構・講師

研究者番号：40739447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：オンデマンド型電力供給 (Energy-on-Demand: EoD) は需要家サイドの電力マネジメントのための新しいコンセプトであり、電力の流れを高度に制御することを目的とする。利用可能な電力が限られている状況で、電力割当マネージャが最適な電力割当を計算し各家電への電力供給量を制御する。本研究では、家電の消費電力の組合せ最適化に基づくEoDシステムの提案、実装および評価を行った。具体的には、現実環境への適応を考慮した問題の定式化を行い、多重選択ナップザック問題や割当制約付き複数ナップザック問題に対するアルゴリズムを用いて電力割当を最適化するシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は昨今の電力事情を背景とし、日常的な電力管理を組合せ最適化問題として捉え、生活品質を可能な限り落とさずに電力消費を最適化する点が特徴的であり、IoT等により節電目標を自動的にかつ確実に達成するための技術として社会的に意義がある。本研究では家庭における電力割当制御を主な対象としていたが、要素技術は家庭だけに限定されずオフィスや工場等にも応用可能と考えられる。

研究成果の概要(英文)：Energy-on-Demand (EoD) is a recently-proposed novel power network concept of demand-side power management, whose objective is to intelligently manage power flows among power generations. In an EoD system, if total amount of power consumption exceeds the limitation of power resource, a power allocation manager deployed in a home makes a decision on power allocation for appliances under the limitation of the amount of available power resource, and controls the amount of power supplied to the appliances. In this research work, we have proposed, implemented and evaluated the EoD system based on combinatorial optimization of appliance power consumptions; namely, we have considered the problem formulation that is adaptive to real-environments, and implemented power allocation management systems where power allocation is done utilizing algorithms for the Multiple Choice Knapsack Problem and the Multiple Knapsack Problem with Assignment Restrictions.

研究分野：エネルギー管理アルゴリズム

キーワード：電力割当制御システム

## 1. 研究開始当初の背景

昨今のエネルギー事情や電力不足時の電力消費抑制の必要性を背景として、効率的な電力マネジメントの重要性が議論されている。例えば「デマンド・レスポンス」の仕組みにおいては、電力供給者が消費者に対して節電を要請し、その節電量を達成した消費者に報酬(電気料金の割引等)を与えることで電力需要を緩和し、電力需要と供給とのバランスを保つ。

しかし、こんにちの家庭内での節電行為は主に手作業で行われているため、確実に節電目標を達成できる保証はなく、また、節電行為を継続することは必ずしも容易ではない。そこで、家庭内に構築された電力割当制御システムが、節電の目標値を達成しつつ、電力消費機器(家電など)に割当てる電力の量を決定し、電力供給を自動的に制御することが考えられる。たとえば、利用者の生活パターンや環境情報を用いて家電ごとの重要度を決定し、その重要度をパラメータとして利用して各家電への電力割当を最適化することで、利用者の生活の質(Quality-of-Life)をできるだけ低下させずに家庭内の総消費電力を一定値以下に保つ仕組みが提案されている(「オンデマンド型電力共有(Energy-on-Demand, EoD)」[松山, 2009]の考え方等)。

研究代表者は、このような電力割当制御をいわゆるナップザック問題(最適化問題の一種)として解釈し、アルゴリズムの理論的性能評価とシステムの実装評価の両面から研究を行ってきた。これまでに構築してきた電力割当制御システムにおいては、家電はパラメータとして「価値(利用者の生活の質への家電の貢献度)」と「消費電力」を持つ。家電がオンになっていれば価値を得られる一方で、オフであれば価値は得られない。利用可能な電力には上限値(節電目標)が定められている。制約条件はオンとなる家電の総消費電力を上限値以下に保つことであり、目的はオンとなる家電の集合によって得られる価値の総和を最大化することである。

これまでの研究ではアルゴリズムの性能の理論的な解析、電力割当制御機器の開発と評価、そして電力割当制御システムの実装を行い、実用的と考えられる時間で割当計算および制御が可能であることを示してきた。ただし、これまでの研究および構築した電力割当制御システムを発展させ、現実の環境に適用できる電力割当制御システムを構築するためには、機器へのオン・オフだけでなく段階的な電力割当制御への対応、機器の「価値」パラメータの決定手法の構築、そしてパラメータが動的に変動する状況への対応が課題となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでに構築した電力割当制御システムをプロトタイプとして、現実環境により適応できる電力割当制御システムを実現することである。本研究での研究課題は下記のとおりである。

機器への段階的な電力割当制御への対応：現実に使われている多くの機器は、たとえばエアコンの温度設定や掃除機の強弱設定のように、オン・オフだけではない段階的な動作モードとそれに応じた消費電力、および価値を持つ。段階的な動作モードを考慮する場合、オン・オフのみを考慮する場合に比べて機器の状態の組合せが複雑になる上、機器によっては消費電力の連続的な変化に対して価値が比例しないという非線形性があるため、例えば線形計画法のような手法で簡単に解くことは見込めない。本研究では、機器のモードの組合せの中で利用者の生活の質にとって適切なものを、実用的な所要時間で決定できるアルゴリズムを構築する。

機器の「価値」パラメータの決定手法の構築：機器の「価値」パラメータは、利用者の生活の質に対する機器の重要度を表すものであるが、このパラメータを体系的に決定する手法が未構築である。本研究では、生活者の行動パターンや電力消費データなどから、機器の「価値」パラメータを決定する手法を構築する。

パラメータが動的に変動する状況への対応：消費電力の上限値は、電力供給状況や節電目標の変更等により変動する。また、機器の「価値」パラメータは、利用者の行動や環境などに応じて動的に変わると考えられる。すなわち、同じ機器であっても、利用者の在・不在や、温度・照度等によって利用者にとっての重要度は異なると考えられる。加えて、環境の変動の種類(天候の変化など)や利用者の行動のなかには、事前に予測することが容易でないものも考えられる。本研究では、このようなパラメータの動的な変動に対応できる電力割当制御システムを構築する。

## 3. 研究の方法

研究対象として想定する状況と目的に合わせて組合せ最適化問題を定式化し、電力割当マネージャ上にそれぞれの組合せ最適化問題に対するアルゴリズムを実装することで、電力割当制御システムを実現した。モデル化とアルゴリズム設計にあたっては、「価値」や消費電力の上限値等のパラメータが変動する環境はいわゆるオンライン問題(将来の出来事がわからない状況で処理を決める必要がある問題)の枠組みを基に研究を進めた。

また、段階的な機器制御を考慮すると、オン・オフのみを考慮する場合に比べて機器の状態の組合せが複雑になってしまうが、そのなかで利用者にとって適切な組合せを実用的な所要時間で求めなければならない。そこで、近似アルゴリズム(実用的な解を効率よく求めることができるアルゴリズム)の考え方に基づきアルゴリズムを設計した。

電力供給制御デバイスについては、エネゲート社製の電力割当制御機器(スマートタップと電

カルータ)を活用し、特にスマートタップについては本体側の機能の拡張を適宜行った。また各種の電力割当アルゴリズムやシステムの性能評価のために、計算機シミュレーションによる予備実験と、複数の環境における実際の家電の消費電力データを用いた実験を行った。

#### 4. 研究成果

まず、家電が複数の動作モードを持つ場合の電力割当問題を組合せ最適化問題の一種である多重選択ナップザック問題 (The Multiple-Choice Knapsack Problem, MCKP) として解釈し、MCKP に対するアルゴリズムを用いて電力割当を行う EoD システムを実装して実験による評価を行った。MCKP はナップザック問題を拡張した問題である。アイテム(動作モード)はサイズ(消費電力)と価値(利用者にとっての利便性)を持つ。また、アイテムはクラス(家電)に分類され、各クラスからはただ1つのアイテムをナップザック(電源)に入れることができる。目的は、ナップザックに入れることのできたアイテムの価値の総和の最大化である。実際の家電の消費電力データを用いて、消費電力値の組合せ最適化に基づく EoD システムの提案と実装、および評価を行った。実装したシステムは、各家電の消費電力をスマートタップを用いて測定し、多重選択ナップザック問題に対するアルゴリズムを用いて最適割当を決定し、赤外線通信及び機械式リレーにより家電を制御することで電力割当を実現している。実験により、現実的な規模のシステムであれば実用的と思われる所要時間で割当の計算と制御が完了していることを確認した。

この成果は査読付き国際会議 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)、情報処理学会関西支部支部大会、情報処理学会組込みシステムシンポジウム 2015、情報処理学会コンシューマ・デバイス&システム研究会で研究発表を行うとともに、ジャーナル論文を情報処理学会論文誌(CDS トランザクション)に投稿して採択された。

なお、このプロトタイプシステムの実装における「価値」パラメータは、階層分析法の適用も試みつつ、実際の生活における家電の電力消費データから利用者の電力消費の傾向を推定して決定していた。しかしこの手法は、限定された規模の環境では利用可能であったが、研究の進展とともにより洗練された定量化手法、実装の効率化、本手法が適用できる範囲の拡大のためのシステム拡張が必要となった。パラメータ決定手法を多様な利用者に適用するには課題が残り、研究期間内の論文等としての成果発表には至らなかったため、引き続き成果の発表に努める。

次いで、例えばノート PC のようにバッテリーを持つ機器は不安定な太陽光発電からの電力供給を受けられる一方で、デスクトップ PC のように常に安定した電力を必要とする機器は安定した商用電源を割り当てる、といったように、機器や電源の特徴を考慮して適材適所に電力を使い分けを目的とした。この際、どの電力の機器への割り当て方が問題となり、これは組合せ最適化問題の一種である割当制約付き複数ナップザック問題(Multiple Knapsack Problem with Assignment Restrictions, MK-AR)として解釈できる。MK-AR は単純なナップザック問題を部分問題として含むため NP 困難であり、問題の規模が大きくなると計算量が大きく増大する。そのため現実環境において MK-AR に基づく電力割当を実現するには、割当計算が実用的な所要時間で終了するかが一つの課題となる。

そこでまず、MK-AR を解く電力割当制御マネージャ、電力消費の測定及び電力供給を制御するスマートタップ、そして2種類の電源(商用電力と太陽光発電、など)を2つの出力に切り替えて割当制御できる電力ルータを組み合わせて、電源側の出力が動的に変化しても MK-AR に基づく電力の割り当てを実現するプロトタイプシステムを開発した。本成果は国際会議 IEEE PerCom のデモ論文セッションに投稿し採択され、当該会議で展示発表を行った。

次いで、MK-AR に基づく電力割当制御をいわゆる IoT (Internet of Things) デバイスで実現した。具体的には、Raspberry Pi 2 Model B のような小型コンピュータ上で、一般的な整数計画問題ソルバである SCIP を用いて最適割当を計算させた場合でも、一般的な家庭として現実的な問題規模(家電数 60、電源数 3 程度の規模)であれば、実用的と思われる所要時間(1 秒以下)で割当計算が終了することを明らかにした。また、前年度のプロトタイプシステムを発展させて、Raspberry Pi 2 を割当制御マネージャとして、電力ルータと複数個のスマートタップとの組み合わせによる電力割当制御システムを実装し、電力割当制御マネージャが決定した電力割当が確かに実現できていることを実験により確認した。本研究成果は査読付き国際会議 The 8th Network of the Future (NoF) Conference にて発表を行った。

また、MK-AR に対する既存の近似アルゴリズム並びに改良版のアルゴリズムの実験的な評価を行い、各アルゴリズムの性能を比較した。本成果は情報処理学会関西支部支部大会にて発表した。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

- Energy-on-Demand System Based on Combinatorial Optimization of Appliance Power Consumptions, Naoyuki Morimoto, IPSJ Journal of Information Processing, Vol.25, pp.268-276, 2017 年 2 月 [査読有り]

〔学会発表〕(計 8 件)

1. Power Allocation Optimization as the Multiple Knapsack Problem with Assignment Restrictions, Naoyuki Morimoto, Proceedings of the 8th Network of the Future (NoF) Conference, pp.40-45, 2017年11月[査読有り]
2. Demo Abstract: Toward Optimal Allocation of Multiple Power Resources in Energy-on-Demand Systems, Naoyuki Morimoto, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) Workshops, pp.57-59, 2017年3月[査読有り]
3. 家電の消費電力値の組合せ最適化に基づくオンデマンド型電力供給制御システム, 森本尚之, 情報処理学会研究報告 コンシューマ・デバイス&システム(CDS), 2016-CDS-16, 2016年6月
4. Energy-on-Demand System Based on Combinatorial Optimization of Appliance Operation Modes, Naoyuki Morimoto, Proceedings of the 13th Annual IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), pp.152-157, 2016年1月[査読有り]
5. Energy-on-Demand システムでの組合せ最適化アルゴリズムによる家電への電力割当制御, 森本尚之, 組込みシステムシンポジウム 2015 ポスター展示, 2015年10月
6. 家電の動作モードの組合せ最適化に基づく電力割当制御システム, 森本尚之, 平成 27 年度情報処理学会関西支部支部大会 E-101, 2015年9月
7. 整数計画を用いたシュタイナー木詰め込み問題の解法とその実験的評価, 大月仁志, 森本尚之, 宮崎修一, 岡部寿男, 平成 27 年度情報処理学会関西支部支部大会 B-02, 2015年9月
8. 割当制約つき複数ナップサック問題に対する近似アルゴリズムの実験的評価, 藤井海斗, 森本尚之, 宮崎修一, 岡部寿男, 平成 27 年度情報処理学会関西支部支部大会 B-03, 2015年9月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<https://researchmap.jp/7000009597/>  
6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者  
研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。