

情報家電による省エネルギー化の研究

吉野 治香, 平田 飛仙, 新 誠一
情報理工学系研究科システム情報学専攻

概要

家庭内の複数の電化製品や住宅設備などを相互接続して制御するホームネットワークという構想がある。本発表ではネットワークで家電をつなぎ情報家電として取り扱う状況を仮定し、家庭内での電力の効率的な省エネルギー化として、利用者の快適性を損なわないような電力のスケジューリングを提案する。

1 はじめに

京都議定書を受けて、省エネルギー化に関しては様々な取り組みがなされている。

今回は家庭内に焦点を当て、家庭内の省エネルギー化をすることを考える。家電単体での省エネルギー化、高性能化というのは多くなされているが、家電をネットワーク化し家庭内を一つのシステムとして省エネルギー化を行う試みが行われている。

実際に家電をそのように情報家電として扱う場合には次の二つの制御方法が考えられる。一つは、サーバーにおいて各機器を集中的に管理する中央集中型の制御であり、もう一つは各機器が自律的に協調し合って制御を行う自律分散型の制御である。実際の家電はメーカーや機種が異なったり、ネットワークの一部が壊れても他への影響を最小限にしたりすることを考えると後者の自律分散型制御が望ましい。

次に情報家電の特性を活かした省エネルギー化の手法を提案する。各機器は相互接続しているので情報のやり取りが可能である。そこで、電力のスケジューリングによる省エネルギー化が行える。更に総電力量を抑えるだけでなく、電力使用による人間の快適性(本文では満足度として扱っている)をなるべく保つような電力配分が必要である。

これに対して我々はまずオークション方式によるスケジューリングを提案した。更に

LP(Linear Programming)による精密な電力のスケジューリング方式を提案した。しかし、LPによる解法では複雑な制約条件や複数の評価関数などが取り扱えないという問題が存在する。そこで LP を包含し凸計画問題全般を取り扱えるLMI(Linear Matrix Inequalities)を導入しスケジューリング問題を定式化した。これについて、詳しく説明する。

2 対象とするシステムの特性

本研究で電力のスケジューリングの対象としたシステムの特性に触れる。最終的に目標とするのは、自律分散型システムであるが、ここでは表1に示すスケジューリングは集中的に行う擬似自律分散型システムを考える。

表1 システムの特性の比較

	自律分散型	擬似自律分散型
情報	分散	分散
サーバー	なし	なし
計算する所	分散	集中

また、中央集中型の制御と異なり情報を一括管理していないので、情報は分散しておりスケジューリングする際に不完全な情報しか得られない。本研究ではこの不完全な情報を人間が予測して設定するという形で補うことによる劣化の度合いを明らかにする。

まず、完全情報下(中央集中型)で電力のスケジューリングの有用性を検証し、その後不完全情報下(擬似自律分散型)での電力のスケジューリングの効果を探る。

3 完全情報下の電力のスケジューリング

本研究で目指す省エネルギー化は、人間の快適性をできる限り保持したまま総電力量を減らすことである。この快適性を表す指標として満足度

を導入する。

ここでは管理者が各情報家電の稼働パターンを全て把握しているとし、管理者による電力のスケジュールリングが可能とする。

(1) 満足度

満足度とは、ある時間にある家電を使ったときに人間がどのくらい快適だと感じるかを数字で示すものである。例えば、照明を昼の十二時に使う場合と夜の九時に使う場合では、明らかに夜の九時に使えたほうが人間が感じる満足度は大きい。これらのことから省エネルギー化を意識しない過去の使用実績に倣うことが満足度が高いと仮定し、図1のように満足度を設定した。

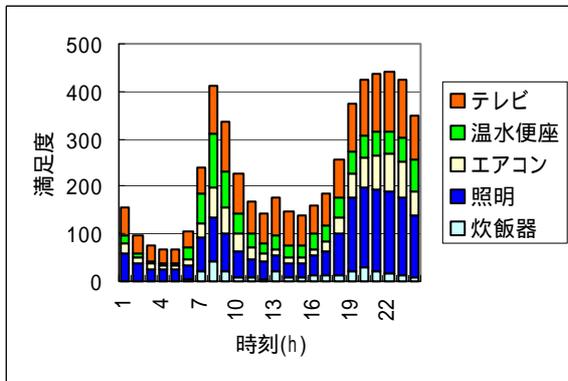


図1 各家電の満足度

(2) 評価関数

満足度をできるだけ損なわない省エネルギー化を評価する指標として評価関数を導入する。当然、評価関数には「満足度」と「総電力量」の二つのパラメータが必要である。図1で示した時間帯tごとの各情報家電iの使用実績を満足度 $a_i(t)$ とする。これは使用回数 w 、使用パターン z とすると以下のように表せる。

$$a_i(t) \propto wz$$

次に実際に用いる評価関数の形について考慮する。「満足度」を大きくしようとするれば総電力量は増えるし、「総電力量」を減らすためには満足度を抑えることになる。そこで、満足度に比例し総電力量に反比例する以下のような関数を考え、この関数の値を最大にすることで満足度と総電力量のトレードオフを図る。

$$J \equiv \frac{\sum (a_i(t) \times x_i(t))}{\sum x_i(t)}$$

ただし、 $x_i(t)$ は対応する家電の稼働時電力量である。

[注1]もちろん、このJ以外の評価関数を設定することは可能である。例えば、

$$J' \equiv \sum (a_i(t) \times x_i(t)) - \sum x_i(t)$$

も評価関数として考えられる。満足度を重視して省エネルギー化を図りたい場合は第1項の重みを大きく、電力量の削減を重視して省エネルギー化を図りたい場合は第2項の重みを大きくすれば良い。

(3) 数値実験方法

以下、数値実験を紹介する。炊飯器(1000Wh)、照明(200Wh)、エアコン(2000Wh)、温水便座(30Wh)、テレビ(150Wh)の5品目について実際の家電の使用頻度から時間帯ごと満足度を設定した。

一日24時間の間、60分毎に電力のスケジュールリングを行った。また、それぞれの家電における最低限の使用回数も制約条件として考慮した。

以上のスケジュールリング問題は以下のようにLPで定式化できる。

家電iの使用電力量を b_i とすると、

maximize

$$\frac{\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^5 a_i(t) b_i c_i(t)}{\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^5 b_i c_i(t)}$$

subject to

$$\sum_{t=1}^{24} c_i(t) \geq Q_i, \quad (\text{使用回数下限})$$

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^5 b_i c_i(t) \leq S, \quad (\text{総電力量制限})$$

$$\sum_{i=1}^5 b_i c_i(p) \leq R. \quad (\text{時間帯毎電力量制限})$$

$$c_i(t) = \begin{cases} 1(\text{on}) \\ 0(\text{off}) \end{cases}$$

と定式化できる。ただし、 $c_i(t)$ は解くべき変数であり、使用時には1が未使用時には0が与え

られるものとする。各家電の最低使用回数と、総電力量の制限が制約条件となっている。更に時間帯ごとの電力量制限も制約に入れている。

この定義では J の分母が変数となっているため LMI とならない。そこで、LP で定式化された問題を LMI で記述することを試みる。以下のように J の分母である総電力量をまず定数として最大化し、次に総電力量で割るという二段階の操作を行って評価する。

maximize

$$J'' = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^5 a_i(t) b_i c_i(t)$$

subject to

$$\sum_{t=1}^{24} c_i(t) \geq Q_i, \quad (\text{使用回数下限})$$

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^5 b_i c_i(t) \leq S, \quad (\text{総電力量制限})$$

$$\sum_{i=1}^5 b_i c_i(p) \leq R. \quad (\text{時間帯毎電力量制限})$$

$$0 \leq c_i(t) \leq 1.$$

ただし、LMI となるように $c_i(t)$ を 0 から 1 の連続量に緩和している。

結局、実際に評価する値は、

$$\bar{J} = \frac{J''}{S}$$

となる。

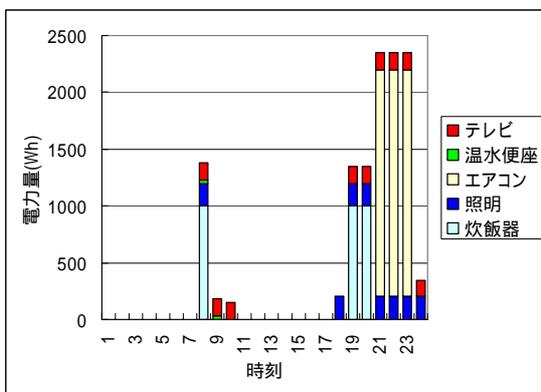


図2 各家電の稼働スケジュール結果

(3) 数値実験結果

この問題を総電力量 12000Wh において解くと \bar{J} が最大となる点がただ一つ存在した。その点でのスケジューリング結果を図2に示す。本数値実験で用いた評価関数で省エネルギー化を評価した場合、総電力量を抑えつつかつ満足度が保たれる最適点が求められることが分かった。

次にこの手法を不完全情報下のスケジューリング問題に拡張する。

4 不完全情報下の電力のスケジューリング

前節では電力のスケジューリングの有用性を示した。ここでは中央集中型システム、すなわち情報が完全に把握できる状況を仮定していた。しかし、実際に情報家電が稼働する環境は自律分散型であり、情報が分散されている。このためスケジューリングにおいて完全な情報は期待できない。すなわち、スケジューリングをする際に用いる全ての家電の満足度の情報が分かるわけではない。

そこで我々は不完全情報下での適切なスケジューリング方法とその条件を考える。満足度の情報が既知な家電(自分)と未知な家電(周囲)が存在する。そこで、この未知な情報を補うため、人間が満足度のモデルを設定することにより満足度が未知な家電も電力のスケジューリングの対象とした。

(1) モデル

未知な家電のモデルの設定として、得られる情報に対応した次の三種類を考えた。

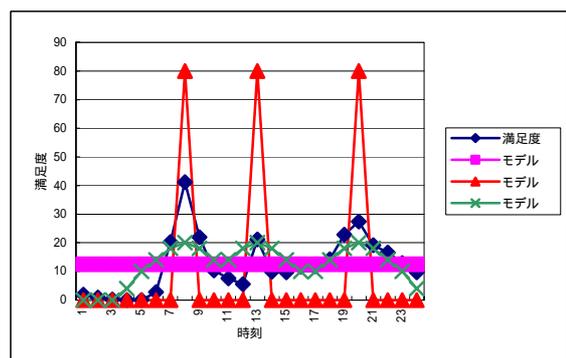


図3 炊飯器の設定モデル

モデル

未知な家電の使用電力量は分かるが傾向は分からない場合

モデル

未知な家電の使用電力量と大体のピークがわかる場合

モデル

未知な家電の使用電力量と大体の満足度の傾向がわかる場合と分類される．たとえば，炊飯器の場合には図3のようになる．

(2) 数値実験方法

前節と同様に，炊飯器(1000Wh)，照明(200Wh)，エアコン(2000Wh)，温水便座(30Wh)，テレビ(150Wh)の5品目について電力のスケジューリングを行う．

今回はテレビの満足度の情報は既知であり，他の四つの家電の満足度は未知とする．この四つの家電の満足度を三種類のモデルにより設定した．

この場合，評価関数 J は以下のように変形できる．

maximize

$$J = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i \in P} a_i(t) b_i c_i(t) + \sum_{t=1}^{24} \sum_{i \notin P} \tilde{a}_i(t) b_i c_i(t)$$

モデルに基づいて設定した家電の満足度を $\tilde{a}_i(t)$ で表した．他の制約条件などは前節と同じものとする．

(3) 数値実験結果

前章の完全情報下での結果とモデルを用いた場合の結果を比較する．

完全情報下で最適となる 12000Wh における各モデルごとの最適値は表2のようになる。

表2 比較結果

	総電力量(Wh)	評価関数値
完全情報下	12000	76.6
モデル	12000	40.5
モデル	12000	65.7
モデル	12000	70.1

これよりモデルの設定が ， ， と精度が上がれば完全情報下での分配に近くなり，スケジューリングによる効率的な省エネルギー化が図れ

ることが示せた．

5 まとめ

動作状況がわからない家電の満足度を人間がモデルとして設定することにより，自律分散型システムのような不完全情報下でも，スケジューリングによる省エネルギー化が達成できることを示した．

今後の課題としては，このスケジューリング問題も分散的に各家電が解き，協調しながら制御するという自律分散型を視野に入れた研究を行っていくつもりである．

参考文献

- [1] 吉野，多治川，田原，新：情報家電による省エネルギー化の研究，計測自動制御学会システムインテグレーション部門会
- [2] 岩崎 徹也：LMI と制御，昭晃堂(1997)
- [3] 平田 飛仙，新 誠一：LMI によるアルゴリズム記述の試み，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会講演論文集，pp. 117-120(2002)
- [4] ECCJ・NEDO 共同開発：待機時消費電力削減技術開発報告書(2000)