

電力ネットワークにおける需要供給マッチングのための分散型リアルタイムプライシング

三浦 政司 (鳥取大学)

1 背景

エネルギーに関する諸問題への関心が高まる中、風力発電や太陽光発電など、自然エネルギーの利用が盛んに議論され、積極的な導入が進められている。自然エネルギー利用の大きな問題点の一つは、供給量の不安定性である。自然エネルギーによる供給量は天候等の条件によって大きく変化し、その予測が難しい。一方で、電力系統内の周波数を保つために、系統内での供給量と需要量(消費量)が一致している必要がある。そこで、将来の自然エネルギー利用の割合が大きい電力網においては、供給量予測が難しいという条件下でいかにして供給量と需要量をマッチングさせるかが課題となる。この課題に対する解決策として、実時間における価格調整により供給量と需要量のバランスをとるリアルタイムプライシング(RTP)が有力視されており、発表者らはRTPを具現化するための設計原理の確立に取り組んでいる。

2 提案

本研究では一般的なRTP研究において前提とされている集中的な処理を必要とせず、各需要供給家がローカルな情報のみを用いて適切な価格を導出できるような分散型のRTPシステムを提案している。分散的なRTPを実現することができれば、スケラビリティやリスク分散などの観点で大きなメリットがある。さらに本研究では、地域に分割された電力ネットワークを想定し、地域間で電力を融通しながら、地域ごとに需要供給バランスをとることができるようなRTPを提案する。図1はこのような電力ネットワークの一例であり、 p_{ri} は各地域内の需要供給家エージェント、 d_i は地域間の送電家エージェントを表している。このような電力ネットワークは送電ロスの抑制や事故対応時の系統切断の容易性などの面で優れており、電力の自由化が進んだ将来の社会に対応している。

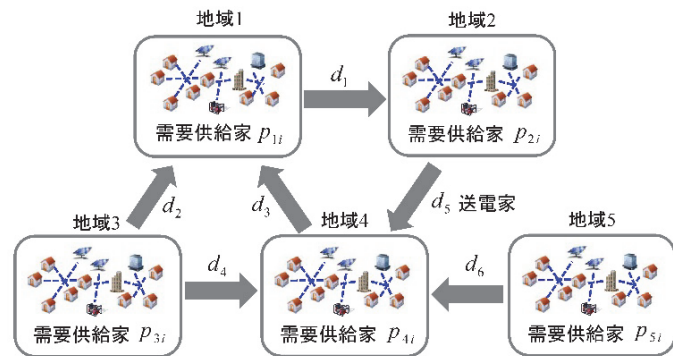


図1. 地域分割型電力ネットワーク

3 モデル

本研究ではRTPの問題を制約付き最適化問題として扱い、分散協調制御の理論を応用した交渉型価格調整則によるRTPを提案している。今回は、本研究が提案する定式化と価格調整則を地域分割型電力ネットワークに適用し、artisoを用いたMASによってその振る舞いを調べた。

3.1 ネットワーク

本研究のシミュレーションモデルは、地域間を結ぶ送電ネットワークと各地域の需要供給家同士を結ぶ情報ネットワークから構成される。送電ネットワークは図1の灰色の矢印に相当し、送電家によって送電される電気が流れる。

情報ネットワークは図1の青点線のように需要供給家同士を結んでおり、情報ネットワーク上で隣接する需要供給家が相互に情報を交換することで適切な電力価格を推定する。

3.2 最適化問題

本シミュレーションでは、RTPの問題を式(1)で示されるような最適化問題としてモデル化する。

$$P: \begin{cases} \text{maximize} & F(x) \\ \text{subject to} & G(x) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで決定変数 x は需要供給家と送電家(エージェント)の需要供給量(または送電量)を並べたベクトルであり、 $F(x)$ は全てのエージェントの効用の和である。効用関数は所望の需要供給量(送電量)を最大値とする上に凸な関数とする。また、 $G(x)$ は各地域の総供給量と総需要量の差を表す状態量を成分とするベクトルであり、 $G(x) = 0$ は全ての地域において供給量と需要量が一致しているという制約を表す。

3.3 エージェント行動

各エージェントは、式(1)の問題をラグランジュの未定乗数法に基づいて解くアルゴリズムに則って、需要供給量(送電量)を変化させる。このときのラグランジュ乗数が、電力価格に相当する。価格(ラグランジュ乗数)を適切な調整則で決定すれば、制約を満たしつつ目的関数を最大化することができる。本研究が提案する分散協調制御理論を応用した交渉型価格調整アルゴリズムによって、各エージェントは情報ネットワーク上におけるローカルな情報のみを用いて適切な価格を推定する。

4 シミュレーション結果

地域数 15, 各地域のプレイヤー数 30 の条件でシミュレーションを行なったところ、制御ゲインを適当に調整すれば図2のように $G(x)$ の各成分を0に収束させることができることが分かった。この結果により、本研究で提案する分散型RTPのアルゴリズムが有効であることが確かめられた。

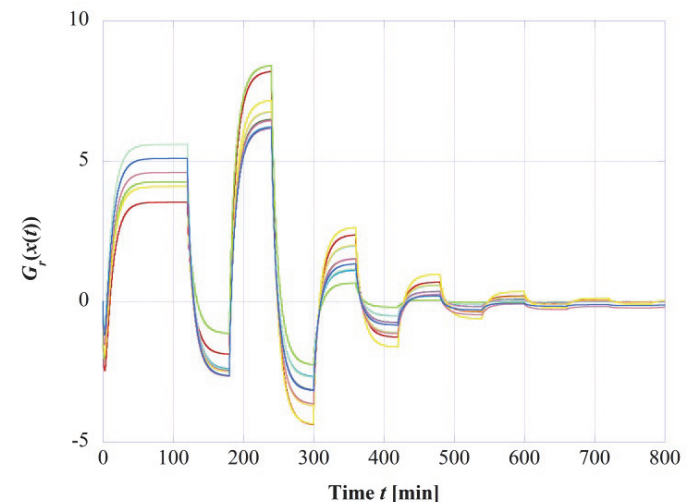


図2. シミュレーション結果($G(x)$ の成分の時間変化)