

ハイブリッド型制御アルゴリズムを用いた VG Hub ネットワークの最適化

大條海渡[†] 川喜田佑介[‡] 田谷昭仁[♭] 戸辺義人[♯] 横川慎二[♯] 市川晴久[♯]

青山学院大学大学院理工学研究科理工学専攻[†]

神奈川工科大学情報学部情報工学科[‡]

東京大学生産技術研究所[♭]

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科[♯]

電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター[♯]

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルの達成に向けて、再生可能エネルギーを活用する分散型の電力網が提案されている。この分散型の電力網として、我々はバーチャルグリッドシステムの研究を行っている¹⁾。バーチャルグリッドシステムでは、直流電力を合成・分配できるバーチャルグリッドハブ(VG Hub)をノードとしてネットワークを構築する。ネットワークにはノート PC 等の負荷が接続されるため、それらの負荷へ電力を供給する制御が求められる。そこで本稿では、負荷接続時に部分ネットワークを作成することで、短時間でネットワークの最適化が可能なハイブリッド型制御アルゴリズムを提案する。

2. 関連研究

バーチャルグリッドシステムと同様に、分散型の電力網として、マイクログリッドが提案されている。Harmon らは、複数のマイクログリッド内における電力供給の最適化を行うクラウドベースのフレームワークを提案している²⁾。しかし、バーチャルグリッドシステムではユーザが適宜グリッドを構築可能であるためネットワークは動的であるとみなせるのに対し、マイクログリッドのネットワークは静的である。そのため、バーチャルグリッドシステムにおいて最適化を行う際、毎回全体最適化を行ってしまうと、ネットワーク内のノード数が増えるにあたって計算時間が増大することが課題となる。

3. 問題の定義と解法

本章では問題の定義を行い、提案するアルゴリズムについて述べる。

Optimizing VG Hub Networks Using a Hybrid Type Control Algorithm

[†] [♯] Kaito Oeda, Yoshito Tobe / Aoyama Gakuin University

[‡] Yuusuke Kawakita / Kanagawa Institute of Technology

[♭] Akihito Taya / The University of Tokyo

[♯] Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa / The University of Electro-Communications

3.1. 問題の定義

ネットワーク内に、ある1つの負荷が追加されたとする。ここで高家らの研究より、VG Hub で発生する内部損失は出力する電力値が高くなるとともに大きくなるとわかっているため³⁾、ノード間で供給される電力値の総和を最小化することが望ましいと考えられる。 p_{ij} をノード v_i から v_j に供給される電力値、 a_{ij} を隣接行列の*i*行*j*列目の要素とすると、目的関数は以下で定義される。

$$\min \sum_{(a_{ij}=1, i \neq j)} p_{ij}, \quad (1)$$

3.2. ハイブリッド型制御アルゴリズム

(1)の目的関数は、コストが最小となる経路と流量を求める、最小費用流問題と考えられる。しかし、VG Hub ネットワーク内には、複数の供給源ノードと負荷ノードが存在する可能性がある。そこで、図1のように変形することで、最小費用流問題として解くことができる。

以上の手順を踏むことで、ネットワークの全体最適化ができる。しかし、負荷の接続が発生する度に全体最適化を行うと、ネットワーク内のノード数 N が増えた際に、計算時間が増大する。そこで、図2のように、部分最適化と、全体最適化を組み合わせたハイブリッド型制御アルゴリズムを提案する。ハイブリッド型制御アルゴリズムでは、ネットワーク内に負荷が接続された

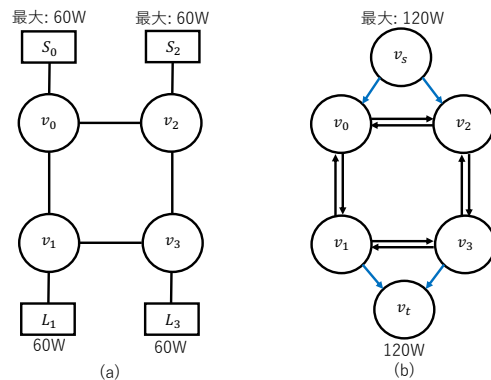


図1 (a)変形前のグラフ, (b)変形後のグラフ

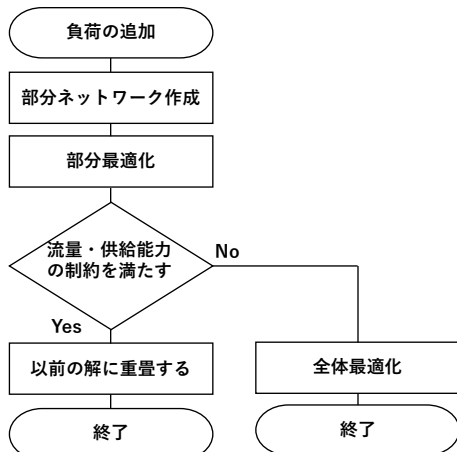


図2 ハイブリッド型制御アルゴリズム

際に、 $N' \ll N$ (N' は部分ネットワーク内のノード数)となる部分ネットワークを作成する。部分ネットワーク作成後は、作成した部分ネットワークを対象として最小費用流問題を解くことで部分最適化を行う。部分ネットワークとしては、負荷が接続されたノードから、負荷が接続されたノードに最も近い供給源ノードまでの経路が考えられる。これによって、負荷が接続された際に、最小費用流問題を解くまでもなく、解を導くことが可能である。

4. 計算時間の評価

本章では計算時間計測の手順と計測結果、評価について述べる。

4.1. 計算時間計測の手順

全体最適化を行うアルゴリズムとハイブリッド型制御アルゴリズムそれぞれの計算時間を1000回計測した。ここで計算時間は、負荷が接続されてから、解が求まるまでの時間を指す。実験で用いたネットワークを図3に示す。ここで新しい負荷は L_{199} であり、以前までネットワークに接続されていた負荷に対しては電力の供給経

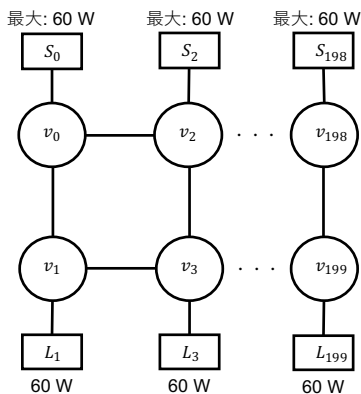


図3 実験に用いたネットワーク

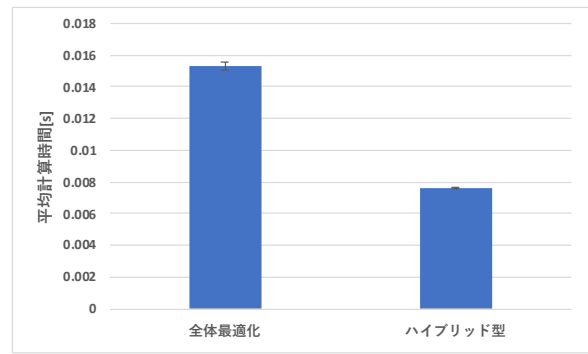


図4 計測結果

路はすでに定まっているものとする。また、各ノードは各供給源ノードのインデックスと該当ノードまでのホップ数を列に持つテーブルを保持する。なお、このテーブルは負荷が接続される前のネットワーク初期化時に準備されるものとする。負荷接続時に、負荷が接続されたノードが保持するテーブルを参照することで最も近い供給源ノードを見つけ、そのノードまでの経路を部分ネットワークとした。

4.2. 計測結果と評価

図4に計測結果を示す。グラフのエラーバーは標準偏差を表す。全体最適化を行うアルゴリズムとハイブリッド型制御アルゴリズムの平均の計算時間は、それぞれ約0.015秒、約0.0076秒であった。結果より今回のように部分ネットワーク内で解を導けるネットワークにおいて、ハイブリッド型制御アルゴリズムはより短時間で解を求められるとわかる。

5. むすび

本稿では、VG Hub ネットワーク内に負荷が接続された際に、部分ネットワークを作成することで、短時間で最適な電力供給の経路と電力値を計算できるハイブリッド型制御アルゴリズムを提案した。また、毎回全体最適化を行うアルゴリズムとの計算時間の比較を行った。今後は部分ネットワークの作成方法についてさらに検討を行いたい。

参考文献

- 1) Ichikawa, H., Yokogawa, S., Kawakita, Y., et al.: An Approach to Renewable-Energy Dominant Grids via Distributed Electrical Energy Platform for IoT Systems, *IEEE Int. Conf. on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids*, (2019).
- 2) Harmon, E., Ozgur, U., Cintuglu, M. H., et al.: The Internet of Microgrids: A Cloud-Based Framework for Wide Area Networked Microgrids, *IEEE Trans. Ind. Inf.*, (2018).
- 3) 高家和暉, 田村光汰, 戸辺義人ほか: USB-PD ハブによる電力配信の効率化に向けた制御検討, 令和3年電気学会全国大会, (2021).