

電力システム分野の技術的問題に対するコンピュータ科学の応用について

土 屋 達 弘^{†1}

Cyber-Physical Systems (CPS) の一分野として、電力システムが挙げられる。本稿では、コンピュータ科学分野の研究の電力システム分野への展開の可能性に関する議論の契機とすることを目的に、電力システムの分野でこれまで実施した研究例について説明する。

On the use of computer science to solve technical problems in the field of electric power systems

TATSUHIRO TSUCHIYA^{†1}

Electric power systems are an example of Cyber-Physical Systems (CPS). Aiming to facilitate discussion on the possibility of using computer science to solve the problems in power systems, this paper describes some examples of our research studies and lessons learned from them.

1. はじめに

Cyber-Physical Systems (CPS) の一分野として、電力システムが挙げられる。本稿では、JST-CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」の支援で実施した二つの研究例を取り上げ、コンピュータ科学分野の研究の電力システム分野への展開の可能性と問題に関する議論の契機としたい。

2. 配電システム SCADA における情報収集最適化

今後の太陽光発電の大量導入を想定した場合、配電システムでは電力品質維持のためより詳細な監視が求められている。しかし、現状の配電システム SCADA の通信速度は極めて遅いため、監視する点（センサ）をうまく選択することで、必要なデータ収集周期を満たしながら、監視性能を高めるという問題を考える。

実用的には、電圧の適正範囲からの逸脱に関する監視能力を特に最適化したいため、そのような逸脱が最初に起こりやすい点である SVR (step voltage regulator)、柱上変圧器のタップ比の変化点等、フィーダ末端を優先して監視するという方針が考えられる。

単純な定式化の例として、監視の候補となる点に重み付けをして 0-1 線形計画問題で問題を表現した結果を以下に示す。

- センサの総数を n とし、それぞれを $1, \dots, n$ で表す。
- センサ i からのデータ収集に必要な通信時間を w_i で表す。
- センサ i の重要度を v_i で表す。
- 必要なデータ収集周期を W とする。
- x_i を 0, 1 の 2 値をとる変数とし、センサ i が選択されたことを $x_i = 1$ 、選択されないことを $x_i = 0$ で表す。

監視点選択問題

$$\text{最大化 } x_1 v_1 + x_2 v_2 + \dots + x_n v_n$$

$$\text{制約条件 } x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n \leq W$$

しかし、この定式化では監視点同士が及ぼす影響が無視されており、適切とはいえない。たとえば、実際には、相互に監視点が離れていたほうが監視性能は高まるといえる。しかし、そのような相互関係を反映した目的関数の設計は容易ではない。

実際に我々が行った研究では、センサが付属する配電機器の種類に応じてセンサに優先度付けを行う簡単なヒューリスティックルールを設けて、優先度順に収集時間が守られる範囲でセンサを選択する手法を考案した²⁾。しかし、目的関数の設計が容易でないのと同

^{†1} 大阪大学
Osaka University

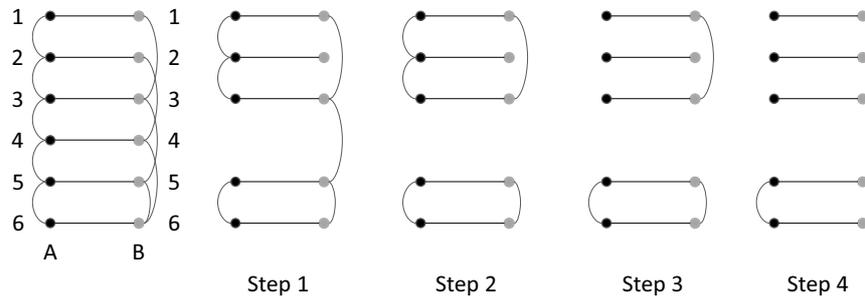


図 1 Buldyrev らによる障害伝播モデル¹⁾

様に、本手法の評価も容易でなく今後の課題である。

3. 電力ネットワークと SCADA ネットワークにおける障害伝播モデルの解析

相互依存する電力ネットワークと SCADA ネットワークの相互作用により単純な不具合が大規模障害として顕在化することがある。このような大規模障害を説明するモデルとして、Buldyrev らによるモデルが著名である¹⁾ (図 1)。このモデルは決定的な振る舞いを仮定しており、初期故障が定まれば、システムの動作を容易にシミュレートすることができる。しかし、たとえば、協調して複数箇所への攻撃が同時に実行されるといった場合を想定したとき、 n を同時に攻撃され得る場所 (すなわち初期故障の場所) の総数として、どの n 箇所を選択した場合に影響が最も大きくなるかといった問いに対しては、 n の大きさに対して考慮すべき初期状態の数が指数的に増加するので、単純にシミュレーションを繰り返す方法では現実的な時間で答えることが困難である。

そこで、ブール式の充足可能性判定を用いて、すべての初期状態からの動作を同時に調べる手法を提案した³⁾。この方法では、近年高速化が著しい SAT アルゴリズムを用いて無数の動作を一度に考慮することで、高速な解析を実現する。技術的には、有界モデル検査を応用しているといえる。

簡単に説明すると、提案手法では、システムの可能な動作と調べたい性質を、一つのブール式で記号的に表現する。このブール式は、初期状態からの各段階において、システムの各構成要素の状態 (正常か故障か) を表すブール変数から成り立っており、モデルに従ってそれらの値が変化するように構成される。このブール式の充足可能性を判定することで性質が成り立つか否か、たとえば、 n 箇所の攻撃によって、ネットワークが完全に分離されることがあるか、といった問題を SAT 問題に還元し解くことができる。

本研究の実施で得られた教訓としては、CPS 関連の問題でも離散的なモデルがあれば、容易にコンピュータ科学分野の技術を応用できる場合があるということが挙げられる。

4. おわりに

コンピュータ科学分野では、たとえば、線形ハイブリッドシステムなど、離散系の枠組みの自然な拡張でアナログ値を扱う技術がある。しかし、CPS の分野でそのような「きれいな」モデルが有用な応用は限定的ではないかという危惧がある。どのように CPS での問題に立ち向かっていけばよいのかは、重要な検討課題である。

謝辞 本研究の一部は、JST-CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」の支援により実施した。

参考文献

- 1) Buldyrev, S. V., Parshani, R., Gerald Paul, H., Stanley, E. and Havlin, S.: Catastrophic cascade of failures in interdependent networks, *Nature*, Vol.464, No.7291, pp.1025–1028 (2010).
- 2) Terada, H., Onishi, T. and Tsuchiya, T.: A monitoring point selection approach for power distribution systems, *2013 8th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, pp.190–195 (2013).
- 3) 土屋達弘: 相互依存するネットワーク上の連鎖的障害に対する充足可能性判定を用いた評価方法の提案, 信学技報 DC2014-21, 電子情報通信学会, 東京 (2014).