



圧縮計算でめざす高信頼インフラ

～決定グラフを用いたネットワーク解析問題の高速な解法～

Towards reliable infrastructures with compressed computation
– Efficient algorithms for network analysis problems with decision diagrams –



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 協創情報研究部

中村 健吾

Kengo Nakamura

●プロフィール

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 協創情報研究部 准特別研究員。
2016年東京大学工学部計数工学科卒業。2018年東京大学大学院情報理工学系研究科修士課程修了。同年、NTT入社。2024年京都大学大学院情報学研究科博士課程修了。博士(情報学)。離散構造処理アルゴリズム・データ構造やそれをを用いたネットワーク解析の研究に従事。人工知能学会会員。

現代社会は通信網や道路網などの多くのネットワークインフラによって支えられています。その性能解析は、高性能なネットワークの設計や、脆弱な箇所の発見のために重要です。しかし、そのような性能解析は、多くの場合ネットワークを構成する道路や光ファイバなどの「組合せ」を考える必要があります。すると、計算時間が膨大となり、現実的な時間内では十分な解析が行えなくなってしまう。本講演では、膨大な数の組合せを圧縮して表現する決定グラフという技術を用いたアルゴリズムを考案し、困難な解析問題を現実的な時間で解いた事例を紹介します。

現代社会は通信網や道路網、電力網などの多くのネットワークインフラによって支えられています。より高性能かつ高信頼なインフラを実現するためには、ネットワークの良さをさまざまな観点で評価・最適化するための技術が必要になります。そのようなネットワーク解析の例として、道路網においてどの経路が混雑しやすいかをシミュレーションなどで計算する混雑解析、通信網や電力網が部品の故障や災害に対してどのくらい耐えられるかを解析する信頼性解析、インフラのど

の部品を交換・補強すべきか発見する脆弱性解析などが挙げられます。

しかし、ネットワーク解析問題の多くは簡単には解くことができません。なぜなら、ネットワークインフラは部品の組合せによってサービスを提供しており、かつその組合せは膨大な数になるからです。例えば、通信網において二人のユーザは複数のケーブルからなる経路を介して通信しますし、電力網において電力は変電所から複数のスイッチを経由して供給されます。たった50個の部品(例えばケーブルやスイッチなど)からなるネットワークでも、部品の組合せの数は1000兆パターン以上に及ぶなど、部品の組合せの数は、部品自体の数と比べて膨大な数になってしまいます。このような膨大な数の組合せを、実際に数えたり調べたりする必要がある問題は数多くあります。例えばネットワーク信頼性解析は、故障により通信できなくなる組合せをすべて数える問題ですが(図1a)、そのような問題は現実的な時間では解けないことがよくあります。

このような膨大な数の組合せに対処するために、組合せを扱うアルゴリズムの基礎研究が古くから行われてきました。そ

の中でも、組合せを集めたもの(組合せ集合)を圧縮して小さく表現する決定グラフとよばれる表現方法は、30年以上にわたり研究され続けています。決定グラフは、組合せ集合に関するさまざまな計算を圧縮して表現したままで行うこと(圧縮計算)ができます。この特徴から、決定グラフは多くのネットワーク解析問題を現実的な時間で解く手段として用いられてきました(図1b)。

本講演では、決定グラフを用いたアルゴリズムを新たに開発することにより、膨大な数の組合せを圧縮して表現し、従来は計算が困難であった問題を現実的な時間で解けるようになった事例を紹介します。一つは、混雑を抑えるようネットワークインフラを自動的に設計する技術です。通信網や道路網では、多くの利用者が同じ経路を利用すると混雑が発生し、体感品質が低下します。一方、インフラの利用者は混雑を解消するために互いに協力することは通常ありません。このような状況下で、混雑が起こりづらくユーザの体感品質が上がるような通信帯域や道幅などの設計を効率よく計算するのが組合せ混雑ゲーム均衡最適化技術[1]です。この問題の難しい点は、利用者が選べる経路の数が膨大なうえ、それぞれを調べる必要があることでした。本技術では選べる経路を決定グラフとして圧縮し、それをを用いた非線形最適化をともなう圧縮計算を新たに考案したことで問題を解決しました(図2)。

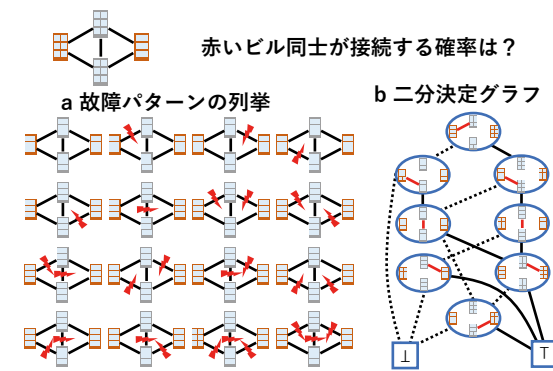


図1
a：確率計算のためには部品の故障パターンをすべて列挙する必要がある。
b：故障パターンをまとめて小さく表現する二分決定グラフ。

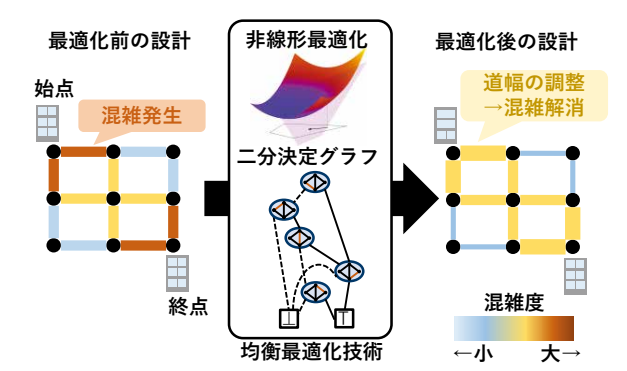


図2：左の道路網設計では混雑が発生しユーザの体感品質が下がっている。均衡最適化技術により予算の範囲内で各道路の道幅を調整することで、右の道路網設計では混雑を緩和しユーザの体感品質が上がっている。

●参考文献

- [1] S. Sakaue, K. Nakamura, “Differentiable equilibrium computation with decision diagrams for Stackelberg models of combinatorial congestion games,” in Proc. The 35th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2021.
- [2] K. Nakamura, T. Inoue, M. Nishino, N. Yasuda, S. Minato, “Exact and efficient network reliability evaluation per outage scale,” in Proc. The 2023 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2023.