

論文の内容の要旨

論文題目	Robust Optimization Approach to Network Congestion and Power Efficient Network Problems (ネットワーク混雑問題および電力節約ネットワーク問題に対するロバスト最適化アプローチ)
学位申請者	Bimal Chandra Das

本研究は、通信ネットワークの問題に対してロバスト最適化の手法を適用した新しいモデルを打ち立てることをテーマとしている。2つの題材にたいして結果を得た。

1つ目の題材は、基幹ネットワークが混雑しないようにルーティングを定める問題である。基本的かつ重要な問題であり、現在までに、通信需要が正確にわかっているモデル (pipe モデル) や末端ノードにおける入出力量が制限されているモデル (hose モデル) など、さまざまなモデルが提案されている。

この問題において通信需要が正確にはわかっていない場合を想定し、真の通信需要が楕円体に含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用した。このモデルは ellipsoid モデルと呼ばれる。このような楕円体を考えることは、実際の需要が予測値の周りでペアごとに独立に変化するような場合に適切な選択となる。この問題を2次錐計画問題として定式化した。

次に、真の通信需要が楕円体と hose 制約 (多面体) の交わりに含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用し、これもやはり2次錐計画問題に定式化されることを示した。このモデルを hose-ellipsoid (HE) モデルと呼ぶ。HEモデルの定式化にあたっては、近年開発された錐計画問題に対する双対理論が用いられている。さらに、このモデルと従来研究である hose-rectangular (HR) モデルと呼ばれるモデルとの間にある関係を明らかにした。

いくつかの例に対して pipe モデル、hose モデル、Ellipsoid モデル、HEモデル、HRモデルに関して数値実験を行い、以下の知見を得た。

まず提案したモデル、Ellipsoid および HEモデルは汎用ソルバーを用いて合理的な時間内で求解可能であることが観察された。2次錐計画問題であるにも関わらず、線形計画問題であるそのほかのモデルに比べて大きく計算時間がかかるようなことはなかった。最適値に関しては、理論が予測する範囲内に収まり、きちんと最適値が計算できていることが確認された。

Ellipsoid モデルに関しては、従来モデルとの関係については理論的には不明であるが、数値計算の結果としては、hose モデルよりもかなり小さな値となり、HEモデルあるいはHRモデルと近いことが観察された。さらに、楕円体の体積を定めるパラメタに対する最適値の反応に関しては、HRモデルが示す反応とEllipsoid および HEモデルが示す反応はやや異なる傾向があることが観察された。これは、提案モデルを用いる一つの動機になりうる。

2つ目の題材は、エネルギーの節約のために不要なネットワークのリンクの電源を落とす問題である。電力需要の抑制が叫ばれる近年、このような問題は基本的で重要な問題として認識されている。

通信需要がわかっているモデルは従来から提案されていたが、実際には真の通信需要が正確にはわからない状況は容易に起こりうるし、また、電源を落とした後でもネットワーク全体が通信需要のゆらぎに対して頑健であることが求められる。従来研究としては、pipe モデルとhose モデルを用いた研究、および Ouedraogo and Oki による green HLT モデルの提案がある。

この問題に対し、真の通信需要が楕円体とある種の多面体の交わりに含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用した。この問題においてはリンクの電源を落とすか否かを示す0-1変数を導入するため、混合2次錐計画問題に定式化された。混合2次錐計画問題はNP困難であることが知られている。しかし数値実験を行なったところ、汎用最適化ソルバーで合理的な時間内に求解できることが観察された。

理論的には、green HLT モデルとの間に成り立つ関係を証明した。これらの関係が成り立つことを、実際に数値実験でも観察した。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 Bimal Chandra Das

審査委員主査 村松 正和

委員 大木 英司

委員 山本 有作

委員 岡本 吉央

委員 KITSUWAN NATTAPONG

委員

委員

本研究は、通信ネットワークの問題に対してロバスト最適化の手法を適用した新しいモデルを打ち立てることをテーマとしている。2つの題材にたいして結果を得ている。

1つ目の題材は、基幹ネットワークが混雑しないようにルーティングを定める問題である。基本的かつ重要な問題であり、現在までに、通信需要が正確にわかっているモデル (pipe モデル) や末端ノードにおける入出力量が制限されているモデル (hose モデル) など、さまざまなモデルが提案されている。

この問題において通信需要が正確にはわかっていない場合を想定し、真の通信需要が楕円体に含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用した。このモデルは ellipsoid モデルと呼ばれる。このような楕円体を考えることは、実際の需要が予測値の周りでペアごとに独立に変化するような場合に適切な選択となる。この問題を2次錐計画問題として定式化した。

次に、真の通信需要が楕円体と hose 制約 (多面体) の交わりに含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用し、これもやはり2次錐計画問題に定式化されることを示した。このモデルを hose-ellipsoid (HE) モデルと呼ぶ。HEモデルの定式化にあたっては、近年開発された錐計画問題に対する双対理論が用いられている。さらに、このモデルと従来研究である hose-rectangular (HR) モデルと呼ばれるモデルとの間にある関係を明らかにした。

いくつかの例に対して pipe モデル、hose モデル、Ellipsoid モデル、HEモデル、HRモデルに関して数値実験を行い、以下の知見を得た。

まず提案したモデル、Ellipsoid および HEモデルは汎用ソルバーを用いて合理的な時間内で求解可能であることが観察された。2次錐計画問題であるにも関わらず、線形計画問題であるそのほかのモデルに比べて大きく計算時間がかかるようなことはなかった。最適値に関しては、理論が予測する範囲内に収まり、きちんと最適値が計算できていることが確認された。

Ellipsoid モデルに関しては、従来モデルとの関係については理論的には不明であるが、数値計算の結果としては、hose モデルよりもかなり小さな値となり、HEモデルあるいはHRモデルと近いことが観察された。さらに、楕円体の体積を定めるパラメタに対する最適値の反応に関しては、HRモデルが示す反応とEllipsoid および HEモデルが示す反応はやや異なる傾向があることが観察された。これは、提案モデルを用いる一つの動機になりうる。

2つ目の題材は、エネルギーの節約のために不要なネットワークのリンクの電源を落とす問題である。電力需要の抑制が叫ばれる近年、このような問題は基本的で重要な問題として認識されている。

通信需要がわかっているモデルは従来から提案されていたが、実際には真の通信需要が正確にはわからない状況は容易に起こりうるし、また、電源を落とした後でもネットワーク全体が通信需要のゆらぎに対して頑健であることが求められる。従来研究としては、pipe モデルとhose モデルを用いた研究、および Ouedraogo and Oki による green HLT モデルの提案がある。

この問題に対し、真の通信需要が楕円体とある種の多面体の交わりに含まれているという仮定のもとでロバスト最適化の手法を適用した。この問題においてはリンクの電源を落とすか否かを示す0-1変数を導入するため、混合2次錐計画問題に定式化された。混合2次錐計画問題はNP困難であることが知られている。しかし数値実験を行なったところ、汎用最適化ソルバーで合理的な時間内に求解できることが観察された。理論的には、green HLT モデルとの間に成り立つ関係を証明した。これらの関係が成り立つことを、実際に数値実験でも観察した。

本論文は、2つの通信ネットワークの基本的な問題に対してロバスト最適化の手法を適用し、新しいモデルを打ち立てている。そのモデルが実際に合理的な時間内に求解可能であることを数値実験により示している。これらは通信ネットワークの分野への確固たる貢献と認められる。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文としての価値を有するものと認める。