

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710163

研究課題名(和文) 離散的制約を考慮した道路ネットワーク設計問題に対する最適化アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Construction of optimization algorithms for road-network design problems considering discrete constraints

研究代表者

宮代 隆平 (Miyashiro, Ryuhei)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50376860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：道路ネットワークには渋滞がつきものだが、改善策として道路の敷設や拡幅工事がある。しかし、どこにどの程度の工事を行えばよいかは、数学的にも難しい問題として知られている。本研究では、この種のネットワーク設計において、従来は不十分であった「離散的制約」に注目し、最適なネットワークの設計を行うアルゴリズムの開発を行った。研究成果として、「渋滞を減少させる道路の拡張場所を求める最適化アルゴリズム」「渋滞を減少させる鉄道ダイヤの最適化アルゴリズム」の開発に成功した。また副産物として「単調性が無いコスト関数を持つネットワーク設計問題」に対して、現実的な時間で最適解を求めることのできる数理的定式化を構築した。

研究成果の概要(英文)：Traffic jams on a road network can be reduced by bypass construction and/or expanding width of roads. However, problems to obtain optimal construction/expansion are NP-hard, and indeed computationally difficult. In this research, we tackled a network design problem with "discrete constraints," which were insufficiently considered in previous researches, and constructed optimization algorithms to solve the problem. We have developed "mathematical formulation finding optimal network construction/expansion to reduce traffic jams" and "mathematical formulation finding optimal railway timetable to reduce traffic jams." In addition, as a by-product of this research, we also obtained a mathematical formulation to solve a network design problem with a nonconvex objective function.

研究分野：数理最適化

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：OR 数理工学 交通工学 ネットワーク 最適化

1. 研究開始当初の背景

新規道路の敷設・既存道路の拡幅により、渋滞を軽減させようという試みは多くの自治体で行われている。しかし限られた予算の下で、渋滞を最小化する道路の改善箇所・車線増加数を決定する「道路ネットワーク設計問題」は難しい最適化問題として知られており、理論的な興味からだけでなく社会的な状況からも解決が望まれていた。

渋滞は、車の台数がある程度以上になると急激に長くなるという非線形性があるため、道路ネットワーク設計問題はこれまで非線形連続最適化の観点から研究が進められてきた。これらのアルゴリズムにより得られる出力はあくまでも連続量であり、「ここにバイパスを0.8車線だけ敷設、この車線を0.3車線ぶん拡幅」というような答えになる。本来、バイパスや拡幅の車線数は0, 1, 2, ...という離散的な値しか意味を持たないため、このような答えは四捨五入など、便宜的な操作で近似的な解を求めていた。

ところがごく最近の研究により、上記のような近似的手法では真の最適解からのずれがかなり大きいことがわかってきた。このような不完全な結果しか得られない原因は、既に述べたように離散的制約の扱い方によるものであるが、これに対処するような最適化のアルゴリズム・モデリング手法は得られていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、非線形最適化の手法ではなく、離散最適化の観点から道路ネットワーク設計問題を新たに解析し、離散的制約を考慮した真に最適な解を求める最適化アルゴリズムを開発する。これにより、効率の良い交通網設計への、数理工学的観点からの第一歩目とする。

道路ネットワーク設計問題は実用的にも重要性の高い問題であるが、特に間違っていたとしてもすぐにやり直せる類のものではないという特徴がある。このような問題にこそ、真の最適解を求めるアルゴリズムの開発が強く求められているはずであり、そこが本研究の目的とするところである。

3. 研究の方法

(1) 実データの収集

各種の道路ネットワーク設計問題について、実データの収集を行う。この種の最適化問題では、小規模なデータでは一瞬で計算が終了してしまい、実データによる計算を用いて初めて意味のあるアルゴリズムの性能比較が可能になるため、実データによる検証は非常に重要である。

(2) 問題の数理的構造の解明

データをもとに、最適化問題を従来の非線形連続最適化手法で解き、問題点の把握を行う。その上で、離散最適化の観点から道路ネットワーク設計問題の数理的な構造を解析する。

(3) 高速に良い解を発見する手法の開発

一般に最適化問題では、アルゴリズムの初期段階ではいかに良い解を発見できるかが高速化への鍵となる。これまでに様々な手法が提案されているが、そのいずれも道路ネットワーク設計問題に特化したものではないため、この部分で道路ネットワーク設計問題の特徴を生かした手法の提案を目標とし、アルゴリズムの高速性や安定性を確保する。

(4) 高速に最適性を証明する方法の開発

最適化問題に対しては、最終的に得られた解が「最も良い」ということを証明できて計算が終了するが、これには長い計算時間がかかることが多い。しかし、解の分布などの特徴を把握することにより、この計算時間を短縮できることが知られている。また、非線形性を仮定した上でも探索範囲の削減につなげられるようなアルゴリズムも現在構想の段階にあり、この部分にも研究を注力する予定である。

(5) アルゴリズムの適用および検証

開発したアルゴリズムを実データに適用し、従来手法と比較し有用性を確認する。また、個々のデータに適用するのみではなく、道路ネットワーク設計問題全般に対して統一的・定性的な知見を導出することを目標とする。

4. 研究成果

研究の成果として、目標通り、離散的な制約を考慮したネットワーク設計問題を解くための最適化アルゴリズムの開発に成功し、またそれを現実のネットワーク設計問題に適用して効率の良さを確認することができた。特に、従来は難しいとされていた、交差点における対向直進車と順方向右折車の干渉に関して、非線形な現象を線形近似することにより、計算の精度を保ったままモデリングすることに成功し、その結果として現実サイズのネットワークにおいても妥当性のあるシミュレーション結果を得ることができた。

また、いわゆる静的な道路ネットワーク設計問題のみを考えるのではなく、時空間ネットワーク構造にアイデアを拡張することにより、道路ネットワークに付随する鉄道路線について、ネットワークの渋滞を最小にするための鉄道ダイヤの最適化を行うアルゴリズムの開発に成功した。

さらに、研究の副産物として、非線形性の強い、目的関数に単調性を持たないコスト関数が設定されているようなネットワーク設計問題に対しても、十分に実用性のある速度で動作する定式化モデリングを開発することができた。従来の数理計画法では、このような問題は非線形計画となり分枝限定法との相性が非常に悪かったが、本研究で開発した手法では離散性を生かした線形近似を行うことによりこの問題点を解決することが可能になった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

1. K. Okada, R. Miyashiro: Optimization of assignment of rapid train stops: example of the JR Nambu line. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 6 (2012), 622-632. (査読有)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamdsm/6/5/6_622/_pdf
2. 田中健一, 宮代隆平, 宮本裕一郎: 流れの安全性に着目したネットワーク設計 安全下校問題への応用. 第24回 RAMP シンポジウム論文集 (2012), 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 1-13. (査読無)
3. 宮代隆平: 整数計画ソルバー入門. オペレーションズ・リサーチ, 57 (2012), 183-189. (査読無)

[学会発表](計17件)

1. R. Miyashiro, Y. Miyamoto, K. Tanaka, A. Yoshioka, M. Kuwahara, K. Shimazaki. Simulation of a park-and-ride system and train scheduling using mathematical optimization. The 20th ITS World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2013), Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, October 14-18, 2013.
2. Y. Miyamoto, R. Miyashiro, K. Tanaka, R. Onishi, A. Yoshioka. Road infrastructure planning for CO2 reduction using mathematical optimization. The 20th ITS World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS 2013), Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan, October 14-18, 2013.

3. K. Tanaka, R. Miyashiro, Y. Miyamoto. A bi-objective optimization model for designing safe walking routes for school children. INFORMS 2013 (Institute for Operations Research and the Management Sciences), Minneapolis Convention Center, Minneapolis, USA, October 6-9, 2013.
4. 宮代隆平. 整数計画法チュートリアル: 整数計画ソルバーの発展. 平成25年度文部科学省 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ: 最適化ワークショップ 整数計画法の発展と応用, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, 2013年5月22日-23日.
5. K. Tanaka, R. Miyashiro, Y. Miyamoto. Safe walking route design problem. The 20th EURO Working Group on Locational Analysis Meeting (EWGLA XX), TOBB University of Economics and Technology, Ankara, Turkey, April 17-19, 2013.
6. K. Tanaka, R. Miyashiro, Y. Miyamoto. A multi-objective minimum cost flow problem to design safe walking-routes for school children. The 25th European Conference on Operational Research (EURO 2012), Radisson Blu Hotel Lietuva, Vilnius, Lithuania, July 8-11, 2012.
7. 岡田佳也, 宮代隆平. 優等列車停車駅の決定: JR 南武線の分析. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012年春季研究発表会, 防衛大学校, 2012年3月27-28日.
8. K. Tanaka, R. Miyashiro, Y. Miyamoto. A risk-minimization network flow problem for designing safe walking-routes for school children. INFORMS 2011 (Institute for Operations Research and the Management Sciences), Charlotte Convention Center, Charlotte, North Carolina, USA, November 13-16, 2011.
9. 田中健一, 宮代隆平, 宮本裕一郎. 一人で歩く距離に着目した Min-Sum 型と Min-Max 型のネットワークフローモデルと安全下校問題への応用. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011年秋季研究発表会, 甲南大学, 2011年9月15-16日.

10. K. Okada, R. Miyashiro. Optimal Assignment of Rapid Train Stops--Example of the JR Nambu Line--. International Symposium on Scheduling 2011 (ISS2011), Osaka University Nakanoshima Center, Osaka, Japan, July 2-4, 2011.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

宮代 隆平 (MIYASHIRO, Ryuhei)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：5 0 3 7 6 8 6 0