

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	ミクロ・マクロ交通流モデルに基づく最適信号機制御アルゴリズムの提案と検証
Title(English)	
著者(和文)	檀隼人
Author(English)	Hayato Dan
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11925号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:畑中 健志,三平 満司,井村 順一,山北 昌毅,石崎 孝幸,藤田 政之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11925号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	檀 隼人		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	畑中 健志	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	藤田 政之	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文では、車両の走行速度が高く、停止車両台数が少ない効率的な交通流の達成に向けた最適信号機制御アルゴリズムの提案と検証を行う。各章の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では本研究の背景と動機を示す。まず、交通渋滞解消の社会的意義と、その方策である信号機制御アルゴリズムについて論じる。また、サイバーフィジカルシステムで用いられる連続時間最適化アルゴリズムについて述べる。さらに、信号機制御アルゴリズムの検証に必要となる交通流シミュレーション技術について紹介する。最後に、本論文の目的が効率的な交通流の達成に向けた最適信号機制御アルゴリズムの提案と検証であることを述べる。

第2章「数学的準備」では個々の車両の運動モデルを定式化する際に必要となる混合論理的システムモデルと、信号機制御アルゴリズムの導出に必要な連続時間最適化アルゴリズムに関する既存の結果を導入する。命題論理と時相論理を紹介したのち、混合論理的システムモデルを定式化する。また、このモデルを用いたあるクラスの最適化問題が混合整数線形計画問題に帰着できることを示す。つぎに、連続時間最適化手法である主双対勾配アルゴリズム・一般化主双対勾配アルゴリズム・部分的な主双対勾配アルゴリズムについて紹介する。

第3章「ミクロ交通流モデルに基づく信号機制御アルゴリズム」では、個々の車両の運動を考慮した信号機制御アルゴリズムの提案と検証を行う。まず、個々の車両の運動モデルを示し、交差点周囲を走行する複数車両についてこれを統合することでミクロ交通流モデルを導出する。また、導出したミクロ交通流モデルと、信号機が現実的な現示の切り替えを行うという制約の下で、交差点周囲を走行する車両の走行速度を最大化する最適化問題を定式化し、その最適化問題の解に基づいて信号現示を切り替える信号機制御アルゴリズムを提案する。つぎに、現実的な車両運動の再現に優れた UC-win/Road (株式会社フォーラムエイト社)、信号処理に優れた MATLAB/Simulink (MathWorks 社)、および最適化計算に優れた Gurobi Optimizer (Gurobi Optimization 社) を組み合わせ、現実的な環境において信号機制御アルゴリズムの検証を可能とするシミュレータの構築を行う。さらに、構築したシミュレーション環境にて、予め切り替えタイミングが決められた固定アルゴリズムと提案した信号機制御アルゴリズムで比較検証を行い、交通流の効率化の指標である車両走行速度が向上することを確認する。一方で、停止車両台数が増加することにも言及し、アルゴリズム内に交差点間の協調が考慮されていないことをその原因として示す。また、最適化問題に関するパラメータが提案したアルゴリズムの処理時間に及ぼす影響を検証し、アルゴリズムの実時間での実行可能性について考察する。

第4章「マクロ交通流モデルに基づく信号機制御アルゴリズム」では、前章の検証における考察をもとに、交差点間の協調則を含む信号機制御アルゴリズムを新たに提案する。まず、車両を群として捉えてモデル化を行うマクロ交通流モデルに基づき、車両密度の分散を目的とした最適化問題を定式化する。つぎに、定式化した最適化問題を求解する部分的な主双対勾配アルゴリズムを考え、その中に含まれる一部のサブシステムが交通流モデルと一致することを明らかにする。この知見に基づいて、該当部を現実の交通システムに置き換え、残りの部分を信号機制御アルゴリズムとすることで、この両者からなるサイバーフィジカルシステムを提案する。また、このシステムが分散協調制御器として実装できることを示すと同時に、システム的最適解への収束性や入出力安定性について理論的に証明する。最後に、前章で構築したシミュレータを用いて固定アルゴリズムと提案した信号機制御アルゴリズムで比較検証を行い、提案アルゴリズムに内在する協調則によって車両の分散が実現できることを確認する。

第5章「階層構造を持つ信号機制御アルゴリズム」では、第3章で指摘した課題の解決に向けて、第3章と第4章で提案したアルゴリズムを統合した階層型の信号機制御アルゴリズムを提案する。まず、第4章のアルゴリズムが与える制御入力を、第3章のアルゴリズムが解く最適化問題の制約条件内に組み込むことで両アルゴリズムを統合する。これにより、第3章のアルゴリズムに欠けていた協調則を間接的に含み、指摘された問題を解決した信号機制御アルゴリズムの提案が実現される。つぎに、第3章で構築したシミュレータを用い、固定アルゴリズム、第3章のアルゴリズム、第4章のアルゴリズム、および本章で提案するアルゴリズムの4つで比較検証を行う。検証結果を考察し、交通量の偏りや変動が大きい道路ネットワークにおいて、本章のアルゴリズムが他のアルゴリズムより、車両走行速度が高く、停止車両台数が少ない効率的な交通流を達成することを示す。

第6章「結論」では、本論文の研究成果についてまとめ、今後の研究の発展方向を議論する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	檀 隼人		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	畑中 健志	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	藤田 政之	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this thesis, we develop a novel signal control algorithm to enhance traffic efficiency and demonstrate the algorithm through a high-fidelity traffic simulator.

In the first part, we propose a signal control algorithm based on a microscopic traffic model, wherein each vehicle motion is modeled by a kinematic model with driving mode switches. Then, we formulate an optimization problem to maximize the vehicle velocities under a variety of constraints including motion models. The signal control algorithm is then designed following the manner of model predictive control. To verify the present algorithm, we moreover build a novel traffic simulator by combining a variety of software including a high-fidelity traffic simulator. Finally, we demonstrate the algorithm on the developed simulator and reveal a shortcoming of the present algorithm.

In the second part, we address control of a macroscopic traffic model that focuses only on the vehicle flow without dealing with the individual vehicle motion. We then formulate an optimization problem to distribute the vehicle density under a variety of constraints including a steady state equation of the macroscopic model. A dynamic solution to the problem, called partial primal-dual gradient algorithm, is then presented and it is revealed that a subsystem in the algorithm is identical to the traffic model. Based on this insight, we present a novel distributed cyber-physical system architecture, wherein the subsystem is replaced by the traffic system in the real physical world. Asymptotic optimality and stability of the system is then rigorously proved. Furthermore, we demonstrate the algorithm on the aforementioned simulator.

In the third part, we develop a hierarchical signal control algorithm by integrating the above two algorithms. By using the simulator, it is confirmed that the present control algorithm outperforms not only the current fixed-time control algorithms but also the individual microscopic and macroscopic control algorithms.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).