

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18900

研究課題名（和文）運転ストレスに基づく車両の個別調停および交通社会全体最適化手法の提案

研究課題名（英文）Proposal of optimal merging control method of vehicles and total optimization of traffic flow based on driving stress

研究代表者

田代 むつみ（TASHIRO, Mutsumi）

名古屋大学・未来社会創造機構・特任講師

研究者番号：00422759

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では経路探索や他車との協調において、個々のドライバーが運転ストレスを感じることなく、かつ交通社会全体の交通流を最適化させる、新しい交通マネジメント手法の提案を行った。運転中にドライバーに発生する「運転ストレス」を心拍数の変化により定義し、道路構造や交通状況などの運転ストレス要因から予測するモデルを構築した。そして、レーンレベル運転ストレス最小化経路探索アルゴリズムを提案した。続いて、個々の車両情報がリアルタイムに共有される条件下において、信号の無い交差点において車両同士が協調して合流時のコンフリクトを回避するための制御方法を提案し、交通マイクロシミュレーションにより効果を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個人毎の異なる価値観に基づいた心理的指標である「運転ストレス」を、交通マネジメントに直接活用するシステムは、他に類をみない新しい試みである。また本システムは、ドライバーのみならず、車を利用する全ての人のストレス検討にも応用可能であり、自動運転社会への移行段階における最適な交通マネジメントの検討にもつながる点で、研究の発展性は高い。交通情報の集約や共有化に関する取組みも近年国内外で急速に進められており、本研究が提案する協調制御アルゴリズムは、信号に代わる新たな交通マネジメント手法として実現可能性が高いと考える。

研究成果の概要（英文）：This study proposed a new traffic management method that reduces the driving stress of individual drivers in route search and totally optimizes the traffic flow based on cooperative control with other vehicles. Driving stress defined by changes in heart rate of drivers was estimated by driving stress factors such as road structure and traffic conditions, and applied to a lane-level driving stress minimizing route search algorithm. In addition, under the condition that individual vehicle information is shared in real time, a cooperative control method for connected vehicles was proposed for avoiding conflicts at intersections without traffic lights, and the effect was examined by traffic micro-simulation.

研究分野：交通計画

キーワード：運転ストレス 経路探索 心拍 合流調停 協調制御 自動運転 ミクロシミュレーション 交通マネジメント

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らが参加している、文部科学省名古屋 COI 拠点プログラムでは、平成 25 年度より「高齢者が元気になるモビリティ社会」の構築をビジョンに掲げ、産官学連携で研究開発を行っている。中核となるモビリティに関しては、高齢者が安心・安全に運転できるために、高齢者の身体機能や運転特性の把握、高度な走行支援システムを搭載したモビリティの開発、都市レベルの交通情報を取り扱うデータベースの構築とそれを活用した交通マネジメント手法の開発を進めている。

運転に必要な認知・判断・操作の機能の一部またはその大部分を人に変わって行う車が普及するにつれ、個々の車両の安全性は飛躍的に高まる一方、合流や車線変更に伴う車両同士の協調をどのように行うか、また交通社会全体として交通流をいかに最適化するかが課題となる。そこで本研究課題では、車・人・交通の3つの領域をつなぐマネジメントに対して、新たに「運転ストレス」の概念を導入することにより、個々のドライバーの価値観、さらには社会全体の安全性・快適性も考慮した、次世代モビリティ社会の実現を目指す。

2. 研究の目的

本研究課題では、経路探索や他車との協調において、個々のドライバーが運転ストレスを感じることなく、かつ都市全体の交通流を最適化させる、新しい交通マネジメント手法の提案を目的とする。道路の優先順位や、車両の位置関係に基づく既存の交通ルールに縛られることなく、個々のドライバーの価値観、さらには社会全体の安全性、快適性も考慮した、次世代モビリティ社会の実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 平成 29 年度 運転ストレス最小化経路探索アルゴリズムの開発

研究代表者らはこれまで、心電、脳血流、呼吸など、各種生体反応を計測した実道での走行実験を元に、運転ストレスに関する基礎的な知見を得てきた。この結果、運転ストレスの要因は、道路幅員や車線数などの道路構造に起因した「静的要因」に加え、渋滞や走行車線など交通状況に起因した「動的要因」があること、また合流や車線変更に伴い他車と関わる際には、さらに運転ストレスが付加されることが明らかになった。

平成 29 年度は、最も簡易に測定できる生体指標の1つである「心拍数」の変化により運転ストレスを定義し、経路探索のコストとして用いることで、運転ストレスを最小化する経路探索アルゴリズムを提案する。運転ストレスを考える場合、車線数や実際に走行する車線位置、車線変更など「レーンレベル」の検討が不可欠となるため、レーンレベルのネットワークの作成方法についても検討を行う。

(2) 平成 30 年度 車両の協調制御アルゴリズムの開発

全ての車両が、運転ストレスが少なくなるように探索された経路を走行しており、さらに個々の車の予定経路と現在位置、速度などの情報がリアルタイムに共有される条件下において、車両同士が協調して交通流を最適化するための制御アルゴリズムを検討する。

信号の無い交差点において、いずれかの車両が合流できず交差点で待たされる状態を「コンフリクト」として定義し、将来の交通流を予測することで、コンフリクト発生の事前予測、およびコンフリクト回避のための各車両の制御方法を、交通ミクロシミュレーションにより検討する。

(3) 平成 31 年度 交通社会全体最適化アルゴリズムの検討

効果的な協調制御を実現するための、各種条件を検討する。コンフリクトをどれぐらい前から予測すればよいか(先読み時間)、制御によりどれぐらい先までの/どれぐらいのエリアの交通を最適にすればよいか(最適化の範囲)に着目し、交通量や交差点形状による影響も検討する。また、提案手法を大きなネットワークに応用する場合の課題も抽出し、他手法の適用も試みる。

4. 研究成果

(1) 平成 29 年度 運転ストレス最小化経路探索アルゴリズムの開発

運転中にドライバーに発生する不快・不安などの「運転ストレス」を、生体指標の1つである「心拍数」の変化により定義し、車両から得られるデータや周辺の道路環境などの「運転ストレ

「要因」から予測するモデルを、個人の違いも考慮して構築した。

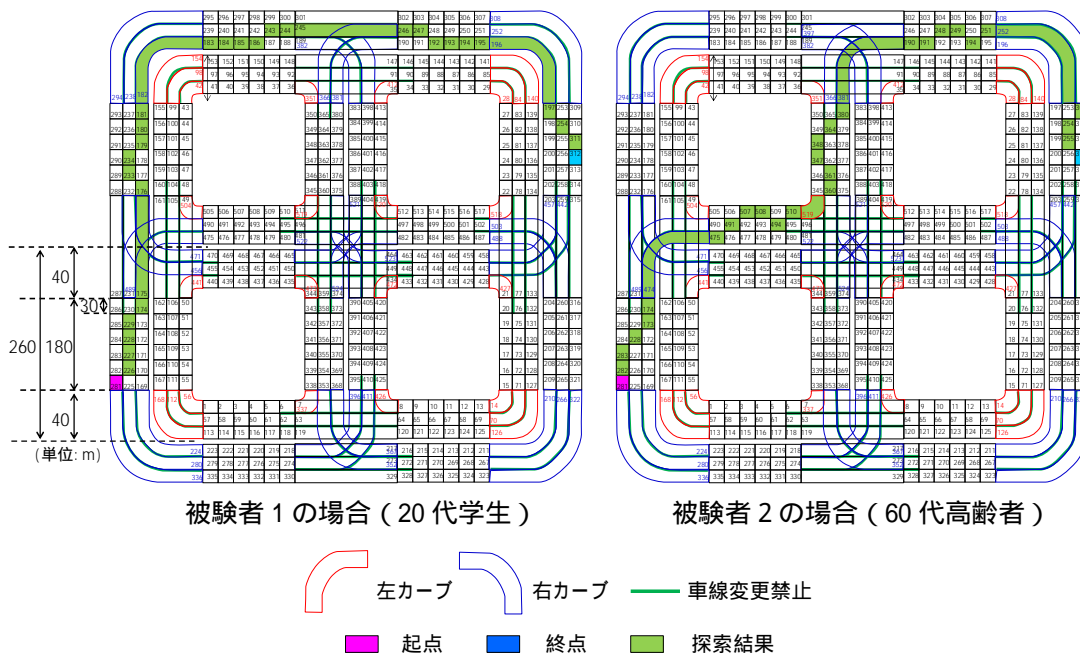
名古屋市内の 90 分弱の指定コース（商店街、バスレーン、住宅街、山道を含む）において、20 代の男子学生 3 名、60 代の高齢男性 3 名に対して行った走行実験のデータを使用し、運転時の心拍数を予測するモデルを作成した。実験車両から取得した CAN データ、GPS による車両位置データに加え、車両前後と被験者の車内行動の動画データより、運転中の心拍数の変化に影響を与えると思われる項目を抽出し説明変数として用いた。比較のため、回帰分析によるモデルと、機械学習の 1 つである Random Forest によるモデルの両方を作成した。個人によって心拍数の平均値およびその分散も異なることから、被験者毎にモデルを作成した。

この結果、同じ道を走行しても運転ストレスの感じ方は個人により異なること、またいずれの被験者も車両状態を表す「加速度」「速度」「舵角」の 3 つの変数が運転時心拍数の変化と関係が強いこと、運転ストレス要因には交互作用（例えば、中央分離帯が無い時の方が速度の増加によるストレスを感じやすい、車線変更先の車線に前方/後方車両が存在する時の方が車線変更をストレスに感じるなど）があり、この存在を適切に考慮できる Random Forest では、高い精度で運転時心拍数の変化を推定できることを確認した。

続いて、上記で作成した運転時心拍数予測モデルを仮想道路ネットワークに適用し、個々のドライバーにとってストレスの少ない経路を誘導する、新しい経路探索への応用を検討した。心拍数の変化には、道路の車線数や走行車線位置、車線変更など「レーンレベル」の概念が必要となるため、複数車線からなる仮想道路ネットワークを作成し、分割したグリッドに各説明変数（運転ストレス要因）を埋め込んで、経路探索を実施した。経路探索には Dijkstra 法を用い、Random Forest による運転時心拍数予測モデルにより各グリッドで発生する心拍数を推定した。そして、ドライバーの心拍数が安静時に比べて大きく上昇する瞬間を避ける経路を求めた。

経路探索結果の例を下図に示す。起終点は同じであっても異なる探索経路が得られ、個人による運転ストレスの感じ方の違いが表現された。被験者 1 は舵角（右左折）に敏感に反応する傾向があったことから、経路探索においても右左折を避けて外周を走行する結果となった。

より説明力の高いモデル作成のためには、運転ストレス要因の多様化に加え、より精緻なデータ取得方法の検討が必要と考える。また、音声などによる経路誘導が運転ストレスに及ぼす影響、所要時間と運転ストレスのトレードオフの関係、運転リスクも考慮した探索コストの導入なども課題である。



レーンレベル仮想道路ネットワークにおける心拍数最小化経路探索結果

(2) 平成 30 年度 車両の協調制御アルゴリズムの開発

各車両から収集したリアルタイムの交通情報を元に、無信号交差点において車両同士が協調してコンフリクトを回避するための、合流制御方法の検討を行った。ミクロシミュレーションにより、個々の車両の現在の交通挙動を表現すると同時に、交差点における 2 台の車両のコンフリクトを事前に予測し、コンフリクト回避のための制御方法を求めた。制御の影響は周辺にも及ぶため、予め定めた時間的・空間的範囲において最適となる制御方法を選出した。

なお、本研究課題の開始当初は「運転ストレス」を最適化の指標として用いる予定であったが、手動運転における不確実性を考慮したシミュレーションを別途行った結果、車両挙動が複雑となり、協調制御を行っても必ずしも交通流が最適とならないことが確認された。そこで以降では、問題をよりシンプルに考えるため、全車が自動運転である交通流を想定し、最適化指標については「旅行時間」を用いることにした。

車両挙動を表現するマイクロシミュレーションとして、本研究ではセル・オートマトンの NaSch モデルを参考に、信号の無い交差点での合流および車線変更を含む交通シミュレーションを作成した。リンクの優先順位や車両位置に基づき合流が妨げられる状態をコンフリクトとして定義し、コンフリクトのために合流できない車両 A と、コンフリクトの原因となる車両 B の 2 車両を抽出した。そして、それぞれの車両がコンフリクト回避のために、道路の優先関係に縛られることなくとるべき行動を決定した。

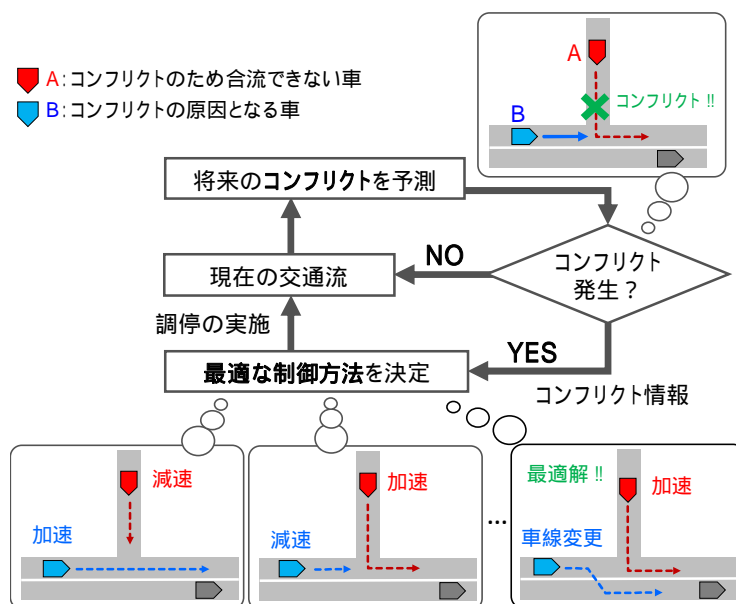
コンフリクト回避のためには、対象車両が交差点に到着する以前に制御を開始する必要があるため、現在の交通流に先んじて将来の交通流を先読みするシミュレーションを並行して行い、コンフリクトの予測を行った。そして、コンフリクト発生が予測された場合には、現在の状態に一度戻り、2 台の対象車両に対して各種制御を行った場合の将来の交通流を別途シミュレーションで予測し、全制御パターンの中から最適となる制御方法を選定した。その後、再び現在の状態に戻り、最適制御を対象 2 車両に適用し、新たなコンフリクトが発生するまで同様のシミュレーションを繰り返した。

本研究では簡単のため、合流調停を行う交差点は道路ネットワーク内で任意の 1 箇所のみ（T 字路交差点、または十字路交差点）とし、ひとつのコンフリクトが抽出された場合、それに対する制御が終了するまでは、他のコンフリクトは考慮しないものとした。また、最適化における評価項目は、あらかじめ定めた時間的・空間的範囲内を走行する道路ネットワーク内の全車両の総旅行時間とし、制御を行わなかった場合に対して総旅行時間が減少するほど、制御による効果が高いとした。

制御方法としては、車線変更、加速、速度維持、減速、停止の 5 種類に加え、制御を行わない場合も比較対象とし、これら 6 種類の制御を組み合わせた計 26 種類の制御パターンを総当たり的にシミュレーションし、最適解を選出した。

一連のシミュレーションの結果、以下の知見が得られた。

- ・ コンフリクトの発生回数は、T 字路交差点に比べて十字路交差点の方が多く、交通量の増加に伴い発生回数も増加する
- ・ 協調制御により、例えば混雑したリンクの車両を先に行かせたり、直進車両があらかじめ車線変更をしてスムーズな合流を促すなど、道路の優先関係に縛られない協調行動を行うことで、コンフリクトの回避だけでなく、周辺車両も含めた交通流の改善に効果が期待される。
- ・ 交通量が多くより混雑した交通環境ほど、周辺車両により行動が制約されるため、コンフリクト回避のための制御パターンは多様化する
- ・ T 字路交差点よりも十字路交差点、また交通量が多い状況など、より非効率な交通環境ほど、制御による総旅行時間減少効果が高くなる



協調制御アルゴリズムの構造

(3) 平成 31 年度 交通社会全体最適化アルゴリズムの検討

昨年度までに検討した協調制御アルゴリズムでは一定の旅行時間削減効果が確認されたが、予め最適と判断された制御方法を適用しても、必ずしも交通流が改善されない場合があることも分かった。そこで平成 31 年度は、より効果的な協調制御を行うための、各種条件の検討を始めに行った。

コンフリクトの予測は、現在の状態を初期状態として数秒先まで行うが、この先読み時間について複数パターンのシミュレーションを実施し、その影響を検討した。また、最適制御方法の選定では、現在から数分先までの間に最適化エリア内に存在する車両が走行した距離の総和が最大となるパターンを最適制御として選出するが、この最適化の時間範囲と空間範囲の影響についても検討した。以下では、制御対象交差点に直結するリンク内のみを最適化した場合を「部分最適」、道路ネットワーク全体を最適化した場合を「全体最適」とする。

一連のシミュレーションの結果、以下の知見が得られた。

- ・ 最適化の空間範囲(部分最適/全体最適)や、コンフリクトの先読み時間については、コンフリクトの発生回数にあまり影響を与えない
- ・ 最適化の時間範囲を極端に短くするとコンフリクト発生回数が少なくなり、混雑状況下では制御が連続的に効果を発しない
- ・ 部分最適の場合、最適化エリア内では交通流が改善されるが、最適化エリアの外側では逆に混雑が発生することがあり、結果としてネットワーク全体では旅行時間が増加してしまうことがある
- ・ 全体最適の方が部分最適よりも、最適解として選出される制御パターンの種類が少なく、特に交通量が少ない場合には、よりシンプルに問題を取り扱うことができる可能性がある

すなわち、提案した協調制御アルゴリズムにおいては、制御対象交差点の周辺だけでなく、あらかじめ道路ネットワーク全体が最適となるように制御方法を決めることが理想的である。しかし、本手法はシミュレーションを総当たりで行うため解の選出に時間を要し、膨大なネットワークに適用するのは、計算コストの面で非現実的である。また 1 つの予測シミュレーションを実施している間に制御車両が他車両とコンフリクトを起こしても、それを回避するために制御方法を変更することができないなど、同時多発的に発生するコンフリクトに対応できない。このため、複数交差点で部分最適を同時に行う、または全体最適の制御パターンを経験的に部分最適に落とし込むなどの対策が課題となった。

そこで、試行的ではあるが本研究課題の最後に、上記課題を克服するための新たな推定モデルの検討を行った。予め総当たり法で求めた制御解を経験的に機械学習し、将来予測を行うことなく現在の交通流から最適制御を導く推定モデルの構築を試みた。コンフリクト発生前の車両の位置関係や予定経路を説明変数とし、決定木学習による最適制御の推定を行った。

一連の検討の結果、最適解が選出されるまでの計算時間は、総当たり法に比べて決定木による制御では大幅に短縮されるものの、決定木による制御では総旅行時間が減少する場合もあれば増加する場合もあり、必ずしも最適解が得られていないことが確認された。合流時の協調制御は、ある程度混雑した交通状況下で最も効果を発揮するが、このような状況下では最適解以外の制御が行われた時の影響が大きいため、予測精度が十分ではない決定木モデルを適用すると、かえって混雑を引き起こすことが確認された。学習データや説明変数の慎重な検討による推定精度の向上に加え、推定誤差も考慮した適用シーンの選定、さらには学習方法についても検討が必要である。

<参考文献>

- ・ 金森亮, 久保田穰, 安藤章, 山本俊行, 森川高行: 複数生体データ計測による運転ストレスに関する基礎的分析, 第 51 回土木計画学研究発表会, 2015.
- ・ Breiman, L.: Random Forests, Machine Learning, Vol. 45, No. 1, pp.5-32, 2001.
- ・ E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", in Numerische Mathematik, Vol. 1, 1959, pp. 269-271.
- ・ Nagel, K. and Schreckenberg, M.: A Cellular automaton model for freeway traffic, Journal of Physics I France, Vol. 2, pp.2221-2229,1992.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tashiro Mutsumi, Motoyama Hiroki, Ichioka Yuki, Miwa Tomio, Morikawa Takayuki	4. 巻 online first
2. 論文標題 Simulation Analysis on Optimal Merging Control of Connected Vehicles for Minimizing Travel Time	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13177-018-0172-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田代むつみ, 植村遼, 三輪富生, 森川高行
2. 発表標題 運転時心拍の予測と経路探索への応用
3. 学会等名 第55回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田代むつみ, 野崎奏誠, 三輪富生, 森川高行
2. 発表標題 無信号交差点における最適合流制御方法の検討
3. 学会等名 第59回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市岡佑樹, 三輪富生, 田代むつみ, 森川高行
2. 発表標題 一般街路交差点における合流支援方法に関する基礎的研究
3. 学会等名 第17回ITSシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 経路探索装置	発明者 田代むつみ, 三輪富生, 森川高行, 金森亮, 佐藤仁美	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2019-39736	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森川 高行 (MORIKAWA Takayuki) (30166392)	名古屋大学・未来社会創造機構・教授 (13901)	
研究分担者	三輪 富生 (MIWA Tomio) (60422763)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授 (13901)	
研究分担者	金森 亮 (KANAMORI Ryo) (40509171)	名古屋大学・未来社会創造機構・特任准教授 (13901)	