

ドライバーの優先順位を考慮した 交通全体の経路配分の最適化手法の提案

Proposal of Road Distribution Optimization for Vehicles Based on Driver's Priority

谷文^{*1}
Wen Gu

伊藤 孝行^{*2}
Takayuki Ito

^{*1}名古屋工業大学工学部情報工学科

Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

^{*2}名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻

School of Techno-Business Administration, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

In this paper, we propose a way to make the vehicles avoid being involved into the traffic congestion by allocating the roads which are regarded as one kind of resources to the vehicles. At the same time, we introduce the parameter to show each vehicle's priority which aims to make the road allocation fair for all the vehicles in the system. We allocate the roads to the vehicles by regarding it as a linear programming problem and use linear programming to solve it. The experiment was finished by using simulator SUMO. In the experiment, we testified that our proposal can make the vehicles avoid getting involved into traffic congestion and verified the usefulness of the vehicle's priority.

1. はじめに

本研究では交通渋滞の発生を防ぐことにより交通システムを円滑化するため、道路をリソースとみなし、ドライバーの優先順位を考慮した上でリソースアロケーション [1] の考え方で道路を車両に配分する最適化手法を提案する。

経済の成長に伴い、世界中の自動車保有台数が毎年伸びている。自動車の増加と共に、多くの国で交通渋滞が深刻化に続いている。日本で交通渋滞が引き起こす時間損失を調べると、日本全国の一年間の交通渋滞における時間損失はおよそ 38.1 億人時間である。交通システムを効率的にすることは、政府やドライバーにとって重要な問題である。

円滑な交通システムを構築するため、数多くの研究がなされている。例えば、交通システムで用いる数学モデルの研究、ドライバーに交通情報に基づき経路を推薦する研究 [2] などがある。本研究では、車両がどのように道路を選択するの考え方ではなく、道路をリソースとみなし、ドライバーに道路を分配するという視点から、交通システム全体を円滑化することを目標とする。また、道路配分を公平にするため、各ドライバーの優先順位も考慮している。

具体的には、まず各車両の出発地や目的地情報を収集する。収集した車両情報に基づき、K Shortest Path アルゴリズムで車両ごとに同時に複数の経路候補を探し出す。各車両の経路候補の組の中から、目的関数に基づき交通全体にとってコストが一番低い、最適な経路の組み合わせを計算する。最後、割り当てられる経路の長さを最短経路の長さ比べることで各ドライバーの優先度の更新を行う。

本論文では、第 2 章で本研究で提案する手法について説明する。第 3 章ではシミュレーション実験について示す。第 4 章で本研究のまとめを行う。

2. ドライバーの優先順位を考慮した 交通全体の経路配分の最適化手法

2.1 制御手法

本研究では、交通全体を円滑化するため、道路をリソースと見なし、道路を車両に分配する方法を提案する。そのため、集中制御の手法を用い、交通システムの道路情報と車両情報を持つ中央プロセッサを設置する。具体的には、交通システムの道路情報には道路の長さや道路通過制限の情報が含まれている。道路通過制限とは交通渋滞、災害などが起こる際の通過規制の状況を表すパラメータである。車両情報には、車両の数と各車両の出発地と目的地情報が含まれている。中央プロセッサは交通システムの道路情報と車両情報に基づき、車両全体にとって最適な経路の組み合わせを求め、各車両に経路情報を送信する。各車両は経路情報を受け取り、経路情報とおり出発地から目的地へ移動する。

2.2 経路配分アルゴリズム

経路配分アルゴリズムの流れとして、まず道路情報と車両に基づき各車両ごとに経路候補を探す。各車両の経路候補から、交通全体にとって最適な経路の組み合わせを探し出す。

各車両ごとに経路候補を探す時、車両を道路から分流できるため、最短経路だけでなく、同時に複数の経路候補を探す必要がある。同時に複数の経路候補を探し出すため、経路の数をパラメーターで指定できる K Shortest Path アルゴリズムを使用する。本研究では、経路にループがない設定で Yen's アルゴリズム [3] を使用する。

各車両の経路候補から、交通全体にとって最適な経路の組み合わせを探す。本研究では、最適な経路の組み合わせというのがすべての制約条件を満足する上で、目的関数により定めるコストが最も低い経路の組み合わせである。最適な経路の組み合わせを探し出すため、目的関数を設計し、線形計画問題に変換する。最後に、線形計画法で目的関数を解く。目的関数と制約条件の構成を式 (1)-(4) に示す。

連絡先: 谷文, 名古屋工業大学工学部情報工学科,
〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町,
koku.bun@itolab.nitech.ac.jp

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{r_i \in R_i} C_d(r_i) \times C_{p,i} \times x(r_i) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{r_i \in R_i} x(r_i) = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x(r_i) = \{0, 1\} \quad \forall r_i \in R_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{r_i \in R_i} x(r_i) \times Num(r_i, e) \leq n(e) \quad (4)$$

目的関数は三つの項で構成する．経路コストを示す C_d の項，優先度コストを示す C_p の項，及び経路候補から経路の一つしか選べない制約条件 $x(r_i)$ の項である．

I は車両集合を表し， i が車両番号である． R_i は車両 i が持っている経路集合を表し， r_i が車両 i が持っている一つの経路を表す． $C_d(r_i)$ は車両 i の経路候補 r の経路コストを表し，経路コストは経路の長さで決める． $C_{p,i}$ は車両 i の優先度コストを表す．全体的に最もコストが低い経路の組み合わせを求めため，優先度コストが高ければ高いほど，道路を配分するとき車両の優先順位が高い．優先度コストは出発地から目的地までの実際の移動距離と最短経路の距離との比較で決める．実際の移動距離は最短距離より長い経路が割り当てられる回数が多ければ多いほど優先度コストが高くなり，優先順位が高くなる．

各車両は自分の経路候補から一つの経路しか割り当てられないので， $\sum_{r_i \in R_i} x(r_i)$ が 1 になる． $x(r_i)$ は経路候補 r_i は最終的に割り当てられるかどうかを表し，1 か 0 の値取る．1 の場合は， r_i は最終的に車両 i 割り当てられることを表し，0 の場合は割り当てられない．

$n(e)$ は道路の通過制限を表す式であり，単位時間道路 e を通過できる車両台数が n である．単位時間道路 e を通過する車両台数が n を超えると渋滞が発生する．実世界の道路にある交通規制を表す． $Num(r_i, e)$ は経路 r に道路 e が含まれる数を表す．本研究では，車両の経路候補を探すときループがない探索手法を使用していることにより， $Num(r_i, e)$ が 1 または 0 の数値を取る．

2.3 優先度の更新

車両が出発地から目的地までの一回の移動が終わった後，優先度の更新を行う．優先度の決め方は，出発地から目的地までの実際の移動距離を最短経路の距離と比べ，もし自分の最短経路より実際の移動距離のほうが長い場合，いわゆる最短経路より長い経路が割り当てられると優先度を変化させる．優先度を更新する方法は式 (5) に示す．つまり，全体の最小コストを求める時，経路を割り当てる衝突が発生する際優先順位が高い車両が優先される．

$$C_{p,i} = C_{p,i} + \frac{Length(r_i) - Length(r_0)}{Length(r_0)} \quad (5)$$

$Length(r_i)$ は車両 i が出発地から目的地までの実際の移動距離であり， $Length(r_0)$ は車両 i が出発地から目的地までの最短経路の距離である．実際の移動距離が最短経路の距離と等しければ，優先度が変わらない．

3. シミュレーションによる評価実験

実験では車両の総移動距離のばらつきの変化について評価を行う．各車両の動態を再現するためのシミュレーターとして SUMO(Simulation of Urban MObility)[4] を用いる．SUMO

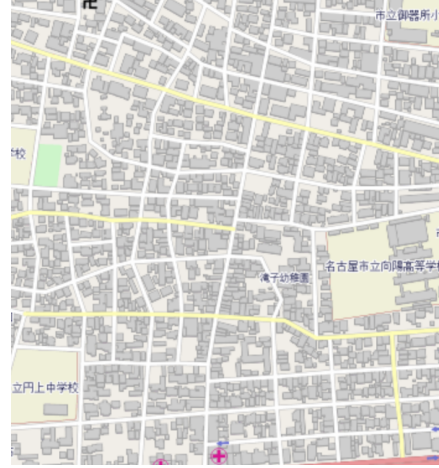


図 1: 本実験で使用する OSM 地図



図 2: SUMO により構成される地図

とは，ドイツ交通宇宙センター (DLR) が開発したマイクロ交通流シミュレータである．SUMO では車両一台一台の動きを確認することができる．

また，本実験で使用する OSM(Open Street Map)[5] ネットワークを図 1 に示す．図 2 は OSM から得られた名古屋市の都心部の地図データをもとに，SUMO によって構成されたネットワークである．線形計画問題を解くために，本実験は Gurobi Optimizer[6] を使用する．

3.1 同一出発地と目的地により実験

3.1.1 実験設定

図 2 に示すように，20 台の車両が順番に出発地 A から目的地 B まで移動する．道路に通過制限と優先度の導入の有無により，三つのケースに分けて実験を行った．

- Case1 ではすべての道路に対して，通過制限の設定と優先度の導入を行わずに実験を行う．
- Case2 ではネットワーク中の赤色の道路に対して，20 秒に 2 台の車両しか通過できない通過制限を設ける．優先度については Case1 と同じく優先度を導入せず実験を行う．
- Case3 ではネットワーク中の赤色の道路には 20 秒に 2 台

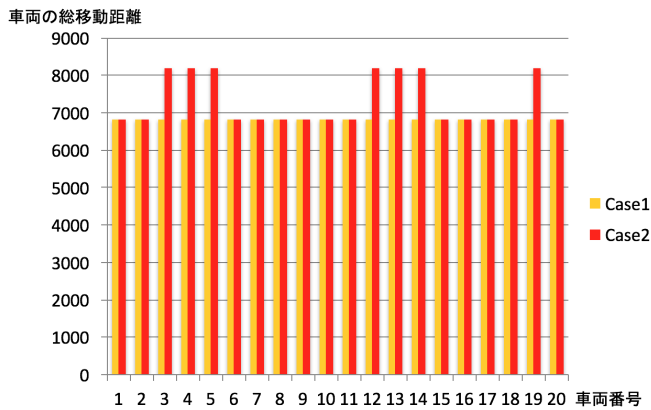


図 3: 同一出発地と目的地により実験結果

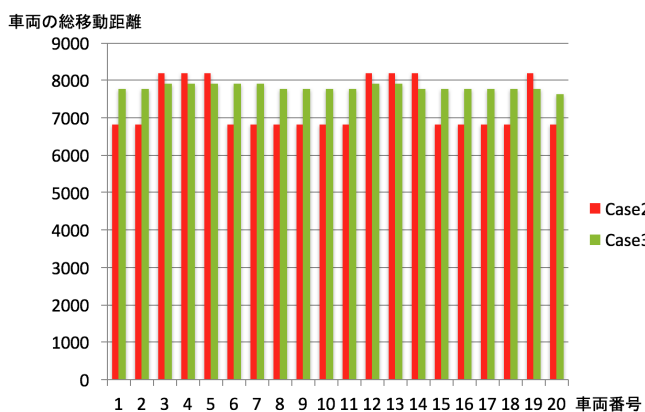


図 4: 同一出発地と目的地により実験結果

の車両しか通過できない通過制限を設ける．優先度も導入し、実験を行う．

全ての車両は目的地に到着すると一回のシミュレーションが終る．各車両が出発地から目的地までの実際の移動距離と最短距離の長さに比べ、実際の移動距離は最短距離より長ければ、優先度の更新を行う．

シミュレーションを 10 回に実行し、各車両が 10 回の移動で総合移動距離データを統計し、分析する．

3.1.2 実験結果

まず、優先度を導入せずに、通過制限がない Case1 と通過制限がある Case2 の車両の総移動距離を比較する．図 3 に示すように、交通渋滞を起こさないため、車両の一部は自分の最短経路より長い経路が割り当てられた．つまり、交通渋滞を防ぐため、通過制限がある最短経路から分流されることがわかった．しかし、最短経路より長い経路が割り当てられた車両は常に車両全体の一部に集中し、不公平な状況になった．

また、通過制限を導入し、優先度を導入しない Case2 と優先度を導入する Case3 の車両の総移動距離を比較する．図 4 に示すように、交通渋滞を起こさないため、車両は自分の最短経路より長い経路が割り当てられた．Case2 の結果とは違い、優先度を導入した Case3 では最短経路より長い経路が割り当てられた車両は常に車両全体の一部に集中することがなく、車両全体の公平性が考慮され、より多くの車両に分散した．



図 5: SUMO により構成される地図

3.2 複数出発地と目的地により実験

3.2.1 実験設定

図 5 に示すように、20 台の車両が順番に出発地 A から目的地 B まで移動する．それと同時に、別の 20 台の車両が順番に出発地 C から目的地 D まで移動する．道路に通過制限と優先度の導入の有無により、三つのケースに分けて実験を行った．

- Case1 ではすべての道路に対して、通過制限の設定と優先度の導入を行わずに実験を行う．
- Case2 ではネットワーク中の赤色の道路に対して、20 秒に 10 台の車両しか通過できない通過制限を設ける．優先度については Case1 と同じく優先度を導入せず実験を行う．
- Case3 ではネットワーク中の赤色の道路には 20 秒に 10 台の車両しか通過できない通過制限を設ける．優先度も導入し、実験を行う．

全ての車両は目的地に到着すると一回のシミュレーションが終る．各車両が出発地から目的地までの実際の移動距離と最短距離の長さに比べ、実際の移動距離は最短距離より長ければ、優先度の更新を行う．

シミュレーションを 10 回に実行し、各車両が 10 回の移動で総合移動距離データを統計し、分析する．

3.2.2 実験結果

まず、優先度を導入せずに、通過制限がない Case1 と通過制限がある Case2 の車両の総移動距離を比較する．図 6 と図 8 に示すように、交通渋滞を起こさないため、車両の一部は自分の最短経路より長い経路が割り当てられた．つまり、交通渋滞を防ぐため、通過制限がある最短経路から分流されることがわかった．しかし、最短経路より長い経路が割り当てられた車両は常に車両全体の一部に集中し、不公平な状況になった．

また、通過制限を導入し、優先度を導入しない Case2 と優先度を導入する Case3 の車両の総移動距離を比較する．図 7 と図 9 に示すように、交通渋滞を起こさないため、車両は自分の最短経路より長い経路が割り当てられた．Case2 の結果とは違い、優先度を導入した Case3 では最短経路より長い経路が割り当てられた車両は常に車両全体の一部に集中することがなく、車両全体の公平性が考慮され、より多くの車両に分散した．

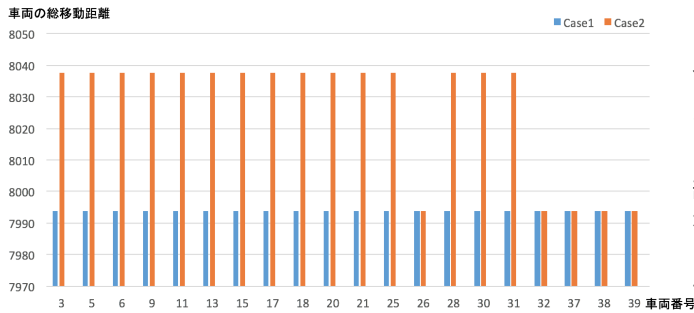


図 6: A から C まで移動する車両

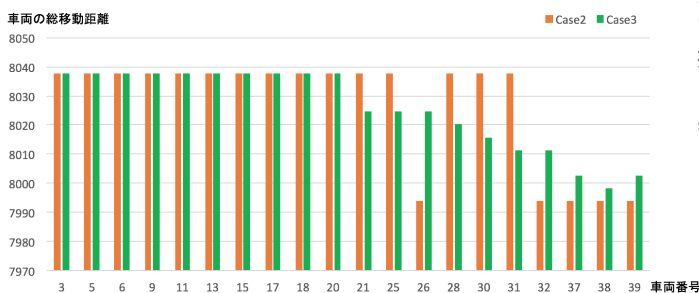


図 7: A から C まで移動する車両

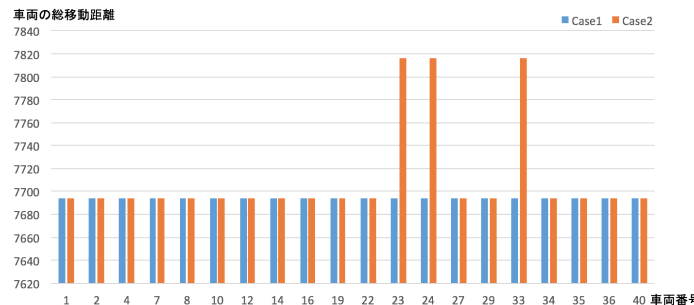


図 8: B から D まで移動する車両

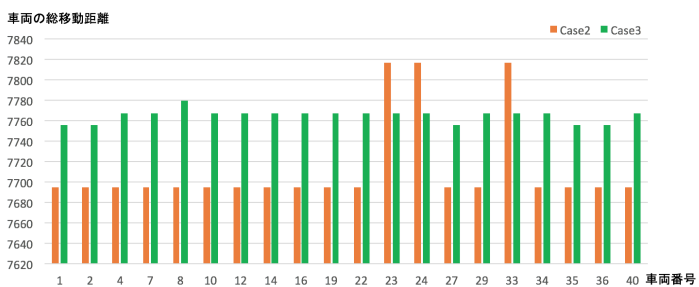


図 9: B から D まで移動する車両

4. おわりに

本研究では、交通渋滞の発生を防ぐため、道路をリソースと見なし、車両の優先順位を考慮する上でリソースアロケーションの考え方で車両に道路を配分する手法を提案した。提案手法を検証するため、シミュレーション実験を行った。シミュレーションの結果から、提案手法で交通渋滞の発生を防ぐため、一部の車両が通過制限がある最短経路より長い経路が割り当てられ、通過制限がある最短経路から分流できることを証明した。また、提案手法で通過制限があると自分の最短経路より長い経路が割り当てられた車両が車両全体の一部に集中することがなくなり、より多くの車両に分散できたことにより、車両の優先順位を表す優先度の有用性も証明した。

提案手法で交通渋滞の発生を防ぐため、車両を通過制限がある最短経路から分流できることを証明したが、車両全体の総移動距離が高くなったことがわかった。総移動距離が高くなる部分による損失は渋滞が発生するときの損失の比較はできなかった。提案手法による総移動距離の損失を渋滞が発生するときの損失と比較することは今後の課題である。

参考文献

- [1] Jihang Z, Minjie Z, Fenghui R and Jiakun L, “ A Multiagent-Based Domain Transportation Approach for Optimal Resource Allocation in Emergency Management”, The Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Simulation and Modelling for Complex Systems
- [2] Wei D, “ An overview of in-vehicle route guidance system”, Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings.
- [3] Yen, J. Y, “ Finding the K-Shortest Loopless Paths in a Network ”, Management Science 17: 712-716,1971.
- [4] SUMO: Simulation of Urban MObility, <http://www.dlr.de/ts/sumo/>.
- [5] Open Street Map, <http://www.openstreetmap.org/>.
- [6] Gurobi Optimizer, <http://www.octoberky.jp/products/gurobi/>.