

# ライドシェアサービスにおけるユーザ満足度の向上に向けた配車アルゴリズムの提案と評価

若園 裕太<sup>1,a)</sup> 石田 繁巳<sup>2</sup> 白石 陽<sup>2</sup>

**概要:** ライドシェアサービスは、新たな公共交通サービスとして注目されている。これまでのライドシェアサービスに関する研究では、車両の移動距離を最小化しつつ、受付可能なリクエスト数を最大化する配車アルゴリズムに焦点が当てられていた。ライドシェアサービスを持続的に提供するには、各ユーザによって異なる満足度を最大化することが重要である。そこで、本研究ではユーザ満足度の向上に向けた配車アルゴリズムを提案する。本稿では、ユーザ満足度が「利便性」と「経済性」の両方の観点から構成されるものとし、それらの重みの割合を変化させることで、現実に近い多様なユーザのリクエストを表現する。利便性と経済性のバランスに対応するコスト関数を定義し、発生リクエストの重みに応じてコスト関数をスイッチングすることで配車計算を行う。シミュレーション実験の結果、提案手法が既存手法に比べ、ユーザ満足度を向上させること、特に経済性ユーザ満足度を向上させることを確認した。

## 1. はじめに

情報技術や無線通信技術の進歩により、ライドシェアサービスの実用化が進んでいる。ライドシェアサービスとは、ユーザに乗合させることでドア・ツー・ドアの交通手段を安価に提供する公共交通サービスである。ライドシェアサービスは、将来の公共交通サービスの有力な候補の1つである [1]。

ライドシェアサービスの実用化に向けて、ライドシェアサービスの実現可能性や車両配車の最適化に関する先駆的な研究が行われている。文献 [2,3] は、ライドシェアサービスがバスやタクシーなどの公共交通機関と比較して優位性が高いことを示している。近年では、ライドシェアサービスの最適化として、需要予測、車両配車、価格戦略等にアプローチを図った研究が報告されている [4-10]。公共交通サービスは、ユーザに継続的な利用を促す持続可能性の観点が重要である。しかし、ライドシェアサービスの持続可能性については、十分に研究されていない。

そこで本研究では、ユーザの満足度を考慮したコスト関数を定義することで、ユーザへライドシェアサービスの継続的な利用を促す手法を提案する。ユーザ満足度は、個々

のユーザによって異なる。本研究ではユーザがサービスに対して、早く到着したい「利便性」や安く利用したい「経済性」などの欲求を明示的に示すと仮定する。また、ユーザがリクエストを事前予約せず、いつでもリクエストを送信可能な状況を想定する。

著者らは、これまでにユーザ満足度が利便性もしくは経済性の単一の観点から成ると仮定し、ユーザ満足度を向上させる配車アルゴリズムを提案した [11]。この配車アルゴリズムは、逐次最適挿入法 [2] の配車アルゴリズムを拡張したものである。ユーザが選択したユーザ満足度の観点に基づいてコスト関数を切り替えて最適化を行い、ユーザ満足度を最大化する。シミュレーション実験を行った結果、ユーザ満足度が向上したことを確認した。

しかし、著者らが提案した手法には2つの課題がある。1つ目は、ユーザ満足度が利便性もしくは経済性の単一の観点から成ると仮定している点である。実際のユーザ満足度は利便性と経済性の両方の観点から成る。なおかつ、その割合はユーザごとに異なるため、各ユーザの欲求に対応するユーザ満足度を定義する必要がある。2つ目は、文献 [11] で提案したコスト関数が車両に割り当て済みのリクエストのユーザ満足度を考慮できない点である。提案したコスト関数は、新規リクエストのユーザ満足度に基づいて最適化していたため、割り当て済みのリクエストも考慮したコスト関数を定義する必要がある。

このような課題に対し、本稿ではユーザごとに異なる満足度に対応し、割り当て済みのリクエストへの影響を考慮

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

a) g2121061@fun.ac.jp

できる配車アルゴリズムを示す。逐次最適挿入法に基づき、ユーザが示した利便性と経済性の満足度のバランスを考慮したコスト関数を定義することで、ユーザ満足度の向上を目指す。配車アルゴリズムを実装し、交通シミュレータを用いて提案手法のユーザ満足度を評価した。

本稿の構成は以下の通りである。2章では、ライドシェアサービスにおける配車最適化とユーザ満足度に関する研究について述べる。3章で提案する配車アルゴリズム、コスト関数について述べ、4章においてはユーザ満足度評価式と実験結果について述べる。最後に5章でまとめとする。

## 2. 関連研究

関連研究としてまず、2.1節では、ライドシェアサービスの配車最適化に関する研究について述べる。次に、2.2節では、ライドシェアサービスのユーザ満足度に関する研究について述べる。

### 2.1 配車最適化に関する研究

順次リクエストが発生するライドシェアサービスにおける車両割り当ては、Dial-a-Ride Problems (DARP) の1つである [12]。本研究では、順次リクエストが発生する動的な状況を想定している。文献 [13, 14] では、動的な状況での最適化は、リクエストが事前に予約される静的な状況と比較して難しいことが指摘されている。DARP を実時間で解くためには、準最適化が現実的なアプローチである。そのため、実際のライドシェアサービスでは、多項式時間程度で最適化を行うアルゴリズムが広く用いられている [15–17]。

ライドシェアサービスは、先行研究 [2, 3] により、固定路線バスやタクシーと比較して、移動距離を低く抑えながら運行できることが明らかにされている。この先駆的な研究をもとに、ライドシェアサービスにおける最適化について研究が盛んに行われている。これまでの研究では、走行経路 [4–6] やリクエスト割り当て [7]、車両配置 [8]、価格設定 [9, 10] の最適化を図る研究が行われている。しかし、ライドシェアサービスにおける満足度最大化に向けて最適化を図る研究は少ない。

### 2.2 ユーザ満足度に関する研究

ライドシェアサービスにおけるユーザの満足度は、主に時間の観点から定義されている [18, 19]。これらの研究では、到着予定時刻と実際の到着時刻の差や、乗合による到着の遅れがユーザの満足度に影響すると考えられている。しかし、時間の観点だけでは、ユーザ満足度のモデル化は困難である。Jahan はライドシェアサービスにおけるユーザ満足度は、到着時間だけでなく、利便性や安全性など多くの側面に依存すると報告している [20]。また、到着時刻と料金の両方に基づいてユーザ満足度を定義した研究 [21]

も行われている。これらの研究では、ユーザ満足度を定義しているが、ユーザ満足度を最大化するための最適化は行われていない。

Levinger らは、ユーザ満足度に基づく配車アルゴリズムを提案している [22]。しかし、提案された配車アルゴリズムでは、単一の出発地からの静的なリクエスト発生状況を対象としている。実際のライドシェアサービスでは、様々な出発地・目的地を持つユーザから順次リクエストが発生する。Beirigo らは、リクエスト送信時にユーザが選んだ利用スタイルに応じて優先度を付けて対応する配車アルゴリズムを提案している [23]。利用スタイルは、Business (1st)、Standard (2nd)、Low-cost (3rd) の3段階に分かれている。最も優先度が高い Business (1st) は、高額な利用料金を支払う代わりに、占有車両が対応し乗合は行われない。Standard (2nd)、Low-cost (3rd) は Business (1st) と比較し、低額で利用できるかわりに乗合が発生する。この手法では、利用パターンとして3つの分類しか設定されておらず、ユーザの多様な欲求に対応することが難しい。

## 3. ユースケースと提案手法

本章では、想定するユースケース、提案する手法概要とコスト関数、使用する配車アルゴリズムについて述べる。

### 3.1 ユースケース

本研究で想定するサービスのユースケースについて述べる。

- (1) ユーザは、ライドシェアシステムに対して、随時、リクエストを送信する。リクエストの内容は、出発地、目的地、降車締切時刻、乗車人数等から構成される。
- (2) ライドシェアシステムは、リクエストに応じて車両を割り当てる。乗車予定時刻と到着時刻を含むリクエスト受付信号をユーザに送信する。割り当てに失敗すると、リクエスト拒否信号がユーザに送信される。典型的な割り当て失敗例として、到着予定時刻が降車締切時刻を超えたときが挙げられる。
- (3) ユーザは受付結果を受信すると、ユーザが指定した出発地で、割り当てられた車両に乗車する。目的地に到着次第、ユーザは降車する。
- (4) リクエストを割り当てられた車両は、ユーザが指定した出発地および目的地に向かう途中で、他のユーザを乗せる可能性がある。そのため、実際の乗車時刻や到着時刻は、想定した乗車時刻や到着時刻とは異なる場合がある。なお、割り当て済みのリクエスト情報が変わることはないものとする。
- (5) ライドシェアシステムは、乗車時刻と到着予定時刻からの遅延時間から乗車料金を算出し、ユーザに請求する。
- (6) ユーザは、ライドシェアサービス利用後にサービスに

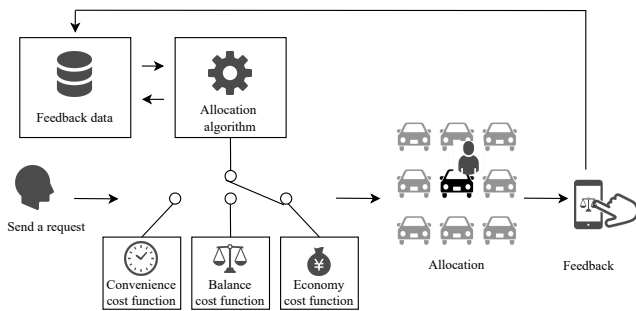


図 1 配車手法の概要

対するフィードバックを送る。フィードバックでは、「より安く利用したいか」、「より早く移動したいか」、「現状で満足か」の3択から明示的に選択する。

### 3.2 配車手法の概要

図 1 に提案手法の全体像を示す。提案手法のキーとなる考え方は、配車最適化プロセスにおいて、ユーザごとに異なる満足度を考慮して、コストを算出することである。コスト計算は各車両ごとに行われ、新規リクエストのユーザ満足度と車両のリクエスト保持状況に応じて、コスト関数がスイッチングされる。

ユーザ満足度は、利便性の重み  $W_C$  と経済性の重み  $W_E$  から構成され、和が1になるように設定される。ユーザ満足度は、サービス利用後のフィードバックの送信を繰り返すことで、ユーザに適した重みに動的に変化することを想定している。本稿では、あらかじめ設定した  $W_C$  と  $W_E$  の割合から変わらないものとする。

コスト関数は、利便性コスト関数、経済性コスト関数、バランスコスト関数の3つである。リクエストを保持していない車両は、全て利便性コスト関数で計算を行う。リクエストを保持している車両には、受け付けたリクエストの利便性と経済性の重みによってコスト関数を選択し計算を行う。 $W_C > W_E$  の場合は利便性コスト関数、 $W_C < W_E$  の場合は経済性コスト関数、 $W_C = W_E$  の場合はバランスコスト関数が選択される。

使用する配車アルゴリズムは、限定しない。本論文では、野田らが提案した逐次最適挿入法を使用する [2]。

### 3.3 逐次最適挿入法

逐次最適挿入法 [2] は、野田らが提案したライドシェアに向けた配車アルゴリズムであり、限られた計算量で準最適な結果を返すことに特化したアルゴリズムである。

アルゴリズム 1 に逐次最適挿入法の処理の要約を示す。 $cost\_func$  は走行する  $route$  に対するコスト関数、 $time(D)$  は目的地  $D$  の推定到着時刻、 $\binom{v}{y}$  は二項係数を示す。

逐次最適挿入法は、リクエスト発生時に最適化を行うアルゴリズムであり、2段階の最適化プロセスにより構成される。第1ステップでは、新規リクエストに対応すること

### アルゴリズム 1: 逐次最適挿入法

**Data:** List  $Z$  of vehicles, list  $L_\zeta$  of origins  $O_i$  and destinations  $D_j$  corresponding to allocated requests for vehicle  $\zeta \in Z$ , origin  $O_n$  and destination  $D_n$  of new request, *deadline* of arrival time

**Result:**  $v \leftarrow$  vehicle with minimum cost,  $L \leftarrow$  new origin/destination list including  $O_n$  and  $D_n$

```

1 all  $cost[] = \infty$ ;
2 for  $\zeta$  in  $Z$  do
3   all  $routes[] = \text{empty list}$ ;
4    $l = \text{sizeof}(L_\zeta)$ ;
5   for  $k$  in  $\binom{l+2}{2}$  do
6      $routes[k] = L_\zeta$  with inserted  $O_n$  and  $D_n$ ;
7   all  $cost\_r[] = \infty$ ;
8   for  $route$  in  $routes$  do
9      $cost\_r[route] = cost\_func(route)$ ;
10    if  $time(D_n) > \text{deadline}$  then
11       $cost\_r[route] = \infty$ ;
12   $L'_\zeta = \arg \min_r cost\_r[r]$ ;
13   $cost[\zeta] = cost\_r[L'_\zeta]$ ;
14  $v = \arg \min_\zeta cost[\zeta]$ ;
15  $L = L'_v$ ;
```

で生じる最小コストが各車両について計算される。車両に割り当てられた乗車地点と降車地点が含まれるリストの各位置に、新しいリクエストの乗車地点  $O_n$  と降車地点  $D_n$  を挿入し、車両の最小コストを計算する。この時、降車締切時刻に間に合わないリクエストが1つでも存在する場合は、組み合わせから除外される。第2ステップでは、コストが最小となる車両を見つけ、その車両に新規リクエストを割り当てる。新規リクエストに対応できる車両が1つも存在しない場合は、リクエストを拒否する。

### 3.4 コスト関数

本研究で定義するコスト関数を示す。

まず、式 (1) に本研究で定義する利便性コスト関数を示す。

$$C_C = t_{EA} - t_{MEA} + \sum_{r \in R_v} \delta(r) W_{C,r} \quad (1)$$

$t_{EA}$  は新規リクエストの到着予定時刻、 $t_{MEA}$  は新規リクエストの最短到着予定時刻、 $r$  はリクエスト、 $R_v$  は車両  $v$  が保持するリクエストの集合、 $\delta(r)$  は新規リクエストを割り当てることで発生する割り当て済みリクエストへの遅延である。最短到着予定時刻  $t_{MEA}$  は、新規リクエストを発生時刻に乗車させ、遅延を受けることなく目的地に到着した時刻である。

利便性コスト関数では、可能な限り目的地に早く着くことが優先事項である。そのため、最短到着予定時刻  $t_{MEA}$

から到着予定時刻  $t_{EA}$  が離れるほどコストが大きくなるようにしている。

$\sum_{r \in Rv} \delta(r) W_{C,r}$  は、割り当て済みリクエストの中で該当リクエストの利便性の重み  $W_{C,r}$  に応じて加算する遅延時間を変えている。この項は、全てのコスト関数に設けている。この項により、割り当て済みのリクエストへのユーザ満足度を考慮することができる。ユーザ満足度の比が  $W_C : W_E = 1.0 : 0.0$  である場合は、リクエストに発生する遅延時間が直接、加算され、 $W_C : W_E = 0.0 : 1.0$  である場合は、リクエストに発生する遅延時間は加算されない。利便性に重みの割合を置くほど遅延が発生しづらく、経済性に重みを置くほど遅延が発生しやすくなる。

次に、式 (2) に本研究で定義する経済性コスト関数を示す。

$$C_E = t_D - t_{EA} + \sum_{r \in Rv} \delta(r) W_{C,r} \quad (2)$$

$t_D$  は新規リクエストの降車締切時刻を示す。経済性コスト関数では、降車締切時刻に間に合う範囲内で少しでも安くユーザを送り届けることが優先事項である。そこで、既にリクエストが割り当てられている車両に対し、優先度を下げて対応する組み合わせを探索する。

最後に、式 (3) に本研究で定義するバランスコスト関数を示す。

$$C_B = \left| \frac{1}{2} (t_D + t_{MEA}) - t_{EA} \right| + \sum_{r \in Rv} \delta(r) W_{C,r} \quad (3)$$

バランスコスト関数では、到着時刻と利用料金のバランスを取ることが優先事項である。利便性と経済性の重みを等しくしていることで、 $\sum_{r \in Rv} \delta(r) W_{C,r}$  により遅延が発生しにくいと考えられる。そのため、利便性を重視するユーザより優先度を下げて対応する組み合わせを探索する。

## 4. 評価

提案手法によるユーザ満足度の向上を検証するため、交通シミュレータを用いた実験を行った。逐次最適挿入法で用いられているコスト関数を用いて配車を行った結果と比較する。

### 4.1 従来手法のコスト関数

実験の比較対象である従来手法のコスト関数を式 (4) に示す。

$$C_O = t_{EA} - t_{MEA} + \sum_{r \in Rv} \delta(r) \quad (4)$$

従来手法のコスト関数は、全てのリクエストに対して遅延を最小化する。受け付けられるリクエスト数を最大限増加させるコスト関数として適している。

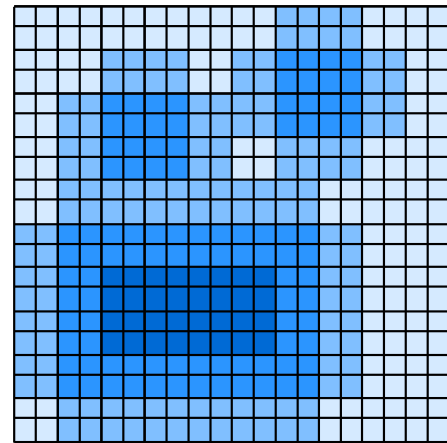


図 2 道路ネットワーク

表 1 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
リクエスト発生数 [件]	900/ 1,200/ 1,500
リクエスト予約人数 [人]	1
車両充足率 [%]	60/ 80/ 100
車両定員 [人]	4
走行速度 $V$ [km/h]	30

### 4.2 実験環境

SUMO (Simulation of Urban MObility) を用いて、シミュレーション実験を行った。SUMO [24] はオープンソースの道路交通シミュレータであり、SUMO に搭載されている TraCI を用いて外部プログラムを統合し、車両の挙動を制御することが可能である。配車アルゴリズムは Python で実装した。

図 2 に実験で用いる道路ネットワークを示す。実験では、5km 四方の道路ネットワークを使用した。交差点間の 1 辺の長さは 250m、ノード数は 441、エッジ数は 1,680 である。全てのエッジが片側 1 車線である。

発生するリクエストの乗降地点は、地方都市の交通調査を参考に決定した。図 2 において、色が濃い地点ほど乗車地点もしくは降車地点として選ばれやすいように設定している。全てのリクエストが順次発生する。ユーザ満足度の利便性と経済性の重みは、ユーザごとにランダムに決定しており、0.1 刻みで和が 1 になるように割り振られている。重みの分布は、一様である。

表 1 にシミュレーションのパラメータを示す。車両定員は、ドライバを除いて 4 人である。車両充足率は、リクエスト発生数に対する車両台数のパラメータを示しており、文献 [25] を参考に決めている。リクエスト発生数に対し、車両台数と各車両の座席数を掛けたもので割り、割った値が 2.5 となる場合を車両充足率 100% としている。2.5 という値は、リクエストに対して必要な車両台数の基準となる値であり、文献 [25] から算出している。車両充足率が低いパラメータほど車両台数が少ない。例として、リクエスト

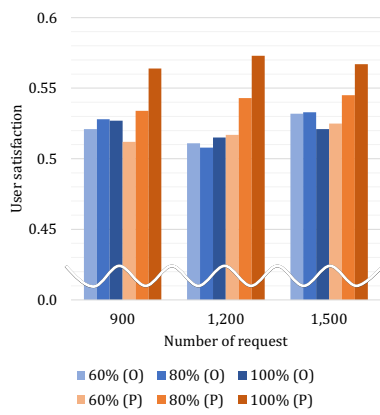


図 3 平均ユーザ満足度

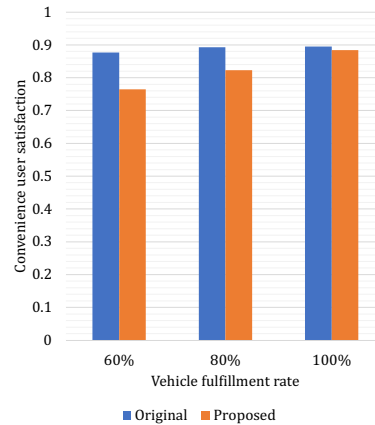


図 4 平均利便性ユーザ満足度

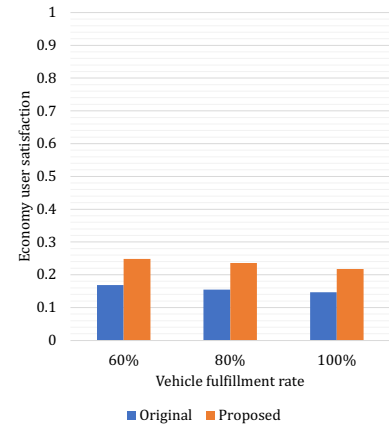


図 5 平均経済性ユーザ満足度

発生数が 1,200 件の場合における車両充足率が 100% の場合の車両台数は 120 台となる。

シミュレーションは、時刻  $t = 0$  秒で開始し、 $t = 7,500$  秒で停止した。リクエストは、 $t = 400$  秒から  $t = 5,800$  秒の間に発生させた。達成不可能なリクエストの生成を避けるために、各リクエストの降車締切時刻  $t_D$  は次のように決定した。

$$t_D = t_O + m \frac{d}{V} + T_P \quad (5)$$

$t_O$  はリクエストの発生時刻、 $d$  はリクエストの乗車地点と降車地点の最短走行距離、 $m$  はユーザが目的地に到達する時刻に対する時間的余裕度、 $T_P$  は迎車時間である。実験では、 $T_P = 600$ 、 $m = 1.5$  に固定している。

車両の初期待機地点は、ランダムに決定した。全てのエッジに車両の待機地点を設けている。シミュレーション開始時である  $t = 0$  秒に、車両がランダムに待機地点に配置される。ユーザが未乗車かつリクエストが割り当てられていない車両は、次のリクエストが割り当てられるまで、初期待機地点もしくは最後にユーザを降ろしたエッジの待機地点に待機し続ける。

### 4.3 満足度評価式

式 (6) に本研究で定義するユーザ満足度評価式を示す。

$$S = S_C W_C + S_E W_E \quad (6)$$

$S$  は各リクエストのユーザの満足度の和、 $S_C$  は利便性のユーザ満足度、 $S_E$  は経済性のユーザ満足度を示す。 $S_C$ 、 $S_E$  について順に述べる。

利便性のユーザ満足度  $S_C$  は、リクエストを受け付けた時の到着予定時刻  $t_{EA}$  から降車締切時刻  $t_D$  までの時間に対する実際の残り時間の比率で定義する。式 (7) に利便性ユーザ満足度評価式を示す。

$$S_C = \frac{t_D - t_A}{t_D - t_{EA}} \quad (7)$$

$t_A$  は実際の降車時刻であり、 $S_C$  は 0 から 1 の間の値をとる。実際の到着が推定到着より前になることはなく、降車締切時刻より後になることもないからである。

経済性のユーザ満足度  $S_E$  は、元の運賃に対する割引運賃の比率である。リクエストを最短時間で対応した場合から遅れるほど運賃が割引かれていく。式 (8) に経済性ユーザ満足度評価式を示す。

$$S_E = \max \left\{ 0, 1 - \frac{F_B + dF_U - (t_A - t_O)F_D}{F_B + dF_U} \right\} \quad (8)$$

$F_B$  はサービスを使用時の固定料金、 $F_U$  は単位距離あたりの料金、 $F_D$  は単位遅れ時間当たりの割戻し料金を示す。 $S_E$  は 0 から 1 の間の値をとり、文献 [26] を参考に定義している。この式では、 $F_U$ 、 $F_D$  の値によりユーザ満足度の値が大きく変化する。例えば、 $F_U$  に対し  $F_D$  を大きくすれば、僅かな遅延がユーザ満足度を大きく向上させる。しかし、 $F_U$  に対し  $F_D$  を過剰に大きくした場合、採算を取ることが難しくなる。本実験では、文献 [27] を参考にし、 $F_B = 300$ 、 $F_U = 0.4$ 、 $F_D = 0.4$  とした。

### 4.4 実験結果

図 3 にリクエスト発生数ごとの平均ユーザ満足度を示す。横軸がリクエスト発生数、縦軸がユーザ満足度であり、青色が従来手法、オレンジ色が提案手法である。色の濃さは車両充足率であり、色が濃いほど車両充足率が高い。

図 3 より提案手法は、車両充足率が高くなるほどユーザ満足度が高くなっていることが分かる。提案手法の方がユーザ満足度が高い傾向にあるが、車両充足率が 60% の場合には、従来手法の方がユーザ満足度が高いパラメータも存在している。しかし、従来手法と提案手法でユーザ満足度に大きな差異がないことが分かる。

図 4、図 5 にリクエスト発生数が 1,200 件の場合における、利便性と経済性それぞれのユーザ満足度を示す。横軸が車両充足率、縦軸がユーザ満足度である。

図 4 より、利便性ユーザ満足度では全てのパラメータに



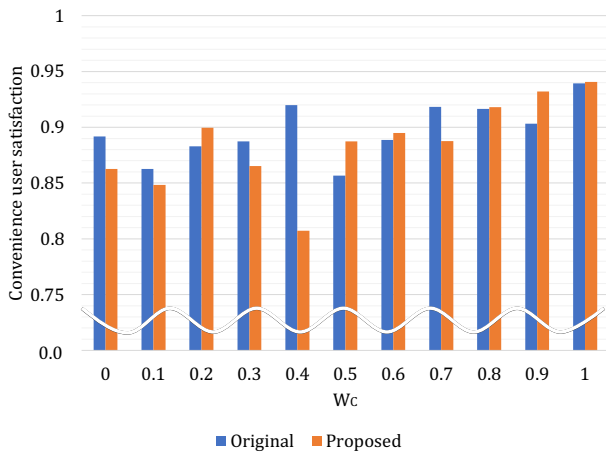


図 6 重みごとの平均利便性ユーザ満足度

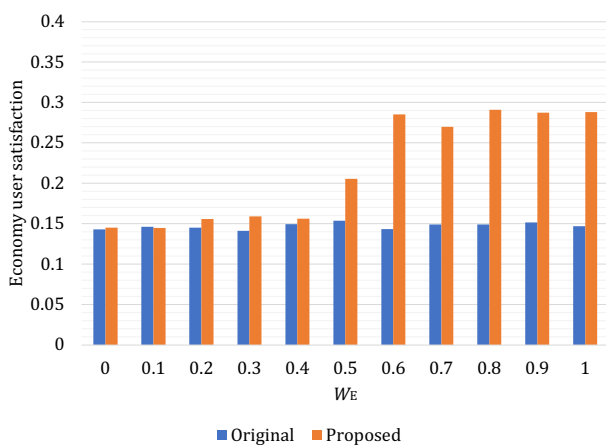


図 7 重みごとの平均経済性ユーザ満足度

において、従来手法の方が高い値を示していることが分かる。提案手法は、車両充足率が高くなるほど利便性ユーザ満足度が上昇しており、車両充足率が 100%の時に従来手法に近い値を示していることが分かる。この理由として、車両が多く存在することでリクエストが分散し、リクエストに即時的に対応できるようになったことが考えられる。

図 5 より、経済性ユーザ満足度では全てのパラメータにおいて、提案手法の方が高い値を示していることが分かる。また、提案手法では車両充足率が低くなるほど経済性ユーザ満足度が高くなっている。この要因として、車両充足率が低くなると車両にリクエストが集中し、車両にリクエストがスタックされていることが考えられる。

#### 4.5 分析

各手法の特徴を分析するために、図 6、図 7 にリクエスト発生数が 1,200 件、車両充足率 100%の場合における、利便性、経済性の重みごとのユーザ満足度を示す。横軸は、利便性、経済性に対する重みであり、縦軸はユーザ満足度である。図 6 と図 7 は対応している。例として、 $W_c = 0.9$  の時は、 $W_e = 0.1$  である。

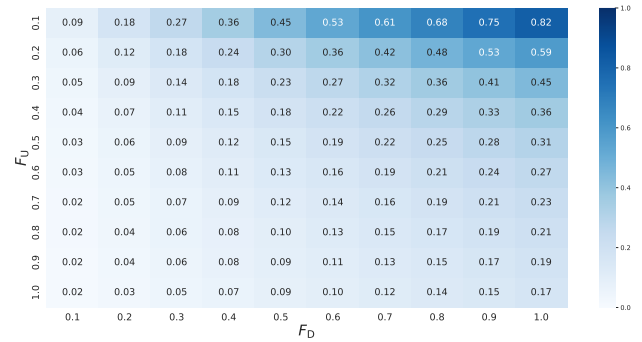


図 8 従来手法の各パラメータにおける経済性ユーザ満足度

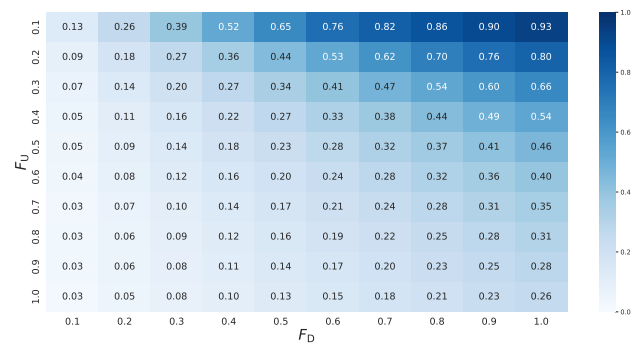


図 9 提案手法の各パラメータにおける経済性ユーザ満足度

図 6 より、利便性ユーザ満足度では、重みが 0.5 以上の時のほぼ全ての重みにおいて、従来手法より高い値を示していることが分かる。利便性に重みを置いてないユーザは、従来手法より利便性ユーザ満足度が低い傾向にある。

図 7 より、経済性ユーザ満足度では、ほぼ全てのパラメータにおいて提案手法の方が高い値を示していることが分かる。特に、経済性への重みが 0.6 以上の場合に、提案手法による経済性ユーザ満足度の向上が顕著であることが分かる。

次に経済性ユーザ満足度についてさらなる分析を行う。今回の実験では、 $F_B = 300$ 、 $F_U = 0.4$ 、 $F_D = 0.4$  のパラメータのみでユーザ満足度を評価した。4.3 節での記述の通り、 $F_U, F_D$  のパラメータは、経済性ユーザ満足度に大きな影響を及ぼす。そのため、 $F_U, F_D$  の値を変化させた時の経済性ユーザ満足度の変化を分析する。図 8、図 9 に従来手法と提案手法の  $F_U, F_D$  を 0.1~1.0 に変化させた時の経済性ユーザ満足度を示す。横軸が  $F_D$ 、縦軸が  $F_U$  のパラメータである。

図 8、図 9 を比較すると、どちらの手法でも  $F_U$  に対し  $F_D$  が大きい場合、経済性ユーザ満足度が大きい値を示していることが分かる。また、全体的に従来手法より提案手法の方が経済性ユーザ満足度が高い値を示していることが分かる。特に  $F_U$  に対して  $F_D$  の値が大きくなるほど、経済性ユーザ満足度の差が大きく、従来手法と提案手法で 0.15~0.23 ほど差異があることが分かる。

最後に図 10 にリクエスト発生数ごとのリクエスト受理

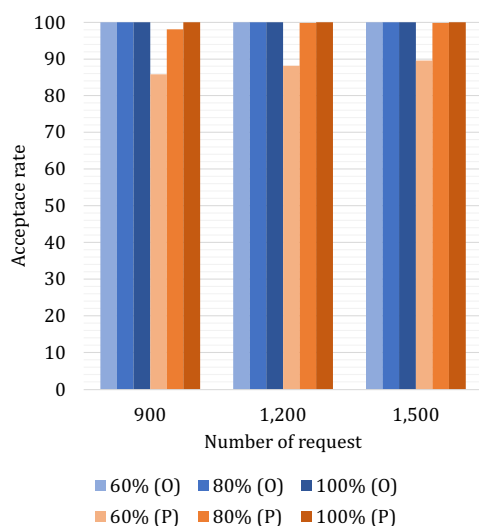


図 10 リクエスト受率

率を示す。横軸がリクエスト発生数、縦軸がリクエスト受率である。

図 10 より、提案手法は車両充足率が低い時にリクエスト受率下がっていることが分かる。従来手法は、全てのリクエストの受理に成功している。これは、従来手法が全てのリクエストへの遅延を抑えるように最適化を図るためである。

提案手法のリクエスト受率下がった原因は、本研究で定義するバランスコスト関数、経済性コスト関数と降車締切時刻にあると考えられる。この2つのコスト関数では、意図的に利便性を重視するリクエストより優先度を下げ対応するようにしている。そのため、車両が冗長な迂回をせず効率的にリクエストに対応するという観点では、この2つのコスト関数は効率性に欠ける。また、今回の実験では、全てのリクエストで余裕度  $m = 1.5$  に固定しており、リクエストによっては対応に大きな時間的余裕がある。時間的猶予があることで、バランスコスト関数や利便性コスト関数を用いて配車する際に、終盤に対応できる組み合わせで配車しているパターンが多く存在することが考えられる。以上の要因が、リクエスト受率の低下につながっている可能性がある。リクエスト受率の低減を抑えるために、コスト関数の再検討やリクエストの対応状況によってコスト関数のスイッチング方針を変えるなどの対策が考えられる。

以上の結果、分析から提案手法に関して、以下の3点が結論づけられる。

- (1) 提案手法は、リクエスト発生数に対して車両が十分に存在する場合、既存手法と比較してユーザ満足度を向上させられる。
- (2) 特にユーザが重視している点については、利便性、経済性問わずユーザ満足度を向上させられる。
- (3) 経済性ユーザ満足度を上げる要素として、 $F_U$  と  $F_D$  の

バランスが重要であり、 $F_U$  に対して  $F_D$  の値が大きくなるほど高いユーザ満足度を得ることができる。

## 5. おわりに

本稿では、現実に近い多様な満足度を持つユーザのリクエストを表現し、このリクエストに対応するコスト関数の定義、配車手法の提案、評価を行った。交通シミュレータを用いた実験の結果、提案手法が既存手法に比べ、ユーザ満足度を向上させること、特に経済性ユーザ満足度を向上させることを確認した。

今後の課題として、2つのことが上げられる。1つ目は、さらなるユーザ満足度の観点の追加である。本稿では、ユーザ満足度は利便性と経済性の2観点から構成されると仮定し定義した。しかし、乗り心地や車両からの景観など、ユーザにより異なる観点があることが予測される。そのため、ユーザの様々な欲求に対応する配車アルゴリズムを提案する必要がある。2つ目は、ロバスト性の検証である。本稿の実験では、シンプルな道路ネットワーク上で実験を行った。しかし、現実環境に近いマップやリクエストを用いた提案手法の有効性の検証を行う必要がある。そこで現在、OpenStreetMap とタクシーのオープンデータを利用したシミュレーション実験を行っている。

**謝辞** 本稿で示した研究の一部は、JSPS 科研費 JP20K11793 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Yaraghi, N. and Ravi, S.: The current and future state of the sharing economy, *Brookings India IMPACT*, No. 032017 (2017).
- [2] Noda, I., Ohta, M., Shinoda, K., Kumada, Y. and Nakashima, H.: Evaluation of usability of dial-a-ride systems by social simulation, *Proc. Multi-Agent-Based Simulation III (MABS2003)* (Hales, D., Edmonds, B., Norling, E. and Rouchier, J., eds.), Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Melbourne Australia, Springer, pp. 167–181 (2003).
- [3] Ma, S., Zheng, Y. and Wolfson, O.: Real-time city-scale taxi ridesharing, *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, Vol. 27, No. 7, pp. 1782–1795 (2015).
- [4] Lin, Q., Deng, L., Sun, J. and Chen, M.: Optimal demand-aware ride-sharing routing, *Proc. 2018 IEEE INFOCOM*, Honolulu, HI, pp. 2699–2707 (2018).
- [5] 大社綾乃, 大滝啓介, 小出智士, 西 智樹: 相乗りのための将来需要を考慮した経路最適化, *情報処理学会論文誌*, Vol. 60, No. 10, pp. 1653–1661 (2019).
- [6] Alonso-Mora, J., Wallar, A. and Rus, D.: Predictive routing for autonomous mobility-on-demand systems with ride-sharing, *Proc. 2017 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Vancouver, BC, Canada, pp. 3583–3590 (2017).
- [7] Miao, F., Han, S., Lin, S., Stankovic, J. A., Zhang, D., Munir, S., Huang, H., He, T. and Pappas, G. J.: Taxi dispatch with real-time sensing data in metropolitan areas: a receding horizon control approach, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, Vol. 13, No. 2, pp. 463–478 (2016).

- [8] Iglesias, R., Rossi, F., Wang, K., Hallac, D., Leskovec, J. and Pavone, M.: Data-driven model predictive control of autonomous mobility-on-demand systems, *Proc. 2018 IEEE ICRA*, Brisbane, Australia, pp. 6019–6025 (2018).
- [9] Asghari, M. and Shahabi, C.: An on-line truthful and individually rational pricing mechanism for ride-sharing, *Proc. 25th ACM SIGSPATIAL*, New York, NY, USA, pp. 1–10 (2017).
- [10] Asghari, M. and Shahabi, C.: ADAPT-pricing: a dynamic and predictive technique for pricing to maximize revenue in ridesharing platforms, *Proc. ACM SIGSPATIAL*, Seattle, WA, USA, pp. 189–198 (2018).
- [11] 若園裕太, 石田繁巳, 白石 陽: フルデマンド型交通における利便性と経済性を考慮した配車手法の検討, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2022-ITS-88, No. 4, pp. 1–8 (2022).
- [12] Cordeau, J.-F. and Laporte, G.: The dial-a-ride problem: models and algorithms, *Annals of Operations Research*, Vol. 153, No. 1, pp. 29–46 (2007).
- [13] Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M. and Wang, X.: Optimization for dynamic ride-sharing: a review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 223, No. 2, pp. 295–303 (2012).
- [14] Furuhata, M., Dessouky, M., Ordóñez, F., Brunet, M.-E., Wang, X. and Koenig, S.: Ridesharing: the state-of-the-art and future directions, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 57, pp. 28–46 (2013).
- [15] Nakashima, H., Sano, S., Hirata, K., Shiraishi, Y., Matsumura, H., Kanamori, R., Koshiba, H. and Noda, I.: One cycle of smart access vehicle service development, *Proc. 2014 Serviceology for Designing the Future (IC-Serv)* (Maeno, T., Sawatani, Y. and Hara, T., eds.), Yokohama, Japan, pp. 247–262 (2016).
- [16] Bischoff, J., Maciejewski, M. and Nagel, K.: City-wide shared taxis: a simulation study in Berlin, *Proc. 2017 IEEE ITSC*, pp. 275–280 (2017).
- [17] Iwata, S. and Suzuki, K.: Two way allocation methods in SAVS for large depopulated area, *Proc. 23rd Asia Pacific Symp. Intelligent and Evolutionary Systems (IES2019)* (Sato, H., Iwanaga, S. and Ishii, A., eds.), Proc. Adaptation, Learning and Optimization, pp. 33–45 (2019).
- [18] Lin, Y., Li, W., Qiu, F. and Xu, H.: Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 43, pp. 494–502 (2012).
- [19] Yang, J., Li, J., Chen, Y. and Liu, X.: Multi-objective distribution model and algorithm for online shopping express logistics, *Journal of Computers*, Vol. 8, No. 10, pp. 2558–2564 (2013).
- [20] Jahan, M.: Factors affecting customer satisfaction of the ride-sharing industry in bangladesh, *Business Ethics and Leadership*, Vol. 3, No. 4, pp. 74–80 (2019).
- [21] Atasoy, B., Ikeda, T., Song, X. and Ben-Akiva, M. E.: The concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 56, pp. 373–392 (2015).
- [22] Levinger, C., Hazon, N. and Azaria, A.: Human satisfaction as the ultimate goal in ridesharing, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 112, pp. 176–184 (2020).
- [23] Beirigo, B. A., Negenborn, R. R., Alonso-Mora, J. and Schulte, F.: A business class for autonomous mobility-on-demand: modeling service quality contracts in dynamic ridesharing systems, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 136, p. 103520 (2022).
- [24] Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P. and Wießner, E.: Microscopic traffic simulation using SUMO, *Proc. 2018 IEEE ITSC*, pp. 2575–2582 (2018).
- [25] 中島秀之, 小柴 等, 佐野涉二, 落合純一, 白石 陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原 仁: Smart Access Vehicle System: フルデマンド型公共交通配車システムの実装と評価, *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 4, pp. 1290–1302 (2016).
- [26] 野田五十樹: 学習と競合を用いた相乗りタクシー配車の価格設定分析の試み, *人工知能学会*, Vol. 第 17 回 SIG-DOCMAS 研究会, pp. 1–8 (2019).
- [27] 野田五十樹: 学習する利用者と進化する運行者による共進化型相乗りタクシー配車料金体系設計の試み, *情報処理学会研究報告*, Vol. 2020-ICS-198, No. 16, pp. 1–7 (2020).