

利用者・運行コストを拡張した自動運転ライドシェアリング運行最適化問題の定式化

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 ○伊藤 祥汰
 大阪市立大学工学部 学生員 河村 聡美
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 内田 敬

1. 研究背景・目的

近年、シェアリング（共有）の浸透と自動運転技術の発達により、同一またはごく近い出発地および到着地を希望する人々同士で配車した自動運転車両に相乗りする自動運転ライドシェアリングが新たな交通サービスとして注目されている。このサービスの導入には、最適な経路決定や運行スケジュール、車庫の配置などを決定するモデルを構築する必要がある。

本研究は既往研究¹⁾で提案されている最適化モデルをより実用的に改善することを目的とし、利用者・運行コストを拡充する。さらに、数値計算では重みパラメータの感度分析を行う。

2. モデルの概要

本研究の最適化モデル式は次のように記述される。

Minimize

$$f = \alpha_1 \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ij} y_{ijt}^r + \left\{ \begin{aligned} & \alpha_{20} \sum_{i \in T} \sum_{i \neq s_d, s_a | i \in N} \gamma_1 c_{ii} y_{iitt}^r \\ & + \sum_{r \in R} \left\{ \begin{aligned} & + \sum_{i=s_d} \gamma_1 c_{ii} \{ \alpha_{21} \max(t_{di}^{r,d} - t_{di}^{r,a}, 0) + \alpha_{22} \max(t_{di}^{r,a} - t_{di}^{r,d}, 0) \} \\ & + \sum_{j=s_a} \gamma_1 c_{jj} \{ \alpha_{23} \max(t_{dj}^{r,d} - t_{dj}^{r,a}, 0) + \alpha_{24} \max(t_{dj}^{r,a} - t_{dj}^{r,d}, 0) \} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \\ + \beta_1 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_2 c_{ij} x_{ijt}^k \delta_{ijt}^k + \beta_{20} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \gamma_2 c_{ii} x_{iitt}^k + \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in P} \gamma_2 c_{ii} x_{iitt}^k (\beta_{21} \sum_{p \in P_1} z_k^p + \beta_{22} \sum_{p \in P_2} z_k^p + \beta_{23} \sum_{p \in P_3} z_k^p) \\ + \beta_3 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \sum_{p \in P} \gamma_2 c_{ij} x_{ijt}^k z_k^p (1 - \delta_{ijt}^k) \\ + \beta_4 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \gamma_3 x_{pjtt}^k z_k^p \quad (1)$$

where

$$\delta_{ijt}^k = \min \left[\left(\sum_{r \in R} x_{ijt}^k \cdot y_{ijt}^r \right), 1 \right] \quad (2), \quad P_1 \cap P_2 = \emptyset, P_2 \cap P_3 = \emptyset, P_3 \cap P_1 = \emptyset, \bigcup_{i=1}^3 P_i = P \quad (3)$$

$$t_{di}^{r,a} = \arg(y_{iitt}^r = 1) \quad (4), \quad t_{dj}^{r,a} = \arg(y_{ijtt}^r = 1) \quad (5)$$

x_{ijt}^k : 車両 k が時刻 t , ノード $i \rightarrow j$ 移動のとき 1,
 y_{ijt}^r : 利用者 r が時刻 t , ノード $i \rightarrow j$ 移動のとき 1,
 z_k^p : 候補地 p に車両 k を配置するとき 1.
 c_{ij} : リンク ij の所要時間
 α, β : 重みパラメータ
 γ : 費用換算係数

目的関数は社会コストに相当し第 1 項から順に(1) 利用者の移動時間, (2) 利用者のスケジュール調整時間, (3) 車両の実車走行時間, (4) 車両のノード滞在時間(車庫以外), (5) 車両のノード滞在時間(車庫), (6) 車両の回送時間, (7) 業務車両台数を表す。このうち第 2 項と第 5 項が今回拡張した要素である。

第 2 項は既往研究における利用者のトリップ中の待ち時間(待ち合わせ+待機+早着)を改良したものであり、利用者が単独で移動する際と比べて相乗りすることで変更されたスケジュール調整費用の総和を表す。出発・到着時刻のずれ(早発, 遅発, 早着, 遅着)のそれぞれに異なる重みパラメータ $\alpha_{21} \sim \alpha_{24}$ を設定した。第 5 項は車両が車庫に滞在する時間の総和を表す。車庫の種類は無料・有料(1)・有料(2)の 3 種類としそれぞれに異なる重みパラメータ $\beta_{21} \sim \beta_{23}$ を設定した。

3. 数値計算

3.1 概要

単純な交通ネットワークとシナリオ(アクティビティパターンの時間的・空間的分布)を用いて数値計算を実行し、アルゴリズムの検証と適用イメージを示す。さらに目的関数の重みパラメータ値の違いによる最適解の行動への影響を分析する。

3.2 問題設定

数値計算では TS スケール(TS: タイムステップ), 利用者数, 車両台数, 交通ネットワーク, 利用者の移動スケジュール情報を設定する¹⁾。交通ネットワークはノード間の所要時間が $2T_s$ 以上のリンクは中間ノード M_i を用いて $1T_s$ に正規化する(図-1)。利用者移動スケジュール情報は利用者の出発・到着ノードと希望する出発・到着時刻を設定する(図-2)。

本研究では利用者のスケジュール調整を考慮するため利用者の希望時刻を $1T_s$ ずつ前後に延長した拡張後のスケジュールを用いて数値計算を実行する(今回は利用者 3 にのみ適用する)。

Keywords: 相乗り輸送, 組合せ最適化, 運行スケジュール, 時空間ダイアグラム

連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 e-mail: uchida-ur@osaka-cu.ac.jp Phone: 06-6605-3099

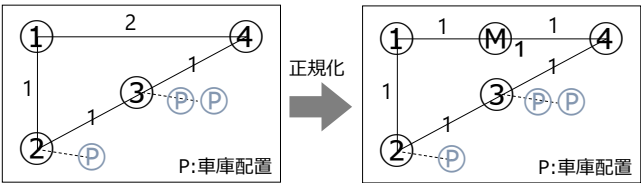


図-1 交通ネットワーク

No.	Time						
	0	1	2	3	4	5	6
利用者1			④		①		
利用者2			②	...	③		
利用者3			②		②		④

図-2 利用者の移動スケジュール情報

表-1 重みパラメータ値の設定

ケース1	1)通勤通学 (往路)		3)私用		ケース2	1)都心部		2)郊外
	早発 a21	30	遅発 a22	1		無料 b21	5	
	遅着 a23	10	遅着 a24	50		有料① b22	8	
						有料② b23	14	

4. 重みパラメータの感度分析

4.1 ケース設定

(1) ケース 1：利用者トリップ目的の考慮
1) 通勤・通学トリップ（往路），2) 通勤・通学トリップ（復路），3) 私用トリップの 3 つのトリップ目的を想定して，第 2 項の利用者スケジュール調整時間の重みパラメータ $\alpha_{21} \sim \alpha_{24}$ の値を設定した（表-1 左）.
(2) ケース 2：導入地域の考慮

ライドシェアサービスの導入を 1) 都心部と 2) 郊外の地域を想定して第 5 項の車両の車庫滞在時間の重みパラメータ $\beta_{21} \sim \beta_{23}$ を設定した（表-1 右）.

4.2 分析結果

実行結果を時空間ダイアグラム上に示す（図-3）. ケース 1：1) 通勤・通学トリップ（往路）ではスケジュールの調整は行われず個々で移動，3) 私用トリップではスケジュールを調整することで相乗りする結果となった. ケース 2：1) 都心部での運行を想定すると駐車コストが大きくなるため利用者を運んでいない車両は次の業務まで走行しながら待機，2) 郊外での運行を想定すると駐車して待機する結果となった.

5. おわりに

本研究では利用者のスケジュール調整時間および駐車時間のコスト要素を追加して社会コストを最小化するモデルを定式化した. 数値計算では利用者のスケジュールを拡張して重みパラメータの感度分析を行い，行動変化に影響を与える要素やサービスの

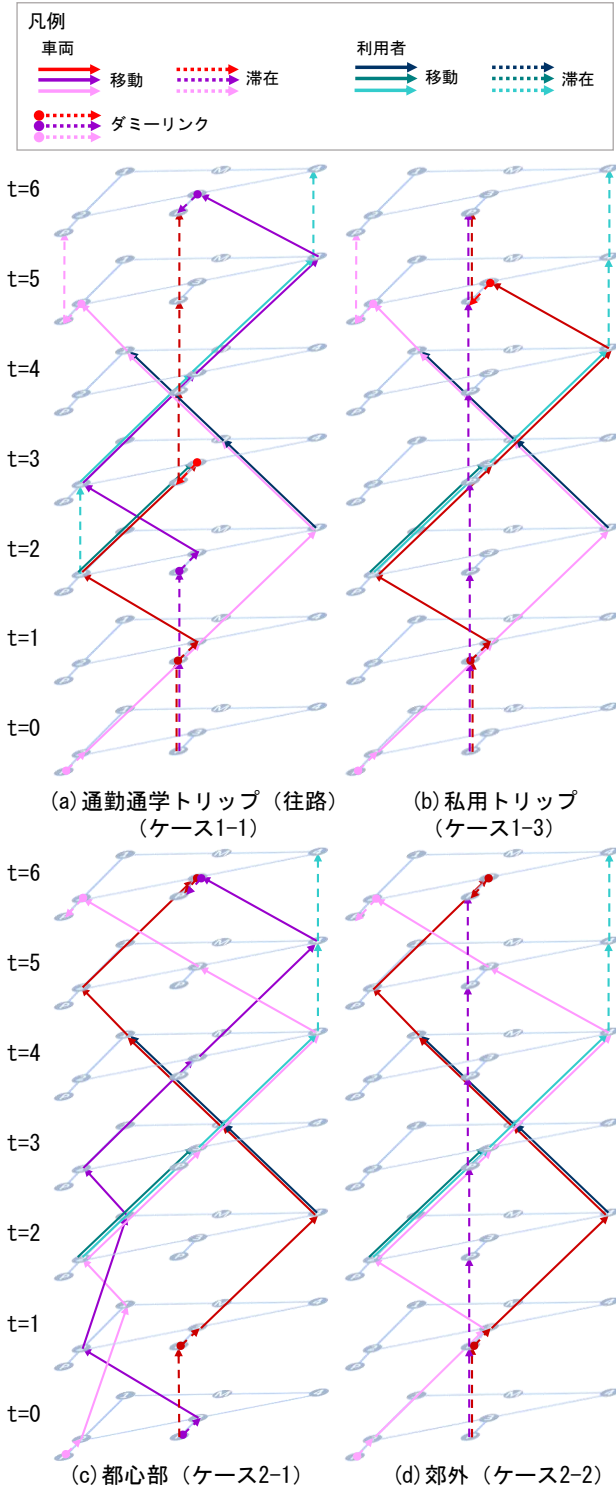


図-3 最適な運行スケジュール

有用性を確認した. 今後は遺伝的アルゴリズムなどのヒューリスティックな解法を用いることで，より現実的な交通ネットワークやシナリオで数値計算を行い，相乗りの成立可否に関するマッチング条件や導入可能性についても検討していく必要がある.

参考文献

1) 伊藤 祥汰, 内田 敬：車庫配置変数を含むライドシェアリング運行最適化問題の定式化と解集合限定法, 第 40 回交通工学研究発表会論文集, pp.567-572, 2020.