

第IV部門 利用者・運行コストを拡張した自動運転車相乗システム最適化モデルの定式化

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 吉田 長裕

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自動車に相乗りする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。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は次のように定式化される。

【目的関数】

Minimize

$$f = \alpha_1 \sum_{r \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j=1}^{|J|} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ij} y_{ijt}^r$$

$$+ \sum_{r \in K} \sum_{t \in T} \left\{ \begin{array}{l} \alpha_{20} \sum_{i \neq s_d, s_a} y_{iit}^r \\ + \left[\alpha_{21} \max((t_{desire} - t_{actual}), 0) + \alpha_{22} \max((t_{actual} - t_{desire}), 0) \right] \sum_{i=s_d} y_{iit}^r \\ + \left[\alpha_{23} \max((t_{desire} - t_{actual}), 0) + \alpha_{24} \max((t_{actual} - t_{desire}), 0) \right] \sum_{i=s_a} y_{iit}^r \end{array} \right\}$$

$$+ \beta_1 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j=1}^{|J|} \sum_{i \in G} \gamma_2 c_{ij} x_{ijt}^k \cdot \delta_{ijt}^k + \beta_2 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \gamma_2 c_{ii} x_{iit}^k$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in P} \gamma_2 c_{ii} x_{iit}^k \cdot (\beta_{21} \sum_{p \in P_1} z_k^p + \beta_{22} \sum_{p \in P_2} z_k^p + \beta_{23} \sum_{p \in P_3} z_k^p)$$

$$+ \beta_3 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j=1}^{|J|} \sum_{i \in G} \sum_{p \in P} \gamma_2 c_{ij} x_{ijt}^k \cdot z_k^p (1 - \delta_{ijt}^k)$$

$$+ \beta_4 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \gamma_3 x_{pjt}^k \cdot z_k^p$$

where

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

$$t_{di,actual}^r = \arg t(y_{ii}^r = 1) \quad t_{ai,actual}^r = \arg t(y_{ii}^r = 1)$$

【係数】

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項が今回拡張したコスト要素である。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（待ち合わせ時間+待機時間+早着時間）をスケジュール調整時間に改良し、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したスケジュールの調整時間の総和を表す。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を用いて数値計算を実行し、適用イメージの提案を行う。また、モデルの重みパラメータ値を変化させること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、利用者数、車両台数、交通ネットワーク、利用者移動スケジュール情報を設定する。交通ネットワークはノード間の所要時間が2TS以上のリンクは中間ノード M_i を用いて1TS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1TS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。

3.3 数値計算結果

利用者のスケジュールを拡張した人数とその解候補および実行時間について示す（表-1）。スケジュール拡張が1人までは所要時間は比較的小さいが、利用者2人拡張すると1人の場合と比べても約8倍の時間を要し計算負荷がかなり大きくなる結果となった。

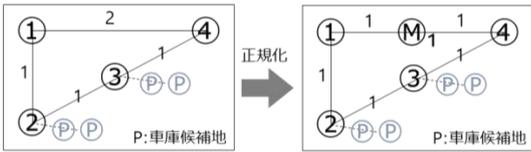


図-1 交通ネットワーク

	Time						
No.	0	1	2	3	4	5	6
利用者 r1			④	①		
利用者 r2			②	③		
利用者 r3				②	④	

図-2 利用者スケジュール情報

表-1 利用者のスケジュールの拡張と実行時間

条件設定	解候補の組み合わせ [実行時間]	最適解個数 [実行時間]
Case1 (拡張なし)	976 [89sec]	976 [2.23sec]
Case2 (r3のみ)	6932 [1443sec]	976 [18.1sec]
Case3 (r2, r3)	19292 [9432sec]	976 [43.9sec]
Case4 (r1, r2, r3)		

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: 利用者トリップの考慮

利用者トリップ目的を考慮して第 2 項の利用者スケジュール調整時間に注目し $\alpha_{21} \sim \alpha_{24}$ の値を変化させた。

a) 通勤・通学トリップ (往路), b) 通勤・通学トリップ (復路), c) 私用トリップ (高齢者の通院) の 3 つのトリップ目的を想定しそれぞれパラメータを設定した。

(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都心部と郊外の地域を想定して第 5 項の車両の車庫での滞在時間に注目し $\beta_{21} \sim \beta_{23}$ を変化させた。都心部は大阪市の梅田駅周辺、郊外は泉佐野市の泉佐野駅周辺として比較した。

4.2 分析結果

ケース 1 では通勤・通学トリップはスケジュールの調整は行われず個々で移動し私用トリップは利用者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。(図-3) ケース 2 では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し、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。(図-4)

5. 結論

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最適化モデルを構築した。数値計算では利用者のスケジュール拡張による実行時間への影響を示した。また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有用性が確認できた。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

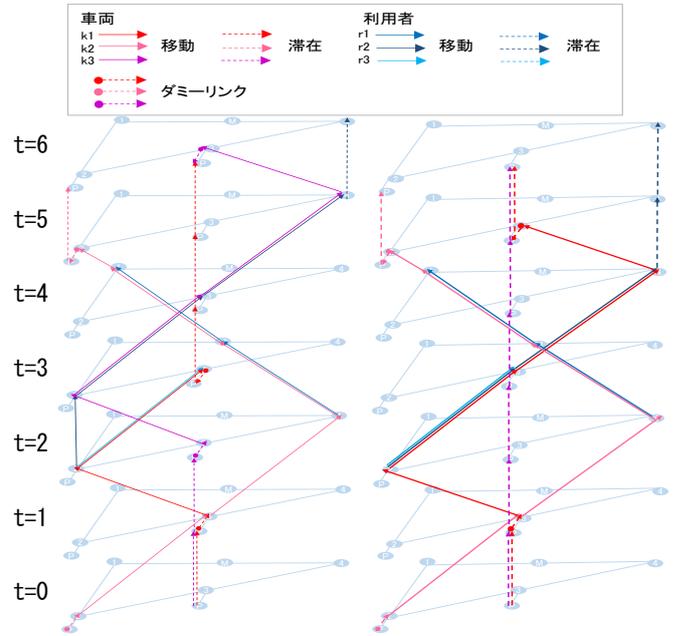


図-3 最適な運行スケジュール

(左: 通勤・通学トリップ, 右: 私用トリップ)

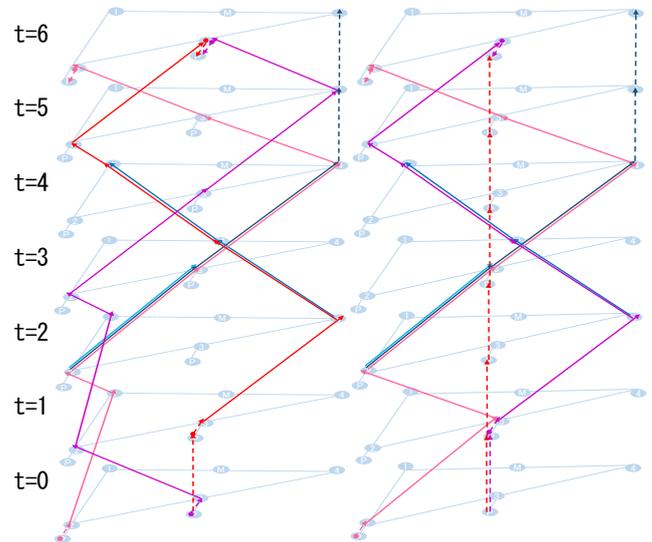


図-4 最適な運行スケジュール

(左: 都心部, 右: 郊外)

を用いて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についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 伊藤祥次, 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, 2020
- 2) 香月秀仁, 東達志, 谷口守: 郊外間交通へのシェア型自動運転車の導入可能性, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, 769-775, 2017-10
- 3) 東達志, 香月秀仁, 谷口守: 都市構造の違いがシェア型自動運転車の運行効率に及ぼす影響, 都市計画論文集, Vol.53, No.3, 2018-10
- 4) 田村祐貴, TRONCOSOPARADY Gincarlos, 高見淳史, 原田昇: 地方都市におけるライドシェアのマッチング成立可能性と効果に関する研究—群馬県パーソントリップ調査データを用いた分析—, 交通工学論文集, Vol.5, No.2, A_108-A_117, 2019
- 5) 古澤悠吾, 溝上章志, 森俊勝, 八戸龍馬: 完全自動運転カーシェアサービスの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集, Vol.76, No.2, I168-179, 2020