

第IV部門

車庫配置変数を含むライドシェアリングシステムの運行最適化モデル

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

1. 研究背景・目的

近年, 新たな交通サービスとして, 自動運転車両によるライドシェアリングシステムが注目されている. 愛甲ら¹⁾は整数線形計画問題として定式化しており, 社会コストを最小化する利用者移動と車両運行スケジュールを求めることができる. 中村ら²⁾は予約受付率と実車率を目的関数とする多目的車庫配置計画問題として定式化している.

本研究の目的は, 既往研究^{1), 2)}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である. さらに, 数値計算では解集合の限定法を提案する.

2. 最適化モデル

2.1 定式化

本研究では中村ら²⁾に従って車庫配置の変数を導入し, 愛甲ら¹⁾が提案している社会コストに対して, 利用者の待ち時間, 車両の回送時間を追加する. 本研究の最適化モデルは式(1), (2)のように記述される.

【目的関数】

$$\begin{aligned}
 f = & \alpha_1 \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ij} y_{ijtt'}^r + \alpha_2 \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \sum_{i \in G} \gamma_1 c_{ii} y_{iitt'}^r \\
 & + \beta_1 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \gamma_2 c_{ij} x_{ijtt'}^k \delta_{ijtt'}^k + \beta_2 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \gamma_2 c_{ii} x_{iitt'}^k \\
 & + \beta_3 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \neq i | j \in G} \sum_{i \in G} \sum_{p \in S} \gamma_2 c_{ij} x_{ijtt'}^k z_k^p (1 - \delta_{ijtt'}^k) \\
 & + \beta_4 \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \sum_{j \in N} \sum_{p \in S} \gamma_3 x_{pjtt'}^k z_k^p
 \end{aligned} \quad (1)$$

where

$$\delta_{ijtt'}^k = \min \left[\left(\sum_{r \in R} x_{ijtt'}^k \cdot y_{ijtt'}^r \right), 1 \right] \quad (2)$$

$x_{ijtt'}^k$: 車両 k が時刻 t , ノード $i \rightarrow j$ 移動のとき 1,
 $y_{ijtt'}^r$: 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

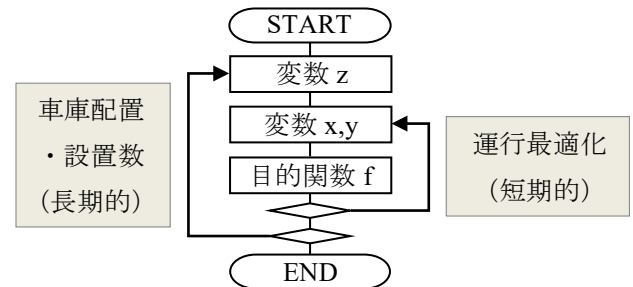


図-1 求解の概略フロー

目的関数は第1項から順に①利用者移動時間, ②利用者待ち時間, ③実車時の車両走行時間, ④車両のノード滞在時間, ⑤車両回送時間, ⑥業務車両台数を表している. このうち②と⑤が今回追加した社会コスト要素である. 決定変数 x, y, z は 0-1 変数である.

2.2 求解方法

求解の概略フローは図-1のように車庫変数 z の長期的ループ, 車両運行スケジュール x と利用者移動 y の短期的ループで構成される.

本研究の最適化モデルは組み合わせ最適化問題であり, NP 困難問題に属する. そのため, 数値計算ではモデルの定式化に重点を置き, Python によって小規模な総当たり法で解くこととする.

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. また解集合の限定の有無による結果を比較し, その有用性について検討する.

3.2 交通ネットワークとシナリオ

簡易計算用の交通ネットワークを図-2に示す. ノード間の所要時間が $2T_s$ (T_s : タイムステップ) 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. 中間ノードでは滞在及びUターンは不可とする.

利用者のアクティビティパターンについては利用者の人数と移動スケジュール情報を設定する(図-3).

表-1 車両運行スケジュール行列

$x_{ijtt'}^k$	i	1			2			3			4			M_1	2	4	P_1			
	j	1	2	M_1	1	2	3	2	3	4	3	4	M_1	1	4	$\frac{3}{P_1}$	$\frac{3}{P_1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{4}$	P_1
$Time$ (t,t')	0,1																			1
	1,2																			1
	2,3																	1		
	3,4				1															
	4,5		1																	
	5,6														1					

表-2 利用者移動スケジュール行列

$y_{ijtt'}^r$	i	1				2				3				4				M_i
	j	1	2	M_i	1	2	3	2	3	4	3	4	M_i	1	4	M_i	1	4
Time (t, t')	0,1																	
	1,2					1												
	2,3						1											
	3,4									1								
	4,5										1							
	5,6											1						

表-3 実行時間の比較

条件設定	解候補の組合わせ数 [実行時間]	最適解 [実行時間]
6TS, 3人, 3台(限定有)	3, 376 [103 sec]	[33.2sec]
6TS, 3人, 3台(限定無)	7, 732 [2443sec]	[77.1sec]

3.3 スケジュール行列

車両の運行と利用者の移動を表現するために、行列を用いる。車両 k 、利用者 r に対して与えられる決定変数 $x_{ijtt'}^k$, $y_{ijtt'}^r$ の集合を1つの行列表で表現しており、それぞれ車両運行スケジュール行列(表-1)、利用者移動スケジュール行列(表-2)と呼ぶ。行列表の縦軸は時刻、横軸はノード間の移動を表している。つまり、1行列要素で時刻 t 、ノード $i \rightarrow j$ の移動を表現しており、移動するときに1、それ以外は0(省略)の値をとる。

3.4 求解フローと解集合の限定

まず、任意の車庫配置での車両運行と利用者移動について各制約条件(車両：車庫から出発し車庫に戻る・移動の連続条件、利用者：時間制約・出発地と到着地ノード・移動の連続条件)を満たすものをスケジュール行列に出力する(それぞれ行列 K , R とする)。

次に、行列 R を参照し新たな制約条件を設けることで車両の解集合(行列 K)の限定を行う。具体的には起こりうるすべての利用者移動に対して一度も利用者を乗車させる可能性のない無意味な運行を解集合から除外する。そして、行列 R と限定後の行列 K を用いて最適化計算を実行する。

3.5 数値計算結果

数値計算例の結果を時空間ダイヤグラム上に整理する(図-4)。また解集合の限定の有無による実行時間の

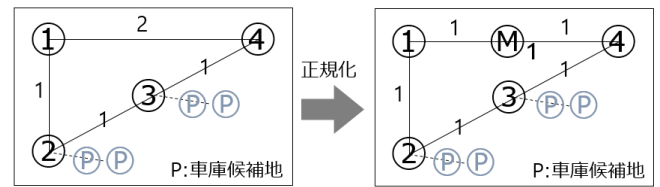


図-2 交通ネットワーク

		Time						
No.		0	1	2	3	4	5	6
r_1				④		①		
r_2			②		③			
r_3				②		④		

図-3 利用者のアクティビティパターン

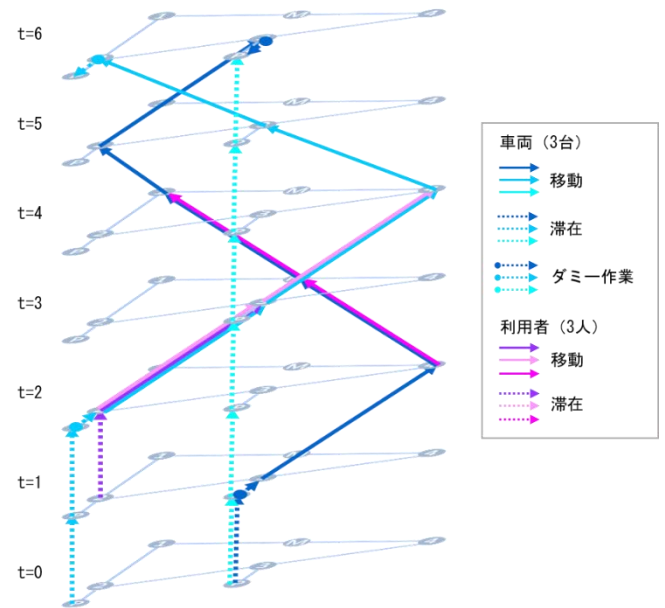


図-4 時空間ダイヤグラム例

比較結果を表-3に示す。解集合の限定を用いることで解候補列挙の実行時間は約1/25に削減された。

4. おわりに

本研究では最適な車庫配置と運行スケジュールを決定するモデルを構築した。数値計算では解集合の限定を提案し、有効に機能していることが確認された。

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、現実世界を反映した詳細な交通ネットワークとシナリオで数値計算を行い、導入可能性について検討していくことが課題である。

参考文献

- 1) 愛甲 聡美, THAITHATKUL Phathinan, 瀬尾 亨, 朝倉 康夫: アクティビティパターンを与件としたシェアリング車両の最適割り当て問題, 土木学会論文集, Vol.73, No.5, I_1233-1242, 2017.
- 2) 中村 謙太, 溝上 章志, 橋本 淳也: ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性と最適ステーション配置, 土木学会論文集, Vol.73, No.3, 135-147, 2017.