

熊本都市圏における自動運転車専用レーンの効果的運用に関する研究

熊本大学 学生会員 ○橋本 直樹, 正会員 安藤 宏恵, 正会員 柿本 竜治

1. はじめに

近年の自動運転技術の発展により、数年以内に自動運転車両による移動が一般化されることが予想される。自動運転車の普及は、移動時間に対する時間価値の変化等、既存の交通状況、日常生活の行動を大きく変える可能性が高い。しかしながら、自動運転車の普及率はいくつかの段階をもって向上するため、普通車との共存も考える必要がある。自動運転車と普通車が混在する状況のもと、自動運転車の導入効果を高めるための道路整備は非常に重要であるといえる。自動運転者専用レーン設置は、安全性の確保とともに高密度での走行を可能とし、より円滑な交通流を実現することで、効率的な交通運用に貢献することができる。

本研究では、実用性の観点を踏まえて連続的な自動運転車専用レーンの最適配置を混合整数線形計画問題により求める。さらに、本モデルを用いて熊本都市圏道路網における効果的な自動運転車専用レーン導入時間帯について検証する。

2. 自動運転車専用レーン最適配置モデル¹⁾

専用レーン設置のデザイン二値変数を求めるためのデザインネットワークを図-1に示す。通常リンクに加えて、全てのノードから原点出発地ノードと最終目的地ノードに接続するダミーリンク(点線)を持ち、デザイン変数のフローは必ず原点出発地ノードから最終目的地ノードを接続する。デザインネットワークにおいて式(4)に示すデザイン変数のフロー保存則を与えることによって専用レーンの連続性を担保する。本モデルではリンク容量制約のもとで普通車と自動運転車の総走行距離を最小化する自動運転車専用レーン配置を求め、専用レーンを持つリンクから構成されるデザイン

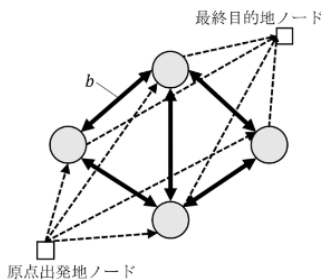


図-1 専用レーンデザインフローのためのネットワーク

路線を設計する。式(1)に総走行距離を最小化する目的関数を、式(2)~(14)に制約条件を示す。

$$\min_{y, x^A, x^H, \mu} \sum_{e \in E} \sum_{o \in O} \gamma_e x_{oe}^H + \sum_{e \in E} \sum_{o \in O} \gamma_e x_{oe}^A \quad (1)$$

$$\sum_{e \in In(n)} x_{oe}^H - \sum_{e \in Out(n)} x_{oe}^H = \begin{cases} -\sum_{d \in D} v_{od}^H & \text{if } n = o \\ v_{od}^H & \text{if } n \in D \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{e \in In(n)} x_{oe}^A - \sum_{e \in Out(n)} x_{oe}^A = \begin{cases} -\sum_{d \in D} v_{od}^A & \text{if } n = o \\ v_{od}^A & \text{if } n \in D \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\forall n \in N, o \in O$$

$$\sum_{b \in In(n)} \gamma_{kb} - \sum_{b \in Out(n)} \gamma_{kb} = \begin{cases} -1 & \text{if } n = s \\ 1 & \text{if } n = t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\forall n \in N, k \in K$$

$$x_{oe}^H + x_{oe}^A \leq (1 - \alpha \sum_{k \in K} \gamma_{kb(e)}) c_e + \beta \sum_{k \in K} \gamma_{kb(e)} c_e \quad (5)$$

$$\forall e \in E$$

$$x_{oe}^H \leq (1 - \alpha \sum_{k \in K} \gamma_{kb(e)}) c_e, \forall e \in E \quad (6)$$

$$\sum_{b \in B} \mu_{kb} \geq \lambda, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{b \in In(n)} \mu_{kb} - \theta_{kn} = 0, \forall n \in N - s \quad (8)$$

$$\mu_{kb} \leq |N| \mu_{kb}, \forall b \in B, k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{b \in Out(s)} \mu_{kb} - \sum_{n \in N - s} \theta_{kn} = 0, \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{b \in In(n)} \mu_{kb} - \sum_{b \in Out(n)} \mu_{kb} = \theta_{kn} \quad (11)$$

$$\forall n \in N - s, k \in K$$

$$\theta_{ks} = 1 \quad (12)$$

$$\gamma_{kb}, \theta_{kn} = \{0, 1\} \quad (13)$$

$$x_{oe}^H, x_{oe}^A \geq 0 \quad (14)$$

ただし、

E : フローネットワークのリンク集合。その要素は $e \in E$

B : デザインネットワークリンク集合。その要素は $b \in B$ 。ただし、 $b(e)$ と示すときには、フローネットワークのリンク $e = (i, j)$ と同一のノードペアを接続するデザインリンクを指すものとする。

N : ノードの集合

K : 自動運転車専用レーンの路線集合

O : 出発地ノードの集合。ただし、 $o \in O \subseteq N$

D : 到着地ノードの集合。ただし、 $d \in D \subseteq N$

x_{oe}^A : o を起点とする自動運転車(Automated)のリンク e における交通量

x_{oe}^H : o を起点とする手動運転車(Human-driving)のリンク e における交通量

c_e : リンク e の交通容量

γ_{kb} : 専用レーン路線 k , リンク b のデザイン変数

- θ_{kn} : 専用レーン路線 k がノード n を經由するならば 1, そうでなければ 0 をとる到達ノード変数
- μ_{kb} : 補助フローを示す変数
- γ_e : リンク e の長さ
- λ : 自動運転車専用レーンの持続距離上限値
- s : 専用レーンデザインフローの仮想出発地ノード
- t : 専用レーンデザインフローの最終目的地ノード
- v_{od}^A : ノードペア (o, d) の自動運転車における OD 交通量. $o \in O, d \in D$
- v_{od}^M : ノードペア (o, d) の手動運転車における OD 交通量. $o \in O, d \in D$
- τ_e : リンク e の所要時間
- $In(n)$: ノード n に流入するリンクの集合
- $Out(n)$: ノード n から流出するリンクの集合
- α : 自動運転車専用指定による混在レーン容量減少パラメータ
- β : 自動運転車専用指定による専用レーン容量増加パラメータ

4. 熊本市圏の実道路ネットワークへの適用

4.1 使用する道路ネットワークと OD 情報

熊本市圏を対象に主要道路以上の道路ネットワーク, OD データは PT 調査の手段別トリップ(タクシー, ハイヤー, 乗用車, 軽乗用車, 貨物自動車, 軽貨物車)を使用する. リンク数は 858(双方向), ノード数は 291, セントロイド数は 129 となっており, 図-2 に時間帯ごとのトリップ数を示す.

4.2 自動運転車専用レーンの最適配置

自動運転車の普及率が進んだ状態(シェア率75%)を想定し, 各条件における試算の結果を示す. パラメータ設定は $\beta = 2.0$, 専用レーン設置車線はどのリンクにおいても1車線とする. そのため片側1車線道路に専用レーンが設置される場合は自動運転車のみ走行可能なリンクとなる. 時間帯による専用レーン導入効果の違いを検証するため, どの時間帯も専用レーンを設置しない場合(case1), 一日を通して専用レーンを設置した場合(case2), 7-8時及び17-18時において専用レーンを設置した場合(case3)において数値計算を行った結果を表-1に示す. なお, 目的関数が最小となるデザイン路線数 k における結果を最適解とする.

表-1より, 専用レーンを設置した場合においてcase3はcase2に比較して総走行距離の値が大幅に減少しており, 自動運転車専用レーンは日単位で設置するよりも時間帯別トリップ数が多い時間帯に限定して設置した方がより大きな効果を生むことが分かった. また, case3

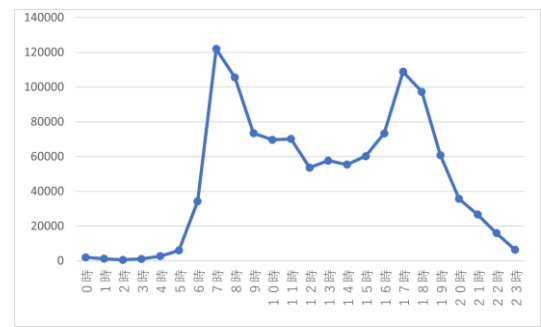


図-2 時間帯別トリップ数

表-1 各ケースにおける数値計算の結果

ケース (最小目的関数をとるデザイン路線数)	総走行距離	case1を基準としたときの減少率
case1	5414437407	-
case2(k=1,2,3)	5414435112	4.24×10^{-5}
case3(k=4)	5401374943	2.41×10^{-3}

ではデザイン路線数 k が1から4までは設置の数を増やすたびに総走行距離が減少しており, 自動運転車専用レーン設置の効果が現れているが, 5本を超えると普通車の迂回により総走行距離がかえって増加することが読み取れた. これより, case3の条件における効果的な専用レーンの設置は路線数4本までであることがわかった.

5. おわりに

本研究の分析により, 自動運転車の普及が進んだ状況において, 総走行距離を最小とする専用レーン配置では交通量の多い時間帯に限定して設置した方がより大きな効果を生むことが分かった. しかし, 自動運転車の普及率は段階的に向上していくことを考慮する必要がある. よって, 今後の課題としては, 交通量の多い時間帯に限定して専用レーンを設置することを前提にし, 普及率が向上した場合の各シェア率における設置される専用レーンの出現傾向及び専用レーン運用方法についての分析を進める. また, 数値計算によって得られた最適解と, シミュレーションモデルによる実道路網での交通行動の比較を行い, より現実的な専用レーンの運用について考える.

参考文献

- Hiroe Ando, Satoshi Sugiura, Optimal Design of continuous autonomous vehicle lanes by link capacity allocation, The 26th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 2022.