

交差・合流を回避した総移動距離最小化問題

2017SS073 高木寛之

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

アウトレットなどの大型ショッピングモールでは、駐車場が大きくなるほど交差点ごとにその都度、停止・左右確認をする必要が増え、ストレスを感じる人が多いと考えられる。解決方法として駐車場入口ゲートで空き駐車スペースをあらかじめ割り当てることが考えられるが、さらに経路も指示することにより、複数の自動車の交差や合流を回避させることができ、駐車場内の事故も大きく減らすことができる考えた。

本研究はまず数理計画問題を用いて交差・合流がない複数の自動車の経路の組み合わせを求める方法を提案する。次に駐車場モデルを用いて自動車経路の総移動距離と同時に走行する自動車台数との関係を分析し、よりよい経路の割り当てとはどのようなものかを考察する。

三浦・鈴木 [1] は、稠密な格子状交通網と放射環状交通網の都市での経路についての流動量と交差の密度分布を求めている。また、三浦・柏木 [2] は、経路の交差と合流を計算前にあらかじめ判定しておく必要があったが、本研究では変数と制約式を用いて表現して経路の交差と合流の禁止制約を内生化した。

2 モデル

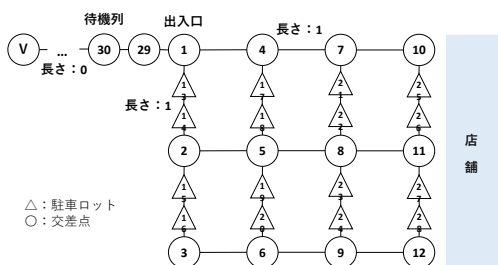


図1 駐車場モデル

実験では図2のような駐車場内の枝の長さが1, 出入口に連なる待機列のノードとノードをつなぐ枝の長さを0, ノードとノードの間に駐車ロットを追加した3×4のモデルを使う。出入口ノードに待機列を作ることで、連続して駐車場に入っていく車の移動を表現した。実際の移動はリンク内が始点または終点なので、ノード間に駐車ロットを作ることで表現した。また店の近くに停めたい人が多いので、店舗の位置も決めた。道路網のノード, リンク, 移動需要, 進行方向を表す集合の記号を以下のように定義する。

V : ノードの集合

E : 有向枝の集合

$G = (V, E)$: 道路ネットワークの集合

K : 移動の起点ノードと終点ノードのペアの集合

O_k : 移動 k の出発ノード

D_k : 移動 k の到着ノード

d_{ij} : 始点 i , 終点 j の有向枝の長さ

$E_{(i,j)}$: 枝 (i, j) を基準とするノード j を始点または終点とする枝の方向の集合

$= \{b(\text{枝}(i, j) \text{の逆向きの枝}), t(\text{枝}(i, j) \text{の直進枝}), f(\text{枝}(i, j) \text{の直進枝の逆向きの枝}), l_{out}(\text{枝}(i, j) \text{左折枝}), l_{in}(\text{枝}(i, j) \text{の左折枝の逆向きの枝}), r_{out}(\text{枝}(i, j) \text{の右折枝}), r_{in}(\text{枝}(i, j) \text{の右折枝の逆向きの枝})\} ((i, j) \in E)$ (図2)

C : ある枝から見た相対的な枝の位置の集合

$= \{t(\text{直進枝}), f(\text{直進枝の逆向きの枝}), b(\text{逆向きの枝}), l_{out}(\text{左折枝}), l_{in}(\text{左折枝の逆向きの枝}), r_{out}(\text{右折枝}), r_{in}(\text{右折枝の逆向きの枝})\}$

個々の移動経路を表すために移動 ($k \in K$) が通る有向枝を表す変数を導入して以下を定義する。これによって個々の移動経路, ノードごとの移動可能なノードについての制約を作ることができる。図2は有向枝に対しての相対的な方向と移動の変数を表している。

x_{ijk} : 移動 k が枝 (i, j) を通るなら1, その他0となる変数

$x_{ijk}^{(c)}$: 移動 k が枝 (i, j) を基準とする方向 c の枝を通るなら1, その他0となる変数 ($c \in C$) (図2)

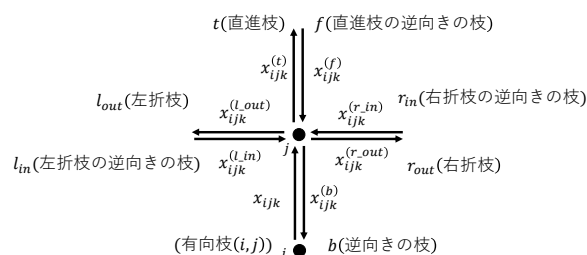


図2 枝 (i, j) を基準とするノード j を始点または終点とする枝の方向と移動 k が通る有向枝を表す変数に対応する有向枝

交差・合流は交差点で発生することとして、以下のように定義する。

- ・交差：二つの異なる方向から交差点に入り、異なる方向へ出ていく (図3)
- ・合流：二つの異なる方向から交差点に入り、同じ方向へ出ていく (図3)

表1をみると実際に制約の必要な移動方法はノード一つ当

たり 14 個である。これは禁止するのが交差点内でどちらかが止まる必要のある移動だからである。

表 1 交差点における二つの経路の交差・合流

下から	正面から	左から	右から
	直進 左折 右折	直進 左折 右折	直進 左折 右折
直進 ↑		交差	合流
左折 ↙		合流	合流
右折 ↘	交差	合流	交差

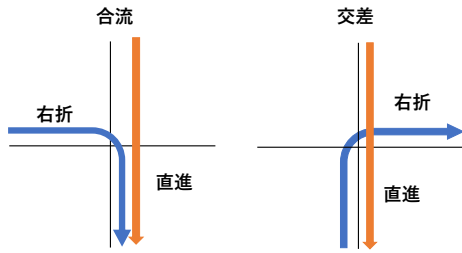


図 3 経路交差合流の定義

3 交差・合流回避制約付き総移動距離最小化問題 (数理計画問題)

ネットワーク内を通行する複数の移動について考える。これらがネットワークの頂点で交差・合流もしない制約の下で移動距離合計が最小となる総移動距離を求める問題である。

$$\text{minimize } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} x_{ijk}$$

s. t.

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = 1 (k \in K, i = O_k)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = -1 (k \in K, i = D_k)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = 0 (k \in K, i \neq O_k, i \neq D_k)$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(f)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(l-in)} + x_{ijk'}^{(t)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(l-in)} + x_{ijk'}^{(b)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(l-in)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(r-in)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(t)} + x_{ijk'}^{(r-in)} + x_{ijk'}^{(t)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(l-out)} + x_{ijk'}^{(f)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(l-out)} + x_{ijk'}^{(r-in)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(f)} + x_{ijk'}^{(b)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(f)} + x_{ijk'}^{(r-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(l-in)} + x_{ijk'}^{(r-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(l-in)} + x_{ijk'}^{(b)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(r-in)} + x_{ijk'}^{(l-out)} \leq 3$$

$$x_{ijk} + x_{ijk}^{(r-out)} + x_{ijk'}^{(r-in)} + x_{ijk'}^{(t)} \leq 3$$

$$((i, j) \in E, k \in K, k' \in K, k \neq k')$$

$$x_{ijk}, x_{ijk}^{(b)}, x_{ijk}^{(t)}, x_{ijk}^{(f)}$$

$$x_{ijk}^{(l-out)}, x_{ijk}^{(l-in)}, x_{ijk}^{(r-out)}, x_{ijk}^{(r-in)} \in \{0, 1\}$$

4 結果と考察

実験では、混雑時の駐車場がほとんど満車の状態で、新しく駐車場に入ってくる移動が 50% の状態と、新しく入ってくる移動が 80% の状態を考えていく。移動需要一つあたりの平均移動距離を計算し、その平均移動距離をとる。

結果は図 4 のようになった。縦軸は増加量、横軸は駐車場内の移動需要の数を表している。結果から、新しく駐車場に入ってくる車が 50% のときは移動需要の数が増えるほど迂回する距離が増える。20 台以降で増加量が変わらないのは、出発地点の同じ移動需要が同じ経路を使用しているためである。一方で新しく駐車場に入ってくる車が 80% のときは移動需要の数が増えると迂回する距離も増えてはいるが、5% 程度なので新しく駐車場に入ってくる移動需要の数は経路の交差・合流にはあまり関係しないことがわかる。

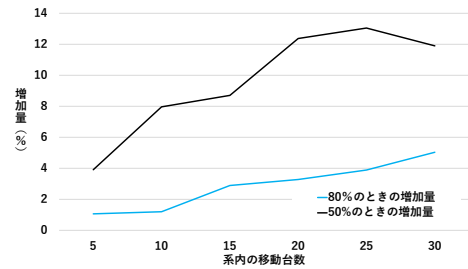


図 4 結果

5 おわりに

この交差・合流を回避することは避難誘導計画などの緊急時に人を誘導する必要のある問題に應用できる。

参考文献

- [1] 鈴木 勉, 三浦 英俊: 都市内の移動経路と流動量密度・交差密度の空間分布. 都市計画論文集 51(3) (2016), 909-914
- [2] 三浦 英俊, 柏木 伸哉: 格子状道路網における交差・合流を考慮した自動車の経路の割り当て. 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 62 (2019), 54-70