デリバリーサービスにおける配達員の割り当てと配達順の最適化問題

2019SS065 太田尚志

指導教員：小市俊悟

1　はじめに

コロナ禍で需要が増している食品のデリバリーサービスに対して, 限りある配達員で対応するためには経路と担当を効率的に決める必要がある．本研究では, 注文した客に配達員を割り当てることと配達順（配達経路）を一つの整数計画問題として解くことで同時に求める手法（手法１）と, 複数の客をクラスタリングし, いくつかのクラスタに分けた後に, それぞれのクラスタについて平均的な配達員を想定した配達経路を巡回セールス問題を用いて求め, 最後に配達員の速さを考慮して配達員を割り当てる手法 (手法２) を提案する.

2　割り当てと配達経路の同時最適化

手法１では, 配達員の客（注文）への割り当てと割り当てられた客を回る配達経路を次の整数計画問題を解くことで同時に最適化する.

2.1　記号の定義

I　: 客の集合

I_0　: 店０と客の集合 ($I_0 = I \cup \{0\}$)

J　: 配達員の集合

T_{jkl}　: 配達員 j が客 k から l に移動するまでの時間

M　: 十分大きな値

2.2　変数の定義

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{注文 } i \text{ を配達員 } j \text{ に割り当てるとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (i \in I_0, j \in J)$$

$$y_{jkl} = \begin{cases} 1 & (\text{配達員 } j \text{ が客 } k \text{ から客 } l \text{ に移動するとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (k, l \in I_0, j \in J)$$

$$r_{jkl} = (\text{配達員 } j \text{ の配達経路において, 客 } k \text{ から客 } l \text{ への移動が発生するときの順番, ただし未発生の時 } 0) \quad (k, l \in I_0, j \in J)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & (\text{配達員 } j \text{ に担当があるとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (j \in J)$$

$$t_i = (\text{客 } i \text{ への配達時刻.ある時点から起算し, 客 } i \text{ への配達を終了するまでの経過時間} \quad (i \in I_0)$$

2.3　目的関数

次の目的関数の第一項は配達経路の総移動時間, 第二項は客への配達時刻の和である．経路は短い方が効率的であり, さらに客への配達も早い方がよいことを想定し, これを最小化する.

$$\sum_{j \in J, k, l \in I_0} T_{jkl}\, y_{jkl} + \sum_{i \in I} t_i \tag{1}$$

2.4　制約式

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \qquad (i \in I_0) \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \le M z_j \qquad (j \in J) \tag{3}$$

$$z_j \le \sum_{i \in I} x_{ij} \qquad (j \in J) \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} y_{jkl} \le 1 \qquad (k, l \in I_0) \tag{5}$$

$$z_j \le \sum_{l \in I} y_{j0l} \qquad (j \in J) \tag{6}$$

$$\sum_{l \in I_0} y_{jkl} = \sum_{l \in I_0} y_{jlk} \qquad (j \in J, k \in I_0) \tag{7}$$

$$\sum_{k \in I} y_{jk0} \le 1 \qquad (j \in J) \tag{8}$$

$$r_{jkl} \le M y_{jkl} \qquad (j \in J, k, l \in I_0) \tag{9}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij_1} - \sum_{i \in I} x_{ij_2} \le 3 \qquad (j_1, j_2 \in J) \tag{10}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij_2} - \sum_{i \in I} x_{ij_1} \le 3 \qquad (j_1, j_2 \in J) \tag{11}$$

$$\sum_{l \in I_0} r_{jkl} - \sum_{l \in I_0} r_{jlk} = x_{kj} \qquad (j \in J, k \in I) \tag{12}$$

$$\sum_{k \in I} r_{j0k} = z_j \qquad (j \in J) \tag{13}$$

$$\sum_{k \in I} r_{jk0} = \sum_{i \in I} x_{ij} + z_j \quad (j \in J) \tag{14}$$

$$\sum_{k \in I} y_{jik} \le x_{ij} \qquad (i \in I, j \in J) \tag{15}$$

$$\sum_{k \in I} y_{jki} \le x_{ij} \qquad (i \in I, j \in J) \tag{16}$$

$$\sum_{j \in J} T_{jkl} y_{jkl} - M(1 - \sum_{j \in J} y_{jkl}) \le t_l - t_k \qquad (k \in I_0, l \in I) \tag{17}$$

(2) 式：全ての注文 (客) は過不足なく配達員に割り当てる

(3)(4) 式：割り当てがあるなら $z_j = 1$ なければ $z_j = 0$

(5) 式：客 k から客 l の移動は一人だけ

(6) 式：配達員 j は割り当たっているなら店を出発する

(7) 式：配達したら移動する

(8)(9) 式：配達員 j が担当するのは多くても１経路のみ

(10)(11) 式：配達員間の担当数の差が３以下

(12) 式：i に入ってくる番号と i に入る番号は x_{ij} だけ異

なる
(13) 式：店からの移動が z_j 番目
(14) 式：店への戻りは $\sum_{i\in I} x_{ij} + z_j$ 番目
(15)(16) 式：担当でないところには配達しない
(17) 式：客 k から客 l への移動がある時 t_lは t_kに 客 k から客 l への移動時間を加えたもの以上

3 段階的解法

手法２は段階的方法であり, 客を客間の距離に基づいてクラスタリングした後, 各クラスタについて最適な配達経路を求め, さらに配達員の速さを考慮して配達員の担当割り当てを行う．このうち, 経路設計には巡回セールスマン問題の手法を用いる．その際, 所要時間の計算には配達員の平均的な速さを用いる．担当の割り当ては, 配達員の相対的な速さから担当した場合の所要時間を導出し, それを割り当てコストとして割り当て問題を解くことで決定する．そこで, この要旨では, クラスタリングのみを説明する．

3.1 客のクラスタリング

客のクラスタリングも整数計画問題を利用する [1].

3.2 記号の定義

I ：客の集合

B ：種点候補の集合

b ：種点の個数

α ：各クラスタにおける種点までの距離の総和のばらつき具合を調整する定数

T_{kl} ：客 k から種点 l までの距離

M ：十分大きな値

3.3 変数の定義

$$w_{ik} = \begin{cases} 1 & (\text{客 } i \text{ を種点 } k \text{ に割り当てるとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \qquad (i \in I, k \in B) \end{cases}$$

$$v_l = \begin{cases} 1 & (\text{候補ノード } l \text{ を種点にする}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \qquad (l \in B)$$

3.4 目的関数

目的関数は, 各客を種点のいずれかに割り当てたとき, その種点までの距離の総和である．これを最小化する．

$$\sum_{i\in I, k\in B} T_{ik}\ w_{ik} \tag{18}$$

3.5 制約式

$$\sum_{k\in B} w_{ik} = 1 \qquad (i \in I) \tag{19}$$

$$v_k \geq w_{ik} \qquad (i \in I, k \in B) \tag{20}$$

$$\sum_{l\in B} v_l = b \tag{21}$$

$$\sum_{i\in I} T_{ik}\ w_{ik} \leq \alpha \sum_{i\in I} T_{il}\ w_{il} + M(1 - v_l) \qquad (k, l \in B) \tag{22}$$

(19) 式：各注文に対して一つの種点が割り当てられる
(20) 式：客 i を候補ノードに割り当てるために, w_{ik} が 1 なら v_k は種点となるので 1
(21) 式：種点の数を b 個にする
(22) 式：クラスタごとの距離の差が α 倍以内

4 結果と考察

計算実験には gurobi 9.5.1 を用いた．手法 2 のクラスタリングで指定する種点の数は配達員の数と同数とした．

4.1 配達経路

手法１では遅い配達員が全く配達しないことも想定できるが, 実際, そのような解を得た．一方, 手法２では種点の数を配達員の人数に合わせたこともあり, 配達員を余すことなく注文に割り当てている．

4.2 計算速度と最適値

配達員の人数と注文の数を変化させたとき, 得られた経路の総移動時間を表 1 と表 2 に示す． 手法１では手法２より総移動時間の意味で効率的な配達計画が立てられているが, 配達員と注文の数が増えるほど計算時間が大幅に増加するので, その場合はあまり実用的ではない．注文数がそれほど多くないことが想定されるなら, 手法 1 を用いることで手法２より最適な解を得ることが期待できる．一方, 手法２では配達員と注文の数が増えても問題なく計算することができた．客数が 30 でも, 計算時間は 30 秒ほどである．ただし, 得られる経路の最良性は手法１より劣るようである．

表 1 手法１で得られた配達員の総移動時間

注文数 / 配達員数	6	7	8
5 人	69.2	87.1	97.3
6 人	63.1	79.5	94.4
7 人	51.9	71.9	85.5

表 2 手法２で得られた配達員の総移動時間

注文数 / 配達員数	6	7	8
5 人	79.6	88.5	105.3
6 人	72.4	82.3	101.3
7 人	65.8	86.8	92.7

5 おわりに

手法１と２を提案し, それらの長所と短所を示すことができた. 客数はあらかじめ与えられるものであるので, それに応じて使い分けることもできると考えられる．

参考文献

[1] 林竜也, 肥田照久,『運搬経路の最適化を考慮した店舗のクラスタリング』, 南山大学 2018 年度卒業論文