

運転再開計画最適化と マルチエージェントシミュレーションによる運転再開ルールの有効性評価

樋野葉子[†] 荒井幸代[†]千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻[†]

1. はじめに

2011 年の東日本大震災では首都圏の主要路線の運休により、駅や駅周辺は帰路を断たれた鉄道利用客で溢れる、いわゆる帰宅困難者問題が表面化した。この通り天災によって、電車が運休し、利用客が滞留することは回避できない。しかし、この状況において、一部区間で運転を再開すると、利用客が殺到し、駅の滞留者数が施設容量を超え、安全確保できないために、再度運転を見合わせる事態を招いた。これは、復旧直後の運転再開は混雑を深刻化する、人災を起こす可能性があり、災害時における運転再開計画の重要性を示している。

そこで、筆者らは滞留者数が駅の施設容量を超えないための運転再開計画決定法を提案する。具体的には、組合せ最適化手法のひとつである遺伝的アルゴリズムを用いて、駅の施設容量オーバーを最小化する運転再開計画を求める。

2. 鉄道ネットワークモデル

2.1 対象ネットワーク

Figure 1 に対象とするネットワークを示す。各ノードとリンクは駅と路線を表し、リンク上の数値はリンクコスト(区間通過に要する時間[分])を示す。駅の集合を $S = \{s_i \mid 1 \leq i \leq 4\}$ ($i \in \mathbb{Z}$)、各駅の施設容量の集合を $C = \{c_i \mid 1 \leq i \leq 4\}$ ($i \in \mathbb{Z}$) と表す。

2.2 モデリング

● 電車

電車は Figure 1 に示す 4 種で、集合 $V = \{v_j \mid 1 \leq j \leq 4\}$ ($j \in \mathbb{Z}$) と表し、電車 v_1 は右回り ($s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow s_4 \rightarrow s_1, \dots$)、電車 v_2 は左回り ($s_1 \rightarrow s_4 \rightarrow s_3 \rightarrow s_2 \rightarrow s_1, \dots$)、電車 v_3 は下り ($s_1 \rightarrow s_3, \dots$)、電車 v_4 は上り ($s_3 \rightarrow s_1, \dots$) と各進行方向は異なる。

● 利用客

利用客の集合は $P = \{p_k \mid 1 \leq k \leq n\}$ ($k \in \mathbb{Z}$) とし、利用客 p_k はそれぞれ出発駅 Origin(以下 O) と

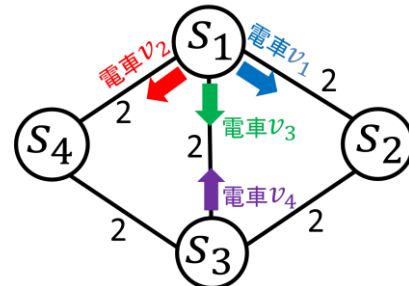


図1 対象ネットワーク

目標駅 Destination(以下 D)を持つ。OD に従い、利用客 p_k は Dijkstra 法より求めた最短経路上を移動する。時刻 t において各駅の中に滞留している駅内滞留者数 $n_i(t)$ は式(1)より推定する。

$$n_i(t) = H_i^{in}(t) + H_i^{pass}(t) + H_i^{transfer}(t) + H_i^{out}(t) \quad (1)$$

H_i^{in} : 出発駅である駅 s_i に入った利用客数[人]

H_i^{pass} : 出発駅である駅 s_i に入った利用客数[人]

$H_i^{transfer}$: 乗換のため駅 s_i で電車を待つ利用客数[人]

H_i^{out} : 目標駅である駅 s_i で降車する利用客数[人]

利用客は駅内滞留者数が駅の施設容量を超えない場合、駅に入ることができる。また、出発駅へ入った後は、最短経路上の乗るべき電車が到着し、最大乗車可能人数を超えていなければ乗ることができる。以下の操作を繰り返し目標駅まで移動する。

2.3 駅の施設容量 c 決定

駅 s_i の施設容量 c_i はシミュレーション実験により決定する。具体的に、平常時の通勤ラッシュを想定し、全利用客が最短経路上を移動する実験をおこなう。実験結果より得られた、各駅の駅内滞留者数の最大値 n_i^{max} をそれぞれの駅の最大収容人数 c_i とする。同様に、実験結果から得られた最大乗車人数を最大乗車可能人数とし、以後用いる。

3. 提案手法：運転再開計画最適化

滞留者数が駅の施設容量を超えないための災害時の運転再開計画決定法を提案する。

3.1 評価関数

評価関数を式(2)とし、運転再開によって各駅の施設容量を超過した合計時間を最小化する。この目的のもと、組合せ最適化問題として運転再開計画を求める。

$$\min. f(x) = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=0}^T (n_i(t) - c_i) \quad (2)$$

T : 全利用客が移動終了した時刻[分]

3.2 遺伝子表現

各電車 v_j の出発時刻を求める変数とする。災害発生後、すべての電車 v_j が走行可能となった復旧時刻を $t = 100$ とし、利用客の乗降を含めた各駅での停車時間を $dwell = 2[\text{min.}]$ 、前の電車と後続の電車の最低出発間隔を $min = 10[\text{min.}]$ 、各区間 $[s_i, s_{i+1}]$ の移動に要する時間 $e_{i,i+1}[\text{min.}]$ を用いて運行計画を作成する。求める出発時刻は各電車 v_j が復旧時刻の x_j 分後に運転再開するのかを遺伝子表現とし求め、最適な変数の組合せを得る。また、出発時刻は、各路線を走る電車の復旧後 2 本目まで求める。

2 本目の電車は、1 本目の電車が発車した x_j 分後に出発するかを求める。

したがって、遺伝子型は以下のように表現する。

$$X = (x_1, x_{1'}, x_2, x_{2'}, x_3, x_{3'}, x_4, x_{4'})$$

変数の値域はそれぞれ $0 \leq x_j \leq 30$ とする。

運転再開後 3 本目以降の電車は、2 本目の電車が始発駅を発車した後、最低運行間隔 min をあけて、順次発車する。

3.3 アルゴリズム

はじめに、各個体における変数の組をそれぞれランダムに決定し、初期運転再開計画を作成する。初期運転再開計画を所与とし、利用客の移動シミュレーションをおこなう。次に、シミュレーション結果より、運転再開による駅の容量オーバー[分]を推定し、適応度を算出する。得られた適応度をもって、選択・交叉・突然変異の操作をおこなう。選択操作は、エリート保存戦略とトーナメント戦略を用いる。エリート保存戦略では、全個体群の中から適応度が最大となるものを 2 体保存する。トーナメント戦略ではトーナメントサイズは 2 とし、適応度の高い個体を保存する処理を全個体群からエリートを引いた個体数回繰り返す。交叉操作では、交叉率 0.95 とし一様交叉をおこなう。また、突然変異操作では突然変異率を 0.1 とし、エリートを除いた個体群に対し、個体の各遺伝子が、0.1 の確率で突然変異をする。以上の操作を 100 世代繰り返す。最後に、得られた個体群のうち、最も適応度の高い個体の遺伝子を用いて運転再開計画とする。

4. 実験環境

4.1 実験設定

全利用客数 $n = 3825$ [人] とし、各駅に流入する。各駅の流入は東京メトロ渋谷駅の時刻別滞留者数の推移[3]を参考にし、時刻ごとに与える。

利用客の OD は全駅 $s_i (1 \leq i \leq 4)$ からランダムに決定する。

4.2 結果

表 1 に評価値の結果を示す。比較対象として、電車の復旧時刻 $t = 100$ に順次運転を再開した場合の実験結果を示す。結果より、駅の容量オーバーを約 67.7% 低減することができた。また、図 1 に駅 s_1 の駅内滞留者数の推移を示す x 軸が時刻 t 、 y 軸が駅内滞留者数を示す。結果より、順次運転再開した場合に比べ、運転再開計画を最適化した場合の方が駅の施設容量オーバーを抑えられていることがわかる。

表 1 駅の施設容量超過時間

	評価値[分]
順次運転再開	1240
提案手法	400 (-67.7%)

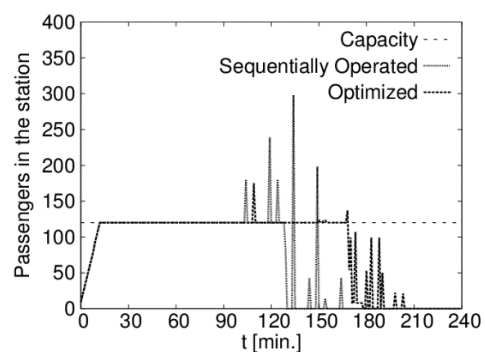


図 2 駅 s_1 の駅内滞留者数の推移 (人)

5. 結論と今後の課題

本論文では、災害時の運転再開により、駅に利用客が溢れる人災による被害に着目した。運転再開直後の許容容量オーバーを低減させるために、電車の運転再開計画を決定する問題を各電車の出発時刻を決定する組合せ最適化問題として定式化し、遺伝的アルゴリズムを用いて求めた。実験結果より、復旧後順次運転再開をした場合と比べて、駅の施設容量超過時間を大幅に削減することができた。

今後の課題として、得られた運転再開計画より、施設容量オーバー回避に効果を発揮している要因を考察し、運転再開ルールを一般化する必要がある。また、得られた運転再開ルールの有効性を評価するために、首都圏主要ネットワークを用いて、運転整理の効果を検証する必要がある。

参考文献

- [1] 鈴木章悦, 日比野直彦, 森地茂, “都市開発による鉄道駅の混雑と施設容量に関する研究”, 運輸政策研究, 政策研究論文, Vol. 15 No. 3 (2012)
- [2] 大都市交通センサス: 平成 19 年度大都市交通センサス調査 報告書調査報告書, 第 2 編 pp. 117-125, 国土交通省 (2008. 3)