

時空間ネットワーク表現に基づく列車運転整理の最適化モデル

大阪市立大学 学生員 ○中川 壮亮

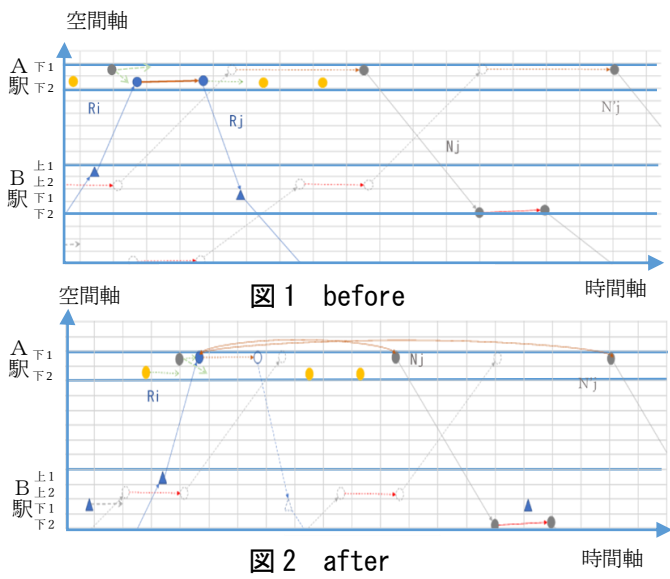
大阪市立大学 正会員 内田 敬

1. 背景・目的

運転整理とは、鉄道ダイヤ乱れを緩和する作業のことであり、近年では台風の接近による計画運休もその一例である。その自動化に向けて小原他¹⁾では鉄道運行モデルをPERTで表現し、Deep Q Networkを用いている。富井他²⁾はPERTとシミュレーテッドアニーリングを組み合わせた手法を提案している。

本研究では、以下を目的とする。

- 1) 運行モデルについては小原他¹⁾と富井他²⁾で用いられていたPERTを一般化した、時空間ネットワークで表現する。
- 2) 新たな運転整理手法として列車種別の変更(列車分割と列車併合)を定式化する。
- 3) 阪和線を参考にした適用例を示す。



2. 定式化

2.1 時空間ネットワーク表現

- ・横軸に時間軸、縦軸に空間軸を取る(図1参照)。
- ・アーク(枝)は列車の走行や制約を表し、表1に示す。
- ・ノードは駅(番線)への発着に対応する。例えば普通列車の場合「Ni(駅-発着or通過-番線)」と表記する。
- ・丸ノードは到着・発車、三角は通過を表現。

2.2 運転整理

a) 列車分割

列車分割とは8両(4両+4両)で走っている列車を、4両と4両に分割することで他の列車の運用を確保する作業である。例えば、図2はA駅(天王寺駅)において折り返しアークが結ばれていない(点線普通Nj (4両)とN'j (4両)を快速Ri (8両)を分割することによって運行可能とする操作を表現している。

表1 アークの種類

種類	枝	線種(色)	
走行	Run(I,I+1,ki)	普通	実線(灰色)
		快速	実線(青色)
		区間	実線(黄色)
		快速	
停車	Sp(I,ki)	実線(赤色)	
出発順序	Do(I,do(ki,ki))	破線(オレンジ)	
到着順序	Ao(I,ao(ki,ki))	破線(オレンジ)	
同一番線	Sl(I,sl(ki,ki))	破線(灰色)	
折り返し	U(I,ut(ki,k(i+1)n1,n2,番線1),(番線2))	実線(赤茶色)	
交差支障	Cr(I,cr(ki,ki))	破線(黄緑)	
出庫入庫	En(ki) Ou(ki)	破線(紫色)	

表2 アーク(枝)操作

種類	Run	Sp	U	Sl	Ao	Do	Cr	En	Ou
消去	Ri全て	Ri全て	U(A,ut(Ri,Rj))	Rjに接続するすべて	Rjに接続する全て	Rjに接続する全て	Rjに接続するすべて	無し	Ou(Rj)
追加	無し	無し	U(A,ut(Ri,Nj),8,4) U(A,ut(Ri,N j ,8,4)	Sl(I,sl(Rjb,Rja))	無し	無し	番線変更後のRiとRjを用いて Cr(A,cr(Rib,Rja)) Cr(A,cr(Rib(sl),Ri))) Cr(A,cr(Rib(sl),Rja))	無し	無し

キーワード 運転整理, 時空間ネットワーク, 列車分割, 列車併合, 不満度

連絡先 uchida.ur@eng.osaka-cu.ac.jp

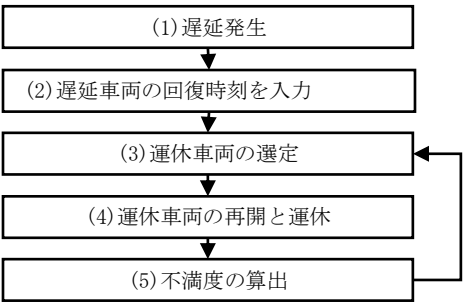


図3 運転整理の最適化フロー

表3 不満度¹⁾

種類	倍率	閾値(秒)または%	不満度算出
遅延	0.03	120	(遅れ秒数-120)*0.03
停車超過	0.01	180	(遅れ秒数-180)*0.01
走行超過	0.01	180	(遅れ秒数-180)*0.01
頻度減少	0.05	B, C, F駅では900秒 A, D, G駅では600秒	(遅れ秒数-閾値)*0.05
混雑による乗車不可	0.03	乗車率250%以上	(次に到着する列車と乗車予定だった列車の時間の間隔)*0.03

時空間上の操作(表 2)はまず、アークの消去とノードの変更

1) Ri (A-a-下 2)→Ri (A-a-下 1)

2) Rj (A-d-下 2)→Rj (A-d-下 1)

を行いアークの追加を行う。

b) 列車併合

快速(8 両=4 両+4 両)を走らせるために普通(4 両)と普通(4 両)を併合させること。

c) 運休

運休は運休パターンファイルで定めて、「駅 1, 駅 2, ki(列車種別と番号)」の形で表記する。駅 1 を進行方向の上流側として列車 ki が駅 1～駅 2 を運休するという意味を表現している。

2.3 運転整理の最適化

運転整理は図 3 の流れで行う。手順(3)運休列車の選定は図 4 に示すように、上下線とも運休または、遅延発生方面のみの、2 通りで運休を行う。手順(4)運休車両の再開と運休では、運行できる列車はできるだけ運行させて、それでも車両が確保できない列車は運休させる。手順(5)の不満度算出では表 3 に示す値を用いて計算する。

3. 数値計算例

今回の数値計算例ではD 駅(堺市駅)で上り方面快速

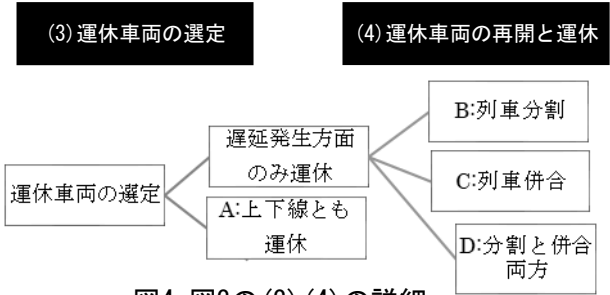


図4 図3の(3)(4)の詳細

表4 数値計算結果

	不満度の値			
種類	パターンA	パターンB	パターンC	パターンD
発遅延	93.6	93.6	93.6	93.6
着遅延	93.6	93.6	93.6	93.6
停車超過	14.4	14.4	14.4	14.4
走行超過	0.0	0.0	0.0	0.0
頻度減少	390.0	282.0	672.0	537.0
混雑による乗車不可	0.0	14.4	0	14.4
合計	591.6	498.0	873.6	753.0

Ri が人身事故を起こし 15 分間運転見合わせとなった状態を想定する。列車の混雑は一律で 130%とする。そのため列車分割をした際に乗車率が 260%となり閾値の 250%を上回り混雑による乗車不可が生じる。

運転整理候補は図 4 に示した A～D の 4 パターンとする。パターン A は上下線を見合わせる最も単純なパターンである。一方、遅延発生方面のみ運休の場合は列車分割や列車併合を行う必要がある。遅延発生方面のみ(今回は上り方面)運休する場合は、やがて下り方面で運用する車両が確保できなくなるため、列車分割や列車併合を行って運行可能にする必要があるためである。結果は表 4 に示すように列車分割を行うパターン B で不満度が最小となった。

4. おわりに

今後の課題は、既往研究で表現されている発着順序変更について時空間ネットワーク上でも手法を提案することである。

参考文献

1)小原光暁, 樫山武浩, 関本義秀: グラフ理論を活用した深層強化学習の鉄道運転整理への適用, 第 39 回交通工学研究発表会論文集, pp. 401-408, 2019.

2) 富井規雄, 田代善昭, 田部典之, 平井力, 村木国満: 利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム, 情報処理学会論文誌:数理化モデルと応用, No. SIG2 (TOM 11). pp26-38, 2005.