第Ⅳ部門　　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

大阪市立大学工学部　　学生員　○中川　壮亮
大阪市立大学大学院工学研究科　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とシミュレーティ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).

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) 区間快速　実線(黄色)
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)

・アーク(枝)は列車の走行や制約を表す．その種類を**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.

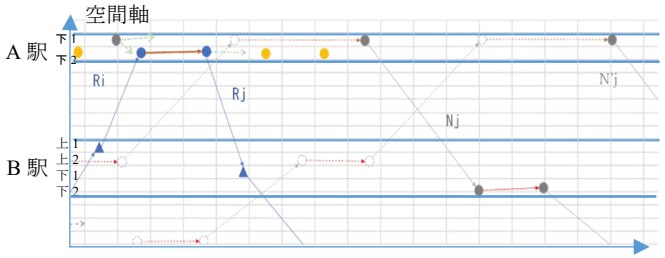

図1 before

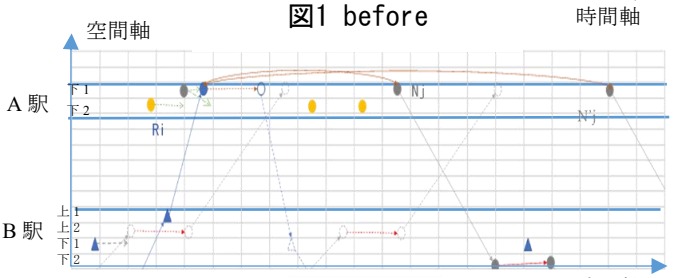

図2 after

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

Sosuke NAKAGAWA, Takashi UCHIDA
uchida.ur@eng.osaka-cu.ac.jp

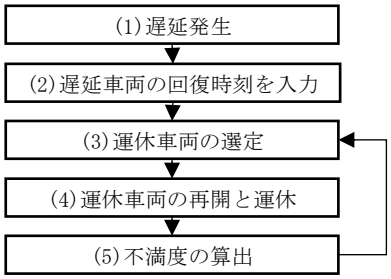

図3 運転整理の最適化フロー

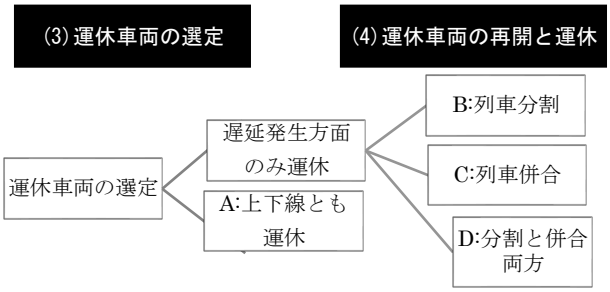

図4 図3の(3)(4)の詳細

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

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

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)を併合させる事.

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**の流れで行われる．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.結論

混雑による乗車不可の不満度が小さい場合，列車分割を行うことで不満度を最小にすることが出来るとわかった．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, pp401-408.2019.

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.