

分枝限定法を用いた鉄道車両運用計画自動生成における 枝刈り手法の考察

後谷 友博[†] 松前 進[‡]

佐賀大学大学院工学系研究科

1. はじめに

鉄道車両運用計画（車両運用計画）とは鉄道輸送計画のなかのひとつである。鉄道輸送計画は大きく列車運行計画（列車ダイヤ）、車両運用計画、乗務員運用計画、駅・区所構内作業計画から成り立つ。列車ダイヤが鉄道輸送計画の中核であり鉄道利用者のニーズを反映させたものであるが、車両運用計画は列車ダイヤの実施に必要なコストを表しており、鉄道事業者にとって大変重要なため、最適な計画を求めることが望ましい。しかし、車両運用計画の生成問題はNP困難に属する問題であるため最適解を求めるのは難しい[1]。本研究では車両運用計画の生成問題に対し、鉄道ダイヤの特徴を応用したいくつかの枝刈り手法による分枝限定法を用いて探索を行い、その実行結果を考察する。

2. 車両運用計画

鉄道ダイヤは鉄道利用者のニーズから作成される。この列車ダイヤを実現するためには、各列車に対して使用する車両を割り当てる必要がある、この割り当て計画のことを車両運用計画という。前後の割り当て列車の間を「つなぎ」といい、前後の割り当て列車を決めることを「つなぐ」という。また、各編成の1日分の使用計画を「仕業」、編成群全体の使用計画は「交番」という[2]。

列車ダイヤ例を図1に示す。図の縦軸は路線の駅の並び、横軸は時刻を示していて、列車は斜線で表される。この例で駅はA、B、Cと3つある。斜線の横の数字は付与される列車番号である。図1から生成される車両運用計画例が図2である。この例では2つの編成で図2の列車ダイヤを実現している。

3. 車両運用計画の制約条件

与えられた列車ダイヤに対する車両運用計画を作成する際に、考慮しなければならない制約条件を次に示す。

Properties of Train-set Scheduling by Branch-and-Bound Strategy

[†]Tomohiro Ushirodani, Graduate School of Science and Engineering, Saga University

[‡]Susumu Matsumae, Graduate School of Science and Engineering, Saga University

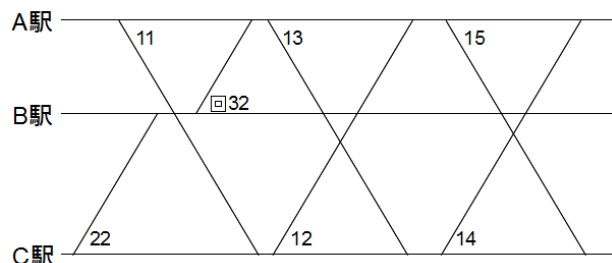


図1：列車ダイヤ

編成1: C²² — B^{回32} — A¹³ — C¹⁴ — A

編成2: A¹¹ — C¹² — A¹⁵ — C

図2：車両運用計画

1. 列車ダイヤ上のすべての列車に対して、車両を割り当てなければならない。
 2. 列車ダイヤで決められている運転時刻は変更できない。
 3. つなぎの前列車の着駅と後列車の発駅は同一駅であること。ただし、回送列車を追加して駅を合わせることは可能である。
- 他にも制約条件があるが、現時点で本研究には用いていないため省略する。

4. 車両運用計画の評価指標

ある列車ダイヤから生成された車両運用計画の良し悪しを判断するためにいくつかの評価指標がある。主として次のように評価する。

1. 鉄道車両の使用編成数は少ないほうがよい。これは交番中の仕業数は少ないほうがよいと言い換えられる。
 2. 回送列車の運行は無駄であるため、設定本数と走行距離は少ないほうがよい。
- 他にも評価指標があるが、本研究では以上の条件を考慮することとする。

本研究では、文献[1]にならい前列車と後列車の接続時間の合計が最小となる車両運用計画を最適な車両運用計画と考える。つまり、前列車と後列車の接続時間の合計をその計画のコストし、コストが最小となる車両運用計画を求める。

5. ハミルトン閉路問題への帰着

車両運用計画を生成する問題を、グラフのハミルトン閉路を求める問題へと帰着して考える

[1]。各列車をグラフの頂点と対応づけ、列車同士の接続を頂点間の有向辺と対応させる。ある頂点 v からある頂点 u への有向辺には、ある列車 v からある列車 u へとつないだ場合の接続時間を重みとして付与する。ある列車 v の着駅とある列車 u の発駅が異なる場合は、回送列車を用いてつなげると考えて重みを付与する。このようにグラフを対応づけると、車両運用計画は各ノードを一回ずつ通るハミルトン閉路になることがわかる。つまり、最適な車両運用計画を求める問題は、対応するグラフにおけるコスト最小のハミルトン閉路を求める問題へと帰着できる。

6. 解探索

n 要素の順列を総当りで生成するとき、その探索木を考えると葉の数は $n!$ 個になる。つまり、順列を調べるときの中間接点数の合計は $\sum_{k=1}^n k!$ となる。当然、 n が大きくなるとたちまち実時間内で解探索は終わらなくなる。今回、解探索において 3 つの手法を用い、必要な計算コストを比較・考察した。

- 総当たり法 + 分枝限定法 1
- 総当たり法 + 分枝限定法 2
- 総当たり法 + 分枝限定法 3

分枝限定法 1 は再帰時の途中コストがその時点での最良解のコストを超えるとき、そこから先の計算は行わず次の組み合わせに進むとした。

分枝限定法 2 は再帰時の途中コストに下界コスト(再帰時の未使用アークの重みから計算されるもの)を加えたものがその時点での最良解のコストを超えるとき、そこから先の計算は行わず次の組み合わせに進むとした。

分枝限定法 3 では実際使われている車両運用計画で重みの大きなアークの使用数はそれほど多くないと思われるため、その性質をある程度仮定してもうまく行くのではないかと考え、始めに設定した閾値以下のアークのみを使用して列車の組み合わせを作る。閾値以下のアークのみで構成できない場合には閾値を超えるアークを一つずつ取り入れていくことで組み合わせを作る。また、分枝限定法 2(再帰時の途中コストおよび下界コストによる枝狩り法)の手法も取り入れる。構成が成功した場合はその時点でのコストを暫定コストの初期値とにおいて、閾値を制限せずに解探索をおこなう。これにより解の最適性を保証できる。

7. 実験

今回の実験には 2 個のデータを用意した。デ

ータ X は実際の路線の列車ダイヤをもとにして、列車数(ノード数)を調整するために適当に間引いたデータである。データ R はコンピュータ上でアークに付与する「重み」をランダムに生成したものである。また、本研究ではアークの重みは分で表している。探索数は探索木における訪問頂点数である。表 1 の分枝限定法 3 は閾値 500 での結果である。表 2 では分枝限定法 3 の閾値による探索数の変化を示し、比較のために分枝限定法 2 の探索数も示す。

表 1: 2 つのデータによる解探索の比較

		R	X
列車(ノード)数(本)		10	10
探索数(回)	総当たり法	4,037,913	4,037,913
	分枝限定法 1	18,618	87,313
	分枝限定法 2	796	7,578
	分枝限定法 3	606	1,502

表 2: 閾値による探索数の変化

閾値	分枝限定法 3		分枝限定法 2	
	データ R	データ X	データ R	データ X
100	36,215	497,123	796	7,578
300	728	16,017	796	7,578
500	606	1,502	796	7,578
700	719	1,582	796	7,578
900	914	2,525	796	7,578
1,100	923	2,555	796	7,578
1,300	923	4,245	796	7,578
1,500	923	7,923	796	7,578

8. まとめと今後の課題

分枝限定法 3(閾値 500)では探索数が少なくなっていて、方法に効果があることがわかる。

分枝限定法 1 でデータ X はデータ R の 4.69 倍の探索数となった。分枝限定法 2 でデータ X はデータ R の 9.52 倍の探索数となった。分枝限定法 3 でデータ X はデータ R の 2.48 倍の探索数となった。次に、データ R において分枝限定法 3 は分枝限定法 2 の 76.1%まで探索数を削減した。データ X において分枝限定法 3 は分枝限定法 2 の 19.8%まで探索数を削減した。

今後はより多くのシミュレーション実験を行い、列車ダイヤの特徴を見つけることによる探索効率の向上を目指す。また、列車には検査があるが、現時点では考慮していないため組み入れられるようにしたい。

参考文献

- [1] 福村 直登 他, RTRI REPORT vol. 22, No. 6, pp. 5-10, 2008.
- [2] 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会, 鉄道ダイヤ回復の技術, オーム社, 2010.