

G-2

消費電力低減のための運転曲線の作成における使用メモリ削減の検討

Decrease required memory in generation running curve which reduce power consumption

○菊地祐貴¹, 香取照臣², 泉隆²

*Yuki Kikuchi¹, Teruomi Katori², Takashi Izumi²

Abstract : In this paper, we describe about decrease required memory(space complexity) in generation running curve which reduce power consumption. Data form is transferred from matrix to links in graph, this form has smaller space complexity. A running curve is computed by shortest path search method. Presented form is expected to search running curves for train group control.

1. まえがき

電気鉄道は電力の供給により運行され、この消費エネルギーを低減することは環境問題の観点からも大きな意義を持つ。列車の走行は次駅までの与えられた時間内であれば無数の走行法が許容され（実際にはそれほど余裕はない）、各々消費電力は異なる。また、特にブレーキ時に発生する回生電力を、近くを走行する加速中の列車に提供すれば、エネルギーのさらなる低減効果が得られる。

このようなことから、駅間での列車の消費電力を低減する走行法を求めることを研究している^[1]。従来は動的計画法を用いて大きなメモリ量（領域計算量）を必要としていたが^[1]、複数列車に拡張することを考えると現実的でない。本論文では必要とするメモリ量を削減して消費電力を削減する駅間の運転曲線を求める方法を検討したので、その方法を述べる。

2. 本研究での領域計算量低減の必要性

2.1 運転曲線（ランカーブ）

列車が駅間をどのくらいの時間で走るかを表す、運転曲線(ランカーブ)を、Figure.1 に示す^[2]。

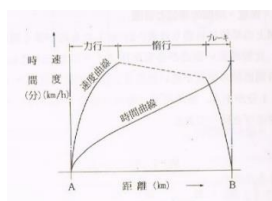


Figure1. Train running curve.^[2]

運転曲線には何種類かがあるが、本研究では距離と、時間の関係を表すS曲線を求めていく。

2.2 動的計画法によるS曲線の探索

動的計画法は、最適化問題において、条件を満たす解の列挙で多くの場合を抽象的に一つの状態にまとめ

ることで手間を削減する定番の手法である^[3]。従来研究^[1]では、時間 - 距離空間において、次駅までの時間と距離内に走りきる走行法を、列車の加減速性能の範囲内で電力（主に電流）の速度特性を評価値として、解の探索を行っていた。この概念図を Figure 2 に、電流の速度特性を Figure 3^[4]に示す。

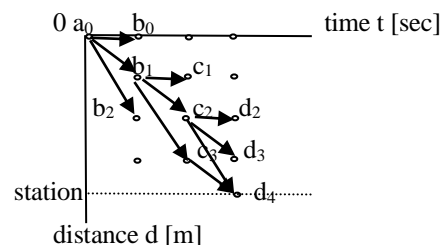


Figure 2 Concept of Dynamic Programming

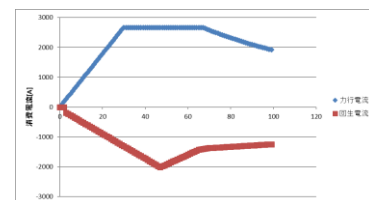


Figure 3. An example of DC current-velocity characteristics.^[4]

この運転曲線の算出において、列車の加減速度から速度と瞬時電力（電流）を求め、速度に応じた空気抵抗や勾配などによる列車抵抗^[2]を考慮して列車の位置を求めていく。これにより累積電力量を最小とする走行法（運転曲線）が求まる。

2.3 従来手法の問題点

2.2 の2次元探索空間において、実際に計算に用いられる空間は、走行の余裕時分を加味しても、それほど多くの領域は使用しておらず、空間の使用効率は著しく低いものである。Figure 4 にこの概念図を示す。この考え方を2列車以上に拡張する場合、次元を上げた3次

元空間で探索を行うことになり^[1], 使用メモリ量は増加する一方で, 使用効率はさらに悪いものになる.

このようなことから, 現実的に格納領域を確保でき, 使用メモリ量を低減したモデルが必要になる.

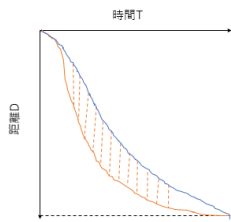


Figure 4. Solution search space usage

3. メモリ量を低減するデータ構造

2.で述べたように, 走行する列車数を拡張することで使用するメモリ量が増大し, 確保する配列サイズがの許容範囲を超えてしまい, 解の探索が行えなくなる問題が生じる. このようなことから, 列車数が増加しても運転曲線を探索できるデータ構造で表現する.

まず動的計画法による手法で, Figure 4 で探索する範囲内のすべての発ノードと着ノードを登録し, その際の消費電力も登録しておく. この運転曲線の探索において, 同一の発着ノードであっても, 加速中の場合と, 惰行中, 減速中の場合があり, 消費 (回生) 電流が異なるため, 各々の電流値を登録しておく. この概念図を Figure 5 に示す. 距離行列に相当する発点と着点に対応した加速時, 減速時, 惰行時の電流値を記録した3つの行列の要素値を求めることに相当する. これを Figure 6 に示すデータ形式 (リンク主体) に変換することで, 使用するメモリを削減できる. このデータ形式を用いて, 始点から終点までの消費電力 (電流) 量が最小となる運転曲線を, 最短経路探索法^[5]により探索して求める.

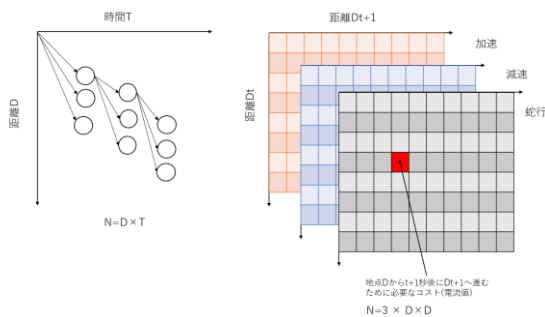


Figure 5. Relation of DP and matrixes.



Figure 6. Covered data form for searching the curve.

4. 結果と考察

本手法を, 1000[m]を 90[sec]で走行する駅間に適用し生成したデータ形式を用いて運転曲線を求めた結果を Figure 7 に示す.

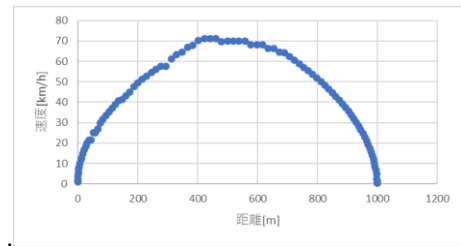


Figure 7. A running curve using the presented method

メモリ量は従来手法で必要とされる2次元の探索空間から, 1次元のリンク主体のデータ形式に削減されて運転曲線が求められている. データの作成に動的計画法を使用するのでは意味がないと感じられるかもしれないが, 列車数を複数列車に拡張する場合, この形式の方がメモリ量が少なくて済み, 任意の発車時間差を与えて探索できるという利点がある. しかし探索時の計算は複雑になることが予想される.

5. まとめ

消費電力を低減する運転曲線を, 複数列車に拡張して求めるために, データ形式を変換することで使用するメモリ (領域計算量) を削減して, 最短経路探索により運転曲線を求めることについて検討した. メモリ量は削減され, 複数列車での消費電力を低減する列車群制御に拡張できる見込みが得られた.

今後はこのデータ形式を用いて, 実際に複数列車での運転曲線を求めることを検討する.

文 献

- [1] Teruomi KATORI & Takashi IZUMI, "A production train diagram of train control to save power consumption used for dynamic programming", WIT Press, Computers in Railways, Vol.XI, pp.359-367(Sep/2008)
- [2] 運転理論研究会, 「運転理論(改訂版)-基礎知識と応用実務-」, 日本鉄道運転協会(2002年3月)
- [3] 波平博人, 「アルゴリズム入門—データ表現と処理技術—」, オーム社(1988)
- [4] 鎌原今朝雄, 「電力設備の容量計算法」, 日本鉄道電気技術協会(1999年11月)
- [5] E.W.Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs", Numerische Mathematik, Vol.1, pp.269-271 (1959)