

ラベル間の相互関係を考慮した列車ダイヤ図描画アルゴリズム

和泉裕孝[†] (電気通信大学 情報システム学研究所)

富井規雄 (財)鉄道総合技術研究所・電気通信大学 情報システム学研究所)

列車ダイヤ図は、列車の運行計画をコンパクトに記述した、鉄道における最も重要な図表である。近年、列車ダイヤ図は、コンピュータによって作図されることが多くなっているが、コンピュータから出力された列車ダイヤ図には、列車番号どうしの重なりを避けることが難しい等、視認性の点で問題がある。本研究では、列車ダイヤ図描画問題を、列車スジという線分に対して列車番号というラベルを配置する、ある種のラベル配置問題と考える。そして、ラベル配置案に対して、ラベルの絶対位置から算出される静的ペナルティとラベル相互の相対位置から算出される動的ペナルティという概念を導入し、これらのペナルティの重み付き和が最小になるラベル配置を、GAを用いて求める。本アルゴリズムを現実の列車ダイヤに適用した結果、実用的な解を算出できることが確認できた。

キーワード：列車ダイヤ図，ラベル配置問題，ELP問題，地理情報システム，遺伝的アルゴリズム

Train Schedule Diagram Drawing Algorithm considering Interrelation between Labels

Hirota IZUMI (The University of Electro-Communications)

Norio TOMII (Railway Technical Research Institute / The University of Electro-Communications)

Train schedule diagrams, in which versatile information about the train operation is depicted, are by far the most important charts in railways. Although it has become popular to draw them by computers, their outputs often have deficiencies such as train numbers overlap or train numbers are not so well arranged. We regard the train schedule diagram drawing problem as a sort of the edge label placement problem, where a train number is put to the corresponding train line as its label. We introduce two types of penalties, namely a static penalty that is calculated from the absolute position of a label and a dynamic penalty that is calculated from the whole arrangement of the labels considering the interrelation between labels. We have developed a GA based algorithm which searches for an arrangement of labels such that the weighted total of the static penalty and the dynamic penalty is the minimum. We confirmed that the algorithm works effectively through experiments using actual train schedule data.

1. はじめに

列車ダイヤ図とは、列車の運行計画を記した図表のことを言う[1]。列車ダイヤ図(以下、ダイヤ図と言うことがある)は、鉄道における最も基本的な図表であり、鉄道の輸送に関する膨大な情報をコンパクトに表現したものであるため、高い視認性が要求される。

従来、ダイヤ図は、経験を積んだベテランによって描かれてきたが、近年になって、コンピュータでこれを描画する試みが行なわれるようになった。しかし、コンピュータで描かれたダイヤ図には、列車番号どうしや列車番号と秒記号との重なりを完全には排除できていないことや、列車番号相互の位置関係を考慮して見やすい位置に列車番号を配置する等の処理がなされていないため、視認性の上で大きな問題がある。

一方、地理情報システムの発達にともなって、地図上のシンボルに地名等のラベルを配置する問題が注目を集めるようになった[2]。その中でも、川や道路などの線分状の図形にその名前等のラベルを配置する問題は、ELP (Edge Label Placement) 問題と呼ばれ、いくつかの研究事例がある[3][4][5]。ELP問題は、NP困難であることが証明されており[4]、ヒューリスティックな方法で近似最適解を求める試みが行なわれている。

ダイヤ図描画問題は、列車の運行を表す線(スジ)

に、列車番号というラベルを配置するという点で、ELP問題に類似している。しかしながら、ダイヤ図では、単に列車番号を重ねないように配置するだけでなく、列車番号が見やすく配置されていることが要求される。具体的には、同じ種類の列車に対する列車番号の水平位置がなるべく揃っていることや、列車番号が密集していない事が望まれる。これらのラベル相互の位置関係に関する条件は、従来のELP問題に対するアルゴリズムでは考慮されていないため、従来のアルゴリズムをそのままダイヤ図の描画に用いることはできない。

本稿では、ダイヤ図描画問題を、スジに対して列車番号というラベルを配置する問題と考える。そして、この問題を、次のように定式化する。まず、各スジに対して、列車番号を配置できる位置(ラベルポジションと呼ぶ)を生成する。そして、ラベルポジションに配置されたラベルに対して、ペナルティを割り当てる。ここで、ペナルティとして、静的ペナルティと動的ペナルティを導入する。静的ペナルティとは、個々のラベルごとに割り当てられるもので、そのラベルポジションの絶対位置、他のスジと交差しているかどうか等によって算出する。一方、動的ペナルティは、本研究で新たに提案するもので、列車番号が水平方向に揃っているかどうかなど、複数の列車番号の相互の位置関係に対して算出される。そして、そのペナルティの総和が最小になる列車番号の配置をGAを用いて求める。

[†]現在、松下通信 ITS エンジニアリング(株) 勤務

2. 列車ダイヤ図描画問題

2.1 列車ダイヤ図とは

列車ダイヤ図の例（一部）を図1に示す。ダイヤ図とは、横軸に時間、縦軸に駅の位置をとり、時間の経過に伴う列車の運行の軌跡をあらわした一種のチャートである。列車ダイヤ図には、列車の軌跡をあらわすスジ、スジに対する列車番号、列車の各駅の着発時刻を通常15秒単位で表わした秒記号、駅の位置を表す駅線、時刻を示す時刻線等が描かれている。



図1：列車ダイヤ図の例（一部）

ダイヤ図は、列車の番号、着発時刻、種別等、その線区の運行計画に関わる大量の情報をコンパクトに表わしたチャートで、鉄道におけるもっとも重要な帳票である。そのために、視認性がきわめて重視される。

列車ダイヤ図は、ダイヤ改正時の列車ダイヤ（基本ダイヤ）に対する原版が作成され、印刷されて関係箇所配布される。ダイヤ図は、従来は、経験を積んだベテランによって長時間をかけて描かれていたが、近年は、コンピュータで描かれることが多くなっている。最近では運行管理システムの導入に伴って、基本ダイヤに臨時列車等の変更を加えた日々のダイヤ（実施ダイヤ）が、毎日印刷されることも多くなっている。

しかし、コンピュータによって描画されたダイヤ図には、列車番号どうしが重なって判別できない、列車番号と秒記号が重なって列車の運転時刻が読み取れない場合がある等、視認性の点での問題が生じている。

現状では、これらの問題を解決するために、

- (1) 小さな文字で列車番号を描くことによって、列車番号が重なる確率を減らす。
- (2) 列車番号を描く位置を工夫する（例えば、上り列車と下り列車とで位置を変える）ことによって、列車番号の重なりの可能性を減じる。
- (3) 一部または全部の列車番号を手描きする。等の手段が用いられている。しかしながら、(1)には、視認性の点で問題がある。また、(2)には、線区ごとに個別の工夫をする必要があることや、同じ線区でもダイヤが変わるとその都度工夫が必要であること、この方法では列車番号の重なりを排除できない場合が多いこと等の欠点がある。また、(3)には、見栄えの点だけでなく、大きな労力を要するという問題がある。

2.2 列車ダイヤ図描画アルゴリズムに対する要件

列車ダイヤ図描画アルゴリズムに対する要件として

は、次のようなものがある。

- (1) 列車ダイヤ図描画の基本ルール(表1)に則ったダイヤ図を描画できること。
- (2) 列車密度、駅間距離等が異なる各種の線区に汎用的に適用可能であること。
- (3) 視認性の高い列車ダイヤ図を描画できること。

(3)の具体例としては、次がある。

- ・列車番号どうしが重なってはならない。
- ・列車番号と秒記号が重なってはならない。
- ・列車番号とスジは、なるべく重ならないこと。
- ・列車番号と駅線は、なるべく重ならないこと
- ・同一種別の列車については、列車番号の垂直方向の位置がなるべく揃っていること。
- ・異種別の列車の列車番号が密集しすぎないこと。

ここで、種別とは、快速、普通、特急、急行等をいう。また、上りと下りは、種別が異なると解釈する。

表1：列車ダイヤ図描画の基本ルール

1. 上り列車はスジの右側に、下り列車はスジの左側に、列車番号を描くこと。
2. 列車番号は、どのスジに対応しているのかが、明確に分かる位置に描くこと。
3. 指定された駅線の間（本稿では、これを配置指定駅間と呼ぶ）に、列車番号を描画すること。
4. 上り列車の秒記号は、駅線の下側に、下り列車の秒記号は、駅線の上側に描くこと。

3. 列車ダイヤ図描画問題の定式化

3.1 基本的考え方

ダイヤ図描画問題を、次のような問題と考える。

- ・列車ダイヤ図を、スジ、スジに対応する列車番号、駅線、秒記号からなる図形であるとする。
- ・列車番号は、斜めの長方形、秒記号は、四角形の領域、スジは線分であると見なす。
- ・スジ、秒記号、駅線は、固定されていると考える。
- ・列車番号をスジに対するラベルとみなし、ラベルをスジに対して配置する問題と考える。そして、次の考え方に基くアルゴリズムを提唱する。
- ・スジに対して、ラベル（列車番号）を配置できる可能性のある位置（これを、ラベルポジションと呼ぶ。LPと略することがある。）をあらかじめ生成しておく。
- ・ラベルが付されたラベルポジションに対して、絶対位置、駅線との重なり、他のスジとの重なり等を勘案して、そこにラベルを配置することのペナルティを算出する。これは、個々のラベルポジションに対して算出されるペナルティで、静的ペナルティと呼ぶ。
- ・あるラベルの配置案に対して、ラベル相互の関係に対するペナルティを算出する。これは、ラベル配置案全体に対して算出されるペナルティであるので、動的ペナルティと呼ぶ。
- ・これらのペナルティの重みつき和が最小になるようなラベル配置を見出す。

以下、これらの具体的内容について述べる。

3.2 ラベルポジションの生成

ラベルポジションとは、各々のスジに対してラベル（列車番号）を配置できる可能性のある長方形の領域のことを言う。本研究では、配置指定駅間に対して、あらかじめ与えられた、ある数値 k 個のラベルポジションを、ダイヤ図描画の基本ルールにのっとり均等に配置する。なお、この k のことを、以下では、LP生成数と呼ぶ。 k の値は、どの程度微妙に列車番号を配置したいかに応じて、使用者が与えるものとしている。また、ここで長方形の大きさは、列車番号の桁数とフォントのサイズから決定する。 $k=5$ とした場合のラベルポジション生成例を、図 2 に示す。

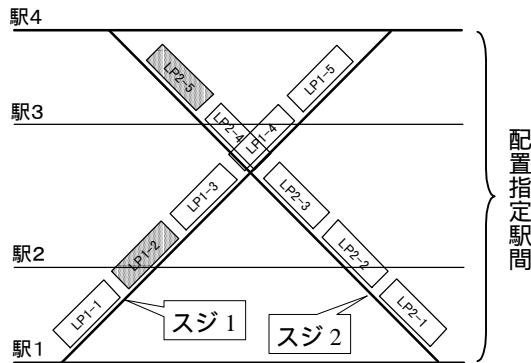


図 2：ラベルポジションの生成

3.3 静的ペナルティ

ラベルポジション(LP)に対して、次の 4 つの静的ペナルティを考える。

- [SP1] LP の絶対位置に起因するペナルティ
- [SP2] LP と駅線との交差に起因するペナルティ
- [SP3] LP と秒記号との重複に起因するペナルティ
- [SP4] LP とスジとの交差に起因するペナルティ

SP1 は、位置による列車番号の見やすさを反映するためのものである。具体的には、中央部分に列車番号を描くのが最も好まれる。それが不都合である場合、次に好まれるのは、始端側である。図 2 の場合、スジ 1 に対しては、LP1-3, LP1-1, LP1-2, LP1-4, LP1-5 の順に、スジ 2 に対しては、LP2-3, LP2-5, LP2-4, LP2-2, LP2-1 の順にペナルティ値を上げていく。

SP2 は、列車番号が駅線と交差することを避けるためのペナルティである。図 2 の場合、LP1-2, LP1-4, LP2-2, LP2-4 は、駅線と交差しているため、その分のペナルティを課す。SP3 は、列車番号と秒記号との交差を避けるためのペナルティである。SP4 は、列車番号とスジとの交差を避けるためのペナルティである。図 2 の場合、LP1-4, LP2-4 は、スジと交差しているため、その分のペナルティを課す。LP に対する静的ペナルティは、SP1 ~ SP4 の重みつき和として算出する。

3.4 動的ペナルティ

静的ペナルティが個々のラベルポジションに対して

算出されるのに対し、動的ペナルティは、ラベル配置案全体に対して算出されるペナルティである。動的ペナルティとしては、次の 3 つを考える。

- [DP1] ラベルの重なりに起因するペナルティ
- [DP2] ラベルの垂直方向の位置の不揃いさに起因するペナルティ
- [DP3] ラベルの密集度に起因するペナルティ

DP1 としては、重なって描画されているラベルの個数を計上する。DP2 には、ラベルポジションの垂直位置ごとに置かれるラベルポジションの平均個数の分散をとる。具体的には、次式によって算出する。

$$\sqrt{(LPnum_0 - heikin)^2 + \dots + (LPnum_n - heikin)^2}$$

ただし、 $heikin = (\text{配置指定駅間内のラベル総数}) / (\text{配置指定駅間の LP 生成数})$ 、 $LPnum_n = \text{垂直方向の位置 } n \text{ に配置されているラベルの数}$ である。列車種別ごと、配置指定駅間ごとに、上式で算出された値を全て加えた数値を DP2 とする。

DP3 としては、各ラベルから一定距離内に存在するラベルの数を数え、それを全ラベルについて加算する。

3.5 総合ペナルティ

ラベルが配置されているラベルポジションの静的ペナルティと全体のラベル配置に対する動的ペナルティの重みつき和を、ラベル配置に対する総合ペナルティとする。本研究では、この総合ペナルティの値を最小にするようなラベル配置を求めることを目的とする。

4. ラベル間の相互関係を考慮した列車ダイヤ図描画アルゴリズム

4.1 アルゴリズムの構成

アルゴリズムの全体構成を、図 3 に示す。

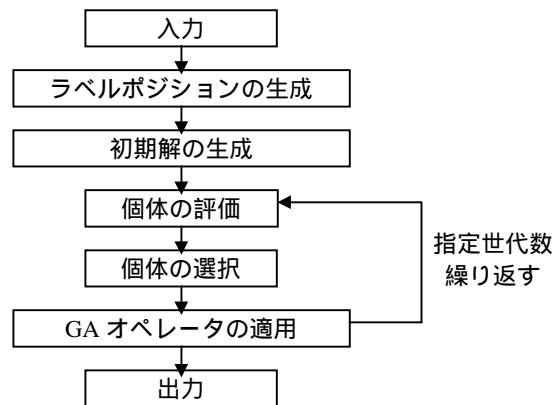


図 3：アルゴリズムの全体構成

4.2 染色体表現

個体は、描画対象時間帯のすべてのスジに対するラベルの配置位置の情報を持つ。ラベル配置位置は、各スジごとに、ラベルが配置されているラベルポジションの配置指定駅間での垂直方向の位置に対応する数値で保有する。例えば、図 3 において、スジ 1 には、LP1-2 に、スジ 2 には、LP2-5 に列車番号が配置されている

