

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510199

研究課題名(和文) データマイニング手法の応用による列車ダイヤの頑健性向上手法の研究

研究課題名(英文) Increasing Robustness of train diagram using data mining techniques

研究代表者

富井 規雄 (TOMII, Norio)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：50426029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、都市圏の鉄道のラッシュ時間帯において慢性的に発生する遅延に対して、利用者からの不満が多い。本研究では、過去の運行実績データをもとに、それに対してデータマイニングの手法を適用することによって、遅延を防止するための施策を見出すことを試みた。その結果、相関ルールの考え方による遅延原因の発生箇所の特定アルゴリズム、決定木学習の考え方による駅間の列車の運転方法と遅延回復との関係を見出すアルゴリズム等の成果を得た。

研究成果の概要(英文)：There are increasing complaints from passengers about the delays of trains during rush hours which very often happen. We have tried to explore effective delay reduction measures by applying data mining techniques to the train traffic record data. We have established an algorithm which finds an origin of delays based on the idea of the association rules and an algorithm which explains relationship between drivers' behavior and the delay of his train.

研究分野：情報工学

キーワード：鉄道 遅延 データマイニング 決定木 相関ルール

1. 研究開始当初の背景

近年、都市圏の鉄道のラッシュ時間帯において慢性的に発生する遅延に対する利用者からの不満が多い。特に、相互直通運転区間の拡大によって、ある線区の遅延が他の線区にも容易に伝播することになり、遅延の拡大範囲が広範に及ぶことが問題となっている。

これらの遅延は、そのほとんどが旅客の動きに起因する。すなわち、急病人の救護、混雑による停車時分の超過などが引き金となり(これを一次遅延 - primary delay と呼ぶ)、その遅延によって列車間隔が開くために、それ以降の駅で普段よりも多くの旅客が乗降することとなってさらに遅延が大きくなる(これを二次遅延 - secondary delay と呼ぶ)。このような小規模な遅延がなるべく発生しにくく、また、発生してもそれがなるべく他の列車に伝播しないような列車ダイヤを「頑健な列車ダイヤ」、そのような性質を、列車ダイヤの「頑健性」と呼ぶ。

日本の都市圏の鉄道会社は、列車ダイヤの頑健性の向上に高い関心を持っている。停車時分や列車間隔等を精緻に調整することによって列車ダイヤの頑健性を大きく高めることに成功した例も報告されている([1])ものの、現状においては、経験とカンにもとづいて手さぐりでダイヤの調整が行なわれているのが実態であり、より体系的なアプローチが望まれていた。

最近になって、日々の列車運行の実績データ(列車運行実績データ)が取得できるようになった。これは、各列車の各駅の着発時刻の実績を日々蓄積したデータである。運行実績データの活用については、それを可視化する試みが行なわれているが([2])、これは運行状況を可視化して人間が分析作業を行なう際の手がかりを提供するものであって、分析そのものを行なうシステムではない。

また、従来用いられていた列車運行実績データは、列車の駅での着時刻と発時刻のみを含むデータであって、駅間での列車の動きを分析する上では限界があった。

ヨーロッパにおいては、列車ダイヤの頑健性に関する研究が盛んに行なわれている([3]~[6])。しかし、これらの研究は、いずれも、日本の都市圏と比較すると疎なダイヤを対象としており、また、乗降時間が延びることによって発生・拡大する遅延については、まったく扱われていない。

一方、日本においては、列車ダイヤの頑健性に関する研究事例は少ない([7])。[7]では、列車運行を確率的列車運行ネットワークと称する有向グラフモデルで表現し、モンテカルロシミュレーションを行なうことによって、列車ダイヤの頑健性の評価尺度を算出することを提案している。しかし、[7]は、評価尺度の算出方法の提案にとどまっており、頑健性を向上させる手法については触れられていない。

2. 研究の目的

本研究では、列車ダイヤの頑健性の向上に資するために、次を目的とした。

- (1) 列車運行実績データをもとにして、遅延の因果関係を明らかにするアルゴリズムを確立する。具体的には、ある主要駅に対する遅延(一般には二次遅延)が与えられた時に、それを引き起こす原因となった一次遅延を特定する。この結果をもとに当該一次遅延を防止、あるいは減少させる手立てをとることが可能になり、それによって、全体の遅延を大きく減少させることが可能になる。
- (2) 軌道回路の落下時刻、こう上時刻を含むデータ(軌道回路通過データ)を入力として、駅間での列車の詳細な運転方法と遅延の回復・増大との関連を見出すアルゴリズムを確立する。これの結果に基づいて運転士に駅間の運転方法を指導することにより、遅延の増大を避け、遅延の回復が可能になる。

3. 研究の方法

本研究では、次の2つのアプローチをとった。

- (1) 列車運行実績データに対して、相関ルールの手法を適用することによって、遅延の因果関係を見出す。
ここで、相関ルールとは、ある事象 X が発生すると別の事象 Y が発生するという関係を表すルールのことで、これを $X \rightarrow Y$ と表記する。矢印の左側 X の部分を条件部(または前提部)、矢印の右側 Y の部分を帰結部(または結論部)と呼ぶ。相関ルールにおける X, Y に該当する要素はアイテムと呼ばれ、アイテムの組合せはトランザクションと呼ばれる。ここで、アイテムの集合を I とすると、相関ルールは $X \rightarrow Y (X \subseteq I, Y \subseteq I, X \cap Y = \emptyset)$ と表される。
本研究では、列車の遅延、停車時分の増加、駅間運転時分の増加、列車間隔の増大を上記でいう「アイテム」とみなし、それらに対して、相関ルールを見出すことを試みた。
- (2) 軌道回路通過データに対して、決定木の手法を適用することによって、駅間の運転方法と遅延の発生・増大との関係を見出す。
ここで、決定木とは、入力パターンに対応するクラス分類を決定するアルゴリズムを表現した木構造のことを言う。本研究では、良好な事例(例えば、遅延が増大しないケース)と良好でない事例(例えば、遅延が増大するケース)を与え、それらに対して構成した決定木から、良好な事例と良好でない事例を分離するのに最も寄与した要因を見出すことによって、列車の運転において注意をはらうべき箇所等についての知見を得るアルゴリズムを確立する。

4. 研究成果

(1) 運行実績データからの相関ルールの導出

遅延対策を実施して効果を挙げた路線において、その実施前後で前述の手法を適用した相関ルールの抽出を行ない、その結果を比較することによって、提案アルゴリズムの有効性を評価した。対象路線として、東京メトロ半蔵門線の運行実績データを使用した。半蔵門線では、

2014年2月に永田町駅で閉扉を補助する係員を増員した(これ以前を期間A、これ以降を期間Bとする)。

同年3月に九段下駅付近の信号設備改良を実施した(これ以降を期間Cとする)。

東京メトロによる運行実績結果の詳細な分析から、これら2つの対策によって、期間Aと期間Bでは永田町駅の停車時間超過に起因した遅延拡大が解消し、期間Bと期間Cでは九段下駅付近の遅延拡大が縮小しているという結果が得られている。このことから、これら3つの期間の運行実績データから相関ルールを導出すると、

期間Aでは永田町駅停車時間及び九段下駅付近の遅延ルールが導出され、期間Bでは永田町駅の遅延ルールが導出されない。

期間Bで導出された九段下駅付近の遅延ルールが期間Cでは導出されない。

という当初想定した通りの結果(図1~3)が得られることを確認した。

```
> monda1j1
  駅 確信度 最高順位 最高確信度 相関ルール数
1 表参道 - 青山一丁目 1 1.0000000 16
2 水天宮前 - 清澄白河 14 1.0000000 13
3 半蔵門 - 九段下 15 1.0000000 4
4 永田町 停車 121 0.8857143 6
5 青山一丁目 停車 123 0.8823529 7
6 表参道 停車 137 0.8421053 2
>
> rownames(AKIRA) = c(1:nrow(AKIRA))
> rownames(YAMAGATA) = c(1:nrow(YAMAGATA))
> |
```

図1 期間Aの相関ルール導出例

```
> monda1j1
  駅 確信度 最高順位 最高確信度 相関ルール数
1 神保町 - 大手町 1 1.0000000 5
2 渋谷 - 表参道 5 1.0000000 12
3 半蔵門 - 九段下 17 1.0000000 11
4 押上 28 1.0000000 14
5 水天宮前 - 清澄白河 106 0.8750000 4
6 三越前 停車 110 0.8750000 4
7 表参道 停車 114 0.8461538 8
>
> rownames(AKIRA) = c(1:nrow(AKIRA))
> rownames(YAMAGATA) = c(1:nrow(YAMAGATA))
> |
```

図2 期間Bの相関ルール導出例

```
> monda1j1
  駅 確信度 最高順位 最高確信度 相関ルール数
1 表参道 - 青山一丁目 1 1.0000000 6
2 住吉 7 1.0000000 9
3 表参道 37 0.8888889 4
>
> rownames(AKIRA) = c(1:nrow(AKIRA))
> rownames(YAMAGATA) = c(1:nrow(YAMAGATA))
> |
```

図3 期間Cの相関ルール導出例

(2) 決定木による駅間の列車の挙動と遅延との関連の分析

長期間に渡る軌道回路の落下・こう上時刻のデータから、各軌道回路の占有時間を求め、「望ましい運転が行なわれたケース」と「望ましくない運転が行なわれたケース」に対して、決定木を用いてその分類に寄与した因子

の特定を行なうことを試みた。

実行例を次に示す。図4、図5が入力データ(軌道回路通過データを可視化したもの)で、図4は、結果が良好なデータ、図5は、結果が良好でないデータである。これらに対して、決定木を生成することにより、これら2つの分類に大きく寄与した要因は、ある軌道回路の走行時分(図4、5で示されている箇所)であることを明らかにすることができた。この結果から、この区間の運転方法を工夫することによって、遅延の回復を図ることができることが明らかになった。

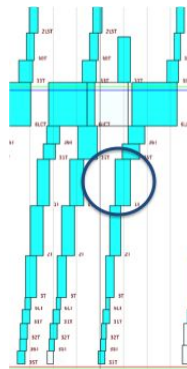


図4 良好な例

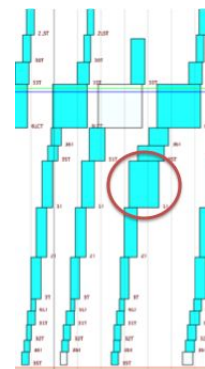


図5 良好でない例

<引用文献>

- [1] 牛田貢平:「列車運行実績データの可視化手法によるダイヤ検討への応用」, 運転協会誌, Vol. 52, No. 8 (2010)
- [2] 稲川真範, 富井規雄, 牛田貢平:「列車運行実績データの可視化」, J-Rail2009 講演論文集(2009).
- [3] L. Kroon, Rommert Dekker, Gabor Maroti: Stochastic Improvement of Cyclic Railway Timetables, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 42, Issue 6, (2008).
- [4] Christian Liebchen, Michael Schachtebeck, Anita Schobel Sebastian Stiller Andre Prigge: Computing Delay Resistant Railway Timetables, Technical Report of ARRIVAL-TR-0071 (2007).
- [5] Boris Cule, Bart Goethals, Sven Tassenoy, Sabine Verboven: Mining Train Delays, the tenth International Symposium on Intelligent Data Analysis, Porto, Portugal (2011).
- [6] Alicia De-Los-Santos, Juan A. Mesa et al.: Evaluating Robustness of a Urban Railway Network, Third International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis: RailZurich (2009).
- [7] 武内陽子, 富井規雄:「鉄道の計画ダイヤの頑健性評価」, J-Rail2003 講演論文集 (2003).

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計16件)

Yasufumi Ochiai, Norio Tomii: Punctuality analysis using a microscopic simulation in which drivers' behavior is considered, 6th

International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis - RailTokyo2015, 千葉工業大学(千葉県習志野市), 2015年3月26日

宮川利仁, 富井規雄: 複数線区を対象とする駅周辺の詳細な状況を再現可能な旅客流動・列車運行シミュレータ, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市), 2014年12月16日

落合康文, 富井規雄: 運転士の取扱を考慮したマイクロシミュレーションによるラッシュ時の列車運行の分析, 電気学会交通電気鉄道研究会, 米原市商工会会議室(滋賀県米原市), 2014年10月23日

渡辺裕太郎, 富井規雄, 落合康文: 軌道回路ごとの走行時分を考慮した列車運行シミュレーションアルゴリズム, 電気学会産業応用部門大会, 東京電機大学(東京都足立区), 2014年8月28日

Yasufumi Ochiai, Junya Nishimura, Norio Tomii: Punctuality analysis by the microscopic simulation and visualization of web-based train information system data COMPRAIL2014, Rome (Italy), 2014年6月26日

Akiyoshi Yamamura, Masahito Koresawa, Shigeaki Adachi, Norio Tomii: Taking effective delay reduction measures and using delay elements as indices for Tokyo's metropolitan railways, COMPRAIL2014, Rome (Italy), 2014年6月25日

増間義樹, 富井規雄, 落合康文: 軌道回路占有情報の可視化による詳細な列車運行状況の把握, 電気学会全国大会, 愛媛大学(愛媛県松山市) 2014年3月20日

落合康文, 西村潤也, 富井規雄: WebTIDデータの可視化による小田急線地下化前・後の運行状況の比較とその検証, 第20回鉄道技術連合シンポジウム, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区), 2013年12月5日

Akiyoshi Yamamura, Masahito Koresawa, Shigeto Adachi, Norio Tomii: How we have succeeded in regaining Punctuality in Tokyo Metropolitan Railway Network?, WCRR-World Congress on Railway Research, Sydney (Australia), 2013年11月27日

西山正紀, 富井規雄: 操縦方法を含む列車群運行シミュレーション, 第50回鉄道サイバネ・シンポジウム, ホテルメトロポリタン(東京都豊島区), 2013年11月5日

西山正紀, 富井規雄: 運転士の操縦方法を加味した列車群運行シミュレーション, 電気学会東京支部連合研究会, 東京電機大学(東京都足立区), 2013年9月2日

西山正紀, 富井規雄: 運転士の操縦方法を加味した列車群運行シミュレーションの改良, 電気学会全国大会, 名古屋大学(愛知県名古屋市), 2013年3月21日

山村明義, 足立茂章, 牛田貢平, 富井規雄: 首都圏稠密運転路線における遅延改善策の検証, 第19回鉄道技術連合シンポジウム, 東京大学生産技術研究所(東京都目黒区), 2012年12月5日

山村明義, 牛田貢平, 足立茂章, 富井規雄: 首都圏稠密運転路線における遅延改善策—東京地下鉄東西線での実施例とその検証結果, 電気学会交通・電気鉄道研究会, 電気学会会議室(東京都千代田区), 2012年10月23日.

Akiyoshi Yamamura, Masahito Koresawa, Shigeaki Adachi, Norio Tomii: Identification of Causes of Delays in Urban Railways, COMPRAIL2012, New Forest (United Kingdom), 2012年9月12日

西山正紀, 富井規雄: 運転士の操縦方法を加味した列車群運行シミュレーション, 電気学会産業応用部門大会, 千葉工業大学(千葉県習志野市), 2012年8月22日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富井規雄 (TOMII, Norio)

千葉工業大学・教授

研究者番号: 50426029