

複数の都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションシステムの開発と改良



H09027 川村 孝太郎
 H09050 角田 隆太
 H09082 渡邊 雄馬
 指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

東京圏の都市鉄道におけるピーク時間帯の混雑率は非常に高い。その対策として、列車の高頻度運行や、複々線化の実施などにより輸送力の増強を図り、一定の効果をみてきた。しかし、一度遅延が発生すると、高頻度運行に起因した後続列車への遅延の伝播や、遅延により列車間隔が開くことで到着駅の旅客が増加し、それに伴い乗降時間が増え、さらに遅延が拡大するなどの問題が発生している。

この問題に対し高橋ら[1]により、マルチエージェントシミュレーションを用いて高頻度運行時の列車運行を再現する研究が行われ、一定の再現性が得られているが、実務的検討に適用できる段階には至っていない。そこで本研究では、従来のシミュレーションシステムの改良を行うことを目的とする。

2. 既存シミュレーションシステムの概要と課題

既存システムは、東急田園都市線と東京メトロ半蔵門線を対象に構築している。このシステムは、列車の駅停車中の旅客の乗降時間を推定するモデル（乗降モデル）と、駅間の列車走行時間を推定するモデル（走行モデル）で構成され、2つのモデルを組み合わせて統合モデルとし、1編成ごとの列車遅延を再現する。

表1に既存システムの課題と本研究での変更点を

表1: 既存シミュレーションシステムの主要な課題

走行モデル	問題点1	対象路線での再現性は良好だが、このシステムの他路線での汎用性が不明である。
	変更内容	新たに東京メトロ千代田線および日比谷線で開発を行う。
乗降モデル	問題点2	ドア横での旅客の滞留や、車内での旅客の移動先に偏りがある。
	変更内容	車内での移動先の重みを削除し、車内の旅客の粗密さから移動先を決定する。
	問題点3	旅客が鉢合わせたときに動けなくなる。
	変更内容	他の旅客に対して方向転換の促しおよび、旅客の存在の認知範囲の設定を密にする。
統合モデル	問題点4	ドア付近の旅客の再乗車行動が過大に発生する。
	変更内容	後ろの旅客から押されたときに再乗車を行う。
	問題点5	遅延時間の過大推計が発生している。
	変更内容	乗降モデルのルールの変更を行う。
統合モデル	問題点6	上述の過大推計が起きていることから、乗車客数を3割減らして推計している。
	変更内容	乗降モデルの変更を行い、乗車客数を3割減らさずに推計する。

表2: 走行モデルに用いたデータ

対象区間	東京メトロ千代田線(綾瀬~代々木上原間) 東京メトロ 日比谷線(北千住~中目黒間)
対象期間	2012年10月1日~11月13日うち平日(始発~11:00)
項目	要素
発着時刻表	出発時間 停車時分 遅延実態の把握
信号コード表	列車信号・軌道回路長・駅位置・勾配
車両性能表	加速度・減速度・最高速度
運行実績データ	実績の停車時分(再現性の検証) 遅延実態の把握

挙げる。走行モデルは既存研究で高い精度が得られているが、このエージェントルールの異なる路線への移転性の高さを確認できていなかった。また、乗降モデルは車内をブロックに分割し、ブロック別に異なるルールを適用しており、乗降客行動に不連続性が生じ、挙動が不自然になっていた。したがって、統合モデルは再乗車旅客数が3割も過大推計され、再現性を著しく低下させる大きな問題を抱えていた。

3. 走行モデル

3.1 走行モデルの改良

走行モデルの汎用性を検証するために、新たに東京メトロ千代田線および日比谷線を対象に開発を行った。東京地下鉄株式会社の協力により、表2に示すデータを用い、モデルを構築した。

3.2 走行モデルの新規路線の再現性

各路線の走行モデルの再現性を表3に示す。全区間の走行時間の相関係数は、全路線で0.95を上回り、所要時間1分あたりの残差RMSも最大で4秒程度(日比谷線)となり、走行モデルのプログラムの汎

表 3: 各走行モデルの再現性

路線	田部・半蔵門線		千代田線		日比谷線	
区間	長津田～半蔵門		綾瀬～代々木上原		北千住～中目黒	
相関R	0.99		0.96		0.98	
残差RMS(秒)	37.95		64.30		135.51	
サンプル数	77		68		107	
駅間走行時間	実績	推定	実績	推定	実績	推定
	0:57:31	0:58:17	0:21:15	0:20:52	0:32:18	0:31:41
推定-実績	-46		-23		-38	
所要時間(分)あたりの残差RMS(秒)	0.66		3.08		4.20	

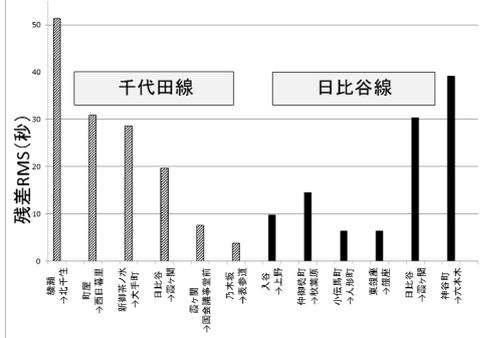


図 1: 新規路線の主要駅間の残差 RMS

用性の高さが確認できた。なお、図 1 の新規 2 路線の主要駅間の残差 RMS は、一部区間で大きな残差が生じているが、これは実際の速度信号とは異なる速度で運転士が調整をしていることが原因と考えている。なお、運行実績データの対象期間すべてで再現性を検証していないため、引き続き検証を行う。

4. 乗降モデル

4.1 乗降モデルの改良

従来は、他の旅客の存在を認識する範囲の設定が粗く、斜め前にいる旅客を正面にしていると誤認識することがあり、旅客が停止していた。そこで、自ら他の旅客に対して方向転換をするよう促し、旅客の停止を防ぐルールを設定した。また、誤認識を減らすために、他の旅客の認知範囲の設定を密にした。

また、ドア付近に旅客が滞留する問題も発生していた。従来は、車内の移動先をブロック別に重みとして与えており、特にドア横に旅客が集中していた。そこで、重みの設定を削除し、混雑の粗密さを判断して移動先を選択するように変更した。

再乗車行動が過大に発生する問題は、車内に降車旅客がいた際、ドア前にいる通過旅客は必ず外に出てしまうルールが原因であった。そこで、前述のルールを削除し、後ろからの旅客の押し込みを感知した際に、車外に出るルールに変更した。

4.2 乗降モデルの再現性

再乗車行動をとった通過旅客の人数の推計値と実績値で比較した結果が図 2 である。変更後は、既存

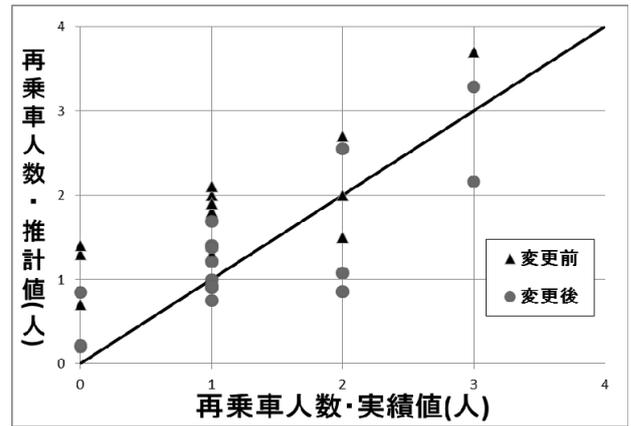


図 2: 通過旅客の再乗車行動の再現性

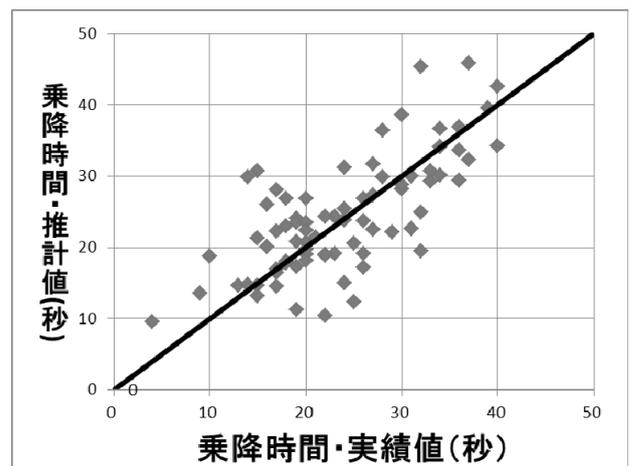


図 3: 乗降モデルの再現性

のモデルよりも、通過旅客の再乗車人数の過大な発生は減少したことがわかる。

また、乗降時間の推計値(変更後)と実績値を比較した結果が図 3 である。推計値と実績値の相関係数は 0.72、残差 RMS は 5.99 秒であった。

5. 統合モデル

走行モデルと乗降モデルの 2 つを組み合わせた統合モデルで、推計した遅延時間と実績値を比較した。現時点では、再現性の向上が得られておらず、問題点の抽出と改善を進めていく。

6. おわりに

本研究では、既存の遅延連鎖シミュレーションシステムを構成する 2 つのモデルの課題を把握し、改良、開発を試みた。走行モデルの汎用性の確認と、乗降モデルの再現性の向上ができた。統合モデルは実務的に利用できるような再現性には至らず、今後も改良していく必要がある。

[1] 高橋郁人:「高頻度運行の都市鉄道を対象とした遅延連鎖シミュレーションシステムの開発と対策効果の分析」2011 年度芝浦工業大学大学院修士論文