

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6573568号
(P6573568)

(45) 発行日 令和1年9月11日 (2019.9.11)

(24) 登録日 令和1年8月23日 (2019.8.23)

(51) Int. Cl.		F I	
B 6 1 L 27/00	(2006.01)	B 6 1 L 27/00	G
G 0 6 Q 50/30	(2012.01)	G 0 6 Q 50/30	
G 0 8 G 1/00	(2006.01)	G 0 8 G 1/00	C

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2016-65488 (P2016-65488)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成28年3月29日 (2016.3.29)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2017-177923 (P2017-177923A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成29年10月5日 (2017.10.5)	(74) 代理人	110000176
審査請求日	平成30年6月15日 (2018.6.15)		一色国際特許業務法人
		(72) 発明者	山田 隆亮
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		審査官	大内 俊彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運行予測システム、運行予測方法、及び運行予測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動体の運行状況を予測するための運行予測システムであって、

前記移動体の運行状況に関わるデータについての初期予測値と、前記データについて実際の運行を通じて得られた実績値との誤差である予測誤差について、指定された運行場所と運行時間範囲とで定まる前記移動体のサンプルに関し、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出する統計計算部と、

2以上の異なる前記サンプルのグループについて前記統計計算部が算出した前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を誤差の分散値が最小となるように組み合わせる利用することにより前記移動体の運行状況に関わるデータの予測値を算出する予測計算部と、

を備えている運行予測システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の運行予測システムであって、

前記予測計算部は、特定の 2 つの離れた地点を通過する 2 つの前記移動体について、前記移動体の前記 2 地点間の移動時間と、先行する前記移動体が一の前記地点を出発してから続行する前記移動体が当該一の前記地点に到着するまでに確保されるべき最小時間間隔とを制約条件として前記初期予測値を算出し、

異なる前記サンプルのグループは、予測処理実行前日までに収集された前記実績値を含む第 1 のグループと、予測処理実行当日に収集された前記実績値を含む第 2 のグループであり、

10

20

前記統計計算部は、前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関して、それぞれ前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出し、

前記予測計算部は、前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関する、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値から前記予測誤差の分散を最小とする前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関する、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値の比率を算出し、当該比率に応じて前記初期予測値を補正する、
運行予測システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の運行予測システムであって、

前記統計計算部は、前記移動体の運行状況に関わるデータについての予測値と実績値との比の対数値を予測誤差として計算する、運行予測システム。

10

【請求項 4】

請求項 2 に記載の運行予測システムであって、

前記第 1 のグループに含まれる前記サンプルは、前記予測処理実行前日までの所定期間に、特定の前記地点に到着する複数の前記移動体それぞれについての到着時刻であり、

前記第 2 のグループに含まれる前記サンプルは、前記予測処理実行当日の特定の時間範囲ごとに、特定の前記地点に到着する複数の前記移動体それぞれについての到着時刻である、
運行予測システム。

【請求項 5】

20

請求項 1 に記載の運行予測システムであって、

前記予測計算部が予測処理の対象とする前記移動体、地点、及び当該移動体の運行時間範囲の少なくともいずれか一つを指定することを可能とするとともに、

異なる前記サンプルのグループごとに、前記実績値の適用範囲としての前記移動体、前記地点、及び前記実績値が収集された時間範囲を指定することを可能とする入力指示部を、
備えている運行予測システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の運行予測システムであって、

前記移動体及び地点の位置を所定の基準地点からの距離で表す第 1 の軸と、前記移動体の移動を時間で表す第 2 の軸とが直交する 2 軸である平面において、予測対象となる前記移動体の移動軌跡を、2 つの隣接する前記地点間において、特定の前記地点の位置と出発時刻、及び次の前記地点の位置と到着時刻とを結ぶ線分として表示し、

30

前記移動体の運行状況に関するデータとしての前記到着時刻について、誤差分散値に基づいて、予測された到着時刻ごとの発生確率を計算し、前記線分の前記次の地点に到達する終点の周りを前記発生確率に応じて視覚的に識別可能とするとともに、前記視覚的に識別可能とされた範囲が、前記線分より時間的に下流の側において、上流側よりも幅広となるように設定する出力部を備えている、運行予測システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の運行予測システムであって、

40

前記移動体は鉄道システムで運行される列車であり、地点は鉄道システムに設置される駅であり、

前記予測計算部は、特定の 2 つの離れた地点を通過する 2 つの前記移動体について、前記移動体の前記 2 地点間の移動時間と、先行する前記移動体が一の前記地点を出発してから続行する前記移動体が当該一の前記地点に到着するまでに確保されるべき最小時間間隔とを制約条件として前記初期予測値を算出し、

異なる前記サンプルのグループは、予測処理実行前日までに収集された前記実績値を含む第 1 のグループと、予測処理実行当日に収集された前記実績値を含む第 2 のグループであり、

前記統計計算部は、前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関して、それぞれ前

50

記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出し、

前記予測計算部は、前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関する、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値から前記予測誤差の分散を最小とする前記第 1 のグループ及び前記第 2 のグループに関する、前記予測誤差の分散 σ_a 、 σ_b 、及び共分散 σ_{ab} の値の比率 q 、 r ($q + r = 1$) を、分散 Dp を表す (1) 式

$$Dp = q^2 \cdot \sigma_a^2 + 2qr \cdot \sigma_{ab} + r^2 \cdot \sigma_b^2 \quad \dots (1)$$

において $Dp = 0$ となるように解いて算出し、

当該比率 q 、 r に応じて前記初期予測値 $T^{(a)}_{i,j}$ を、(2) 式

$$T^{(b)}_{i,j} = T^{(a)}_{i,j} + q\mu_a + r\mu_b + (q\sigma_a + r\sigma_b)B_{i,j} \quad \dots (2)$$

(ただし、 $B_{i,j}$ はウィーナー過程)

によって補正する、

運行予測システム。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の運行予測システムであって、

前記統計計算部は、前記移動体の運行状況に関わるデータについての予測値と実績値との比の対数値

$$\log\left(\frac{T^{(c)}_{i,j}}{T^{(a)}_{i,j}}\right) = \tilde{\mu} + \tilde{\sigma}\tilde{B}_{i,j}$$

(ただし、 $B_{i,j}$ はウィーナー過程)

を予測誤差として計算する、運行予測システム。

【請求項 9】

移動体の運行状況を予測するための運行予測方法であって、

プロセッサとメモリとを備えたコンピュータが、

前記移動体の運行状況に関わるデータについての初期予測値と、前記データについて実際の運行を通じて得られた実績値との誤差である予測誤差について、指定された運行場所と運行時間範囲とで定まる前記移動体のサンプルに関し、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出し、

2 以上の異なる前記サンプルのグループについて統計計算部が算出した前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を誤差の分散値が最小となるように組み合わせて利用することにより前記移動体の運行状況に関わるデータの予測値を算出する、

運行予測方法。

【請求項 10】

移動体の運行状況を予測するために利用される運行予測プログラムであって、プロセッサとメモリとを備えたコンピュータに、

前記移動体の運行状況に関わるデータについての初期予測値と、前記データについて実際の運行を通じて得られた実績値との誤差である予測誤差について、指定された運行場所と運行時間範囲とで定まる前記移動体のサンプルに関し、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出させ、

2 以上の異なる前記サンプルのグループについて統計計算部が算出した前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を誤差の分散値が最小となるように組み合わせて利用することにより前記移動体の運行状況に関わるデータの予測値を算出させる、

運行予測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、運行予測システム、運行予測方法、及び運行予測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

鉄道システムにおいて列車の早着、遅延といった運行状況を高精度で予測することに対するニーズが高まっている。例えば、到着列車の減速時に発生する回生電力を、他の出発列車の加速に効率よく利用することができるように、各列車に対する到着タイミングの調整、延発指示、延発制御を実現するには、列車到着時刻の高精度な予測を要する。列車全体の運行予測精度を統計的に向上させることができれば、統計的に節電に寄与することができる。

10

【0003】

特許文献1は、列車などが強風による危険に晒される虞を低減し、かつ、列車ダイヤなどへの影響を最小限に抑えることを目的として、ある地点で測定された風速及び過去の風速記録に基づいて、確率的な変動を表現する時系列モデルによる逐次計算によって、当該地点での所定の時間先までの予測風速を算出して出力する構成を提案している。

【0004】

また特許文献2は、精度の高い旅行時間情報を提供することを目的として、鉄道またはバスによって移動可能な交通網における旅行時間情報を利用者に提供すべく、利用者の乗車待ち時間、あるいは移動時間を確率分布で表した確率分布データを、乗車待ち時間または移動時間が発生する箇所ごとに記憶し、出発地と目的地とを結ぶ経路上において発生する乗車待ち時間及び移動時間に対応する確率分布データを全て取得し、当該確率分布データを積み込むことで、総旅行時間の確率分布を算出し、算出した総旅行時間の確率分布に基づいて予想旅行時間を決定、出力することを提案している。

20

【0005】

また特許文献3は、特定の時刻に繰り返し運行される交通機関を利用した移動過程を予測するシステムにおいて、過去の移動物体の夫々について、各通過点での通過日時、二つの通過点を通過する間に経過した経過時間、交通機関特定情報、状況情報、乗り込み終了日時、及び該乗り込み終了日時に対する各通過日時の比較結果を互いに関連付けた関連付けデータを記憶し、特定の通過点に係る通過日時、乗り込み終了日時に対する前記通過日時の比較結果、又は特定の二つの通過点に係る経過時間と、前記通過日時、前記比較結果又は前記経過時間が含まれる関連付けデータ中で前記通過日時、前記比較結果又は前記経過時間に関連付けられた他の情報との組み合わせを、複数通り抽出し、抽出した組み合わせに基づいて、回帰分析、又は平均若しくは分散を推定する統計計算により、未来の移動物体が特定の通過点を通過する通過時刻、特定の交通機関における未来の乗り込み終了日時に対する特定の通過点に係る通過日時の比較結果又は未来の移動物体が特定の二つの通過点を通過する間に経過する経過時間の推測値を計算することを提案している。

30

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-30988号公報

【特許文献2】特開2014-126500号公報

【特許文献3】特許第4839416号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1はある地点での風速を予測するもので、直接列車運行予測を行うものではない。特許文献2は交通手段の経路探索の結果得られる旅行時間を確率分布として作成し、

50

経路ごとに平均して早着、遅延のリスクを求めることができるが、交通手段の個々の運行状況を予測するものではない。また特許文献3は複数の分析モデルを組み合わせることで運行予測を行うが、予測精度を高めるべく分析モデルの組合せバランスを調整することまでは開示していない。鉄道システムでの列車到着時刻の遅れの実績値から得られる統計情報を利用して、列車到着時刻を確率的に表現する方法はいくつか知られている。しかし、外れるリスクが高い予測（すなわち過去においては予測の分散が大きかった箇所での予測）では、十分に予測精度を高めることは難しい。

【0008】

本発明の一つの目的は、移動体の運行予測精度を可及的に高めることである。

【課題を解決するための手段】

10

【0009】

上記の、及び他の目的を達成するために、本発明の一態様は、移動体の運行状況を予測するための運行予測システムであって、前記移動体の運行状況に関わるデータについての初期予測値と、前記データについて実際の運行を通じて得られた実績値との誤差である予測誤差について、指定された運行場所と運行時間範囲とで定まる前記移動体のサンプルに関し、前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を算出する統計計算部と、2以上の異なる前記サンプルのグループについて前記統計計算部が算出した前記予測誤差の平均値、分散値、及び共分散値を誤差の分散値が最小となるように組み合わせる利用することにより前記移動体の運行状況に関わるデータの予測値を算出する予測計算部とを備えている運行予測システムである。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明の一態様に係る運行予測システムによれば、移動体の運行予測精度を可及的に高めることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る業務支援システム1の全体システム構成例を示す図である。

【図2】図2は、図1のシステムに利用されるコンピュータ10のハードウェア構成例を示す図である。

30

【図3A】図3Aは、計画情報テーブル300の構成例を示す図である。

【図3B】図3Bは、計画情報テーブル300の構成例を示す図である。

【図3C】図3Cは、計画情報テーブル300の構成例を示す図である。

【図3D】図3Dは、計画情報テーブル300の構成例を示す図である。

【図4】図4は、列車・駅別統計記録テーブル400の構成例を示す図である。

【図5】図5は、駅・時間帯別統計記録テーブル500の構成例を示す図である。

【図6】図6は、列車運行モデルの一例を説明する図である。

【図7】図7は、本発明の一実施形態による運行予測処理フローの一例を示す図である。

【図8】図8は、統計記録テーブルの更新処理フローの一例を示す図である。

【図9A】図9Aは、入力画面の構成例を示す図である。

40

【図9B】図9Bは、入力画面の構成例を示す図である。

【図10】図10は、出力画面の構成例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明について、その実施の形態に即して図面を参照しながら詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、互いに対応する要素には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0013】

図1は、本実施形態による運行予測システム100を備えている、鉄道システムの業務を支援するための業務支援システム1の構成例を示している。業務支援システム1は、複

50

数のコンピュータシステムを通信可能に接続してなり、運行予測システム１００、データサーバ２００、運転支援システム１０００、運行管理システム２０００、電力管理システム３０００、及びサービスシステム４０００が、通信ネットワークＮによって相互に接続されて構成されている。業務支援システム１のサブシステムである運行予測システム１００、データサーバ２００、運転支援システム１０００、運行管理システム２０００、電力管理システム３０００、及びサービスシステム４０００は、それぞれ例えば図２の構成を備えたコンピュータとして構成することができる。

【００１４】

図２はサブシステムとして利用しうるコンピュータ１０の構成例である。コンピュータ１０は、プロセッサ１１、メモリ１２、補助記憶装置１３、入出力装置１４、及び通信装置１５を備え、これらの要素はバス１６により相互に通信可能に接続されている。プロセッサ１１は演算処理を実行するＣＰＵ（Central Processing Unit）等の演算装置である。メモリ１２はコンピュータ１０が実行するデータ処理機能を提供するプログラム、そのプログラムが使用するデータ等を記憶するための記憶領域を提供する、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＮＶＲＡＭ（Non-Volatile RAM）等の記憶デバイスを有する。補助記憶装置１３は、前記プログラム、データテーブル等を格納するハードディスクドライブ（ＨＤＤ）、半導体ドライブ（ＳＳＤ）等の記憶デバイスを備える。入出力装置１４は、キーボード、マウス、タッチパネル等の外部からのデータ入力用デバイス、モニタ・ディスプレイ、プリンタ等のデータ出力用デバイスを含む。通信装置１５はネットワークインタフェースカード（ＮＩＣ）等の、適宜の通信プロトコルを採用している通信ネットワークＮを介して他装置との通信を可能とする通信デバイスを含む。コンピュータ１０では、プロセッサ１１が補助記憶装置１３に格納されているプログラムをメモリ１２に読み出して実行することにより、各サブシステムの機能を実現する。

【００１５】

業務支援システム１は、各サブシステムの機能により、鉄道システムにおける安全かつ効率的な列車運行を実現するように構成されている。

運転支援システム１０００は、例えば列車の運転室に設置される車上モニタを含み、後述する運行予測システム１００による運行予測結果等を運転士に伝達して運転士の運転業務を支援する機能を有する。運転支援システム１０００は車上情報を総合的に管理するための列車情報管理装置、あるいは自動運転装置等の他の装置との間で情報を授受するように構成することもできる。

【００１６】

運行管理システム２０００は、あらかじめ設定された列車運行計画（ダイヤグラム）に基づいて、信号現示、進路設定を制御する機能を有するとともに、実際の列車の運行状況を、軌道回路や接近センサ等の地上の列車検知システムから運行実績値として取得し、データサーバ２００、運行予測システム１００に提供する機能を有する。

【００１７】

電力管理システム３０００は、鉄道システムの列車をはじめとする各種設備に電力を供給するための受変電設備、き電設備等の動作を管理する機能を有している。サービスシステム４０００は、駅構内の案内表示、列車接近表示等の旅客情報サービスを提供する機能を有する。

【００１８】

次に、データサーバ２００について説明する。データサーバ２００は、運行予測システム１００、及び運転支援システム１０００、運行管理システム２０００、電力管理システム３０００、サービスシステムといったサブシステムからのデータ入出力要求に応じてデータを保存し、管理し、配信する機能を有する。図１のデータサーバ２００は、初期計画データ２１０、実績計画データ２２０、制約計画データ２３０、統計記録データ２４０、及び予測計画データ２５０を格納している。これらのデータは、テーブル等の適宜のデータ形式で格納されている。なお、データサーバ２００にはこれらのデータの他、サブシステムとの間でのデータ入出力処理を実行するプログラム等が設けられるが、それらのプロ

グラム等については本発明の構成、機能に関して本質的でないので図示、及び説明を省略する。

【 0 0 1 9 】

初期計画データ 2 1 0 は、あらかじめ鉄道システムのユーザが作成してデータサーバ 2 0 0 に保存しておくデータである。具体的には、初期計画データ 2 1 0 は列車運行ダイアグラムであり、鉄道システムの線区毎に、各駅における各列車の出発予定時刻、到着予定時刻が格納されている。さらに、データサーバ 2 0 0 には、列車運行ダイアグラムの基本データである各種属性情報（駅名、駅キロ程など）等、運行予測システム 1 0 0 を機能させるための基本情報も、あらかじめ管理データとして保存される。

【 0 0 2 0 】

実績計画データ 2 2 0 は、実際の列車の運行状況を反映するデータ、例えば、各駅の列車到着時刻、列車出発時刻等のデータが格納される。具体的には、運行管理システム 2 0 0 0 に接続されている信号保安システム等から取得される列車到着時刻、列車出発時刻等の実績値が運行管理システム 2 0 0 0 から入力され、実績計画データ 2 2 0 を更新する。実績計画データ 2 2 0 の更新は、所定時間間隔で実行してもよいし、各列車の運行状況に応じて逐次実行してもよい。

【 0 0 2 1 】

制約計画データ 2 3 0、統計記録データ 2 4 0 は、いずれも初期計画データ 2 1 0 と実績計画 2 2 0 とから予測計画データ 2 5 0 を算出する過程で利用されるデータを蓄積したデータ群である。制約計画データ 2 3 0、統計記録データ 2 4 0 については、本実施形態の運行予測システム 1 0 0 で実行されるデータ処理フローに関連して後述する。統計記録データ 2 4 0 は、実績計画データ 2 2 0 の更新に基づいて再計算されて更新される。

【 0 0 2 2 】

予測計画データ 2 5 0 は、本実施形態の業務支援システム 1 が適用されている鉄道システムにおける予測対象駅の列車の出発時刻、到着時刻の予測値を示すデータである。予測計画データ 2 5 0 は、運行予測システム 1 0 0 によって、データサーバ 2 0 0 に格納されている初期計画データ 2 1 0、実績計画データ 2 2 0 に基づいて算出される。前記のように、制約計画データ 2 3 0、統計記録データ 2 4 0 は、運行予測システム 1 0 0 が初期計画データ 2 1 0、実績計画データ 2 2 0 から予測計画データ 2 5 0 を算出する過程で生成され利用される。予測計画データ 2 5 0 の算出過程については後述する。

【 0 0 2 3 】

サブシステムである運転支援システム 1 0 0 0、運行管理システム 2 0 0 0、電力管理システム 3 0 0 0、及びサービスシステム 4 0 0 0 に関して説明したように、予測計画データ 2 5 0 は、運転支援システム 1 0 0 0 に配信され、運転士に運行予測情報を提供する。また、予測計画データ 2 5 0 は、運行管理システム 2 0 0 0 に配信され、列車整理、運行計画の変更等の業務に利用される。また、予測計画データ 2 5 0 は、電力管理システム 3 0 0 0 に配信され、鉄道システムとしての節電効果に配慮した電力供給計画業務に利用される。また、予測計画データ 2 5 0 は、サービスシステム 4 0 0 0 に配信され、最新の運行予測結果に基づく情報配信サービスを利用客等に提供する。

【 0 0 2 4 】

次に、運行予測システム 1 0 0 について説明する。運行予測システム 1 0 0 は、図 2 に例示する構成を備え、本発明の実施形態による運行予測方法を記述したプログラムを補助記憶装置 1 3 に格納している。図 1 の例では、プロセッサ 1 1 が補助記憶装置 1 3 に格納されているプログラム群である予測モジュール 1 1 0 をメモリ 1 2 に読み出し、メモリ 1 2 に記憶されている、予測処理に関してユーザがあらかじめ指定する条件であるパラメータ 1 2 0 を用いて、予測処理を実行する。

【 0 0 2 5 】

予測モジュール 1 1 0 は、複数のサブモジュールである、データ受信部 1 1 1、制約計算部 1 1 2、統計計算部 1 1 3、補正計算部 1 1 4、及びデータ送信部 1 1 5 を備える。運行予測システム 1 0 0 は、稼働中、運行管理システム 2 0 0 0 から配信される実績計画

10

20

30

40

50

データ 220 を通信装置 15 を介して常時待ち受けし、実績計画データ 220 が配信される都度、すなわち実績計画データ 220 が更新される都度予測処理を実行して予測計画データ 250 を算出する。

【0026】

データ受信部 111 及びデータ送信部 115 は、図 2 の入出力装置 14 を用いて、作成された予測計画データ 250 等のデータを、データサーバ 200 との間で送受信する処理、及び図 2 の入出力装置 14 を介してユーザインタフェースを提供する機能を備える。制約計算部 112 は、後述する列車運行予測のための列車運行モデルに基づいて、初期計画データ 210 と実績計画データ 220 とを入力として制約計画データ 230 を出力する機能を備える。統計計算部 113 は、実績計画データ 220 を入力として、統計記録を出力する機能を有する。この統計記録の作成方法については後述する。補正計算部 114 は、制約計画データ 230、統計記録データ 240 を入力として、予測計画データ 250 を出力する機能を有する。この予測計画データ 250 の作成方法については後述する。

【0027】

次に、データサーバ 200 に格納されているデータについてより具体的に説明する。図 3A ~ 図 3D は、計画情報を格納するためのテーブルである計画情報テーブル 300 の構成例を示している。データサーバ 200 においては、計画情報テーブル 300 で示すデータ構造により、初期計画データ 210 (図 3A)、実績計画データ 220 (図 3B)、制約計画データ 230 (図 3C)、及び予測計画データ 250 (図 3D) が管理される。

【0028】

計画情報テーブル 300 には、共通して、列車 ID 301、出発駅 ID 302、到着駅 ID 303、出発時刻 304、到着時刻 305、遅延 306、及び管理 307 の各フィールドが設けられている。計画情報テーブル 300 では、複数の日に対するデータを記録管理するために、出発時刻 304、到着時刻 305 に年月日を含めてもよく、また出発時刻 304、到着時刻 305 に加えて年月日フィールドを設けてもよい。列車 ID 301 は鉄道システムの運行予測対象線区で運行される列車を相互に識別するための識別符号であり、例えば列車番号である。出発駅 ID 302、到着駅 ID 303 は、鉄道システムの運行予測対象線区にある駅を相互に識別するための識別符号である。出発時刻 304、到着時刻 305 は、列車 ID 301 で特定される列車が、出発駅 ID 302、到着駅 ID 303 で特定される駅を出発、あるいは次駅に到着する時刻を示す。遅延 306 は初期計画データ 210 における列車の出発時刻 304、到着時刻 305 の計画値に対する実績値、あるいは予測値の遅延を表す。管理 307 は、計画情報テーブル 300 の種類に応じた固有の情報を格納する。本実施形態では、計画情報テーブル 300 に格納されている計画情報の種別を識別するための情報として、「初期」、「実績」、「制約」、「予測」が格納されている。予測モジュール 110 は、データサーバ 200 上に格納されている列車名、駅名等の属性情報を、計画情報テーブル 300 に記録されている列車 ID 301、出発駅 ID 302、到着駅 ID 303 を用いて一意に参照し、取得することができる。

【0029】

ここで、図 3A ~ 図 3D で例示する計画情報テーブル 300 について順次説明する。まず図 3A は初期計画データ 210 の例を示していて、列車 ID = 001 で特定される列車は、出発駅 ID = AA5 の駅を 13 時 55 分に出発し、到着駅 ID = AA4 の駅に 14 時 00 分に到着する計画である。運行計画ダイヤグラムに記載されている通りのデータが記録されているので、遅延 306 は空欄となっている。

【0030】

次に、図 3B の実績計画データ 220 は、運行管理システム 2000 から取得される実際の運行時刻を記録している。例えば、図 3B の先頭レコードでは、列車 ID = 001 で特定される列車が出発駅 ID = AA5 で特定される駅を 2 分遅れで出発した場合を示しており、出発駅 ID = AA5 の駅を 13 時 57 分に出発したという記録がなされている。次駅である AA4 の到着時刻も前駅出発の遅れを反映して 2 分遅れとなっている。遅延 306 には、初期計画データ 210 の出発時刻 13 時 55 分と実績計画データ 220 の出発時

刻との差分として2分と記録されている。

【0031】

図3C、図3Dは計画情報テーブル300として同一のデータ構造を用いて構成されており、それぞれ制約計画データ230、予測計画データ250を格納している。図3C、図3Dには各レコードの項目に記録される数値の例として初期計画データ210と同一の数値を例示しているが、実際には、制約計画データ230には後述する列車運行モデル(制約モデル)に従って算出された出発時刻304、到着時刻305が記録される。また予測計画データ250には、予測モジュール110が実行した運行予測結果を反映する出発時刻304、到着時刻305が記録される。以下では、各項目名は計画情報テーブル300のデータ構造を反映する名称として取り扱う。すなわち、例えば遅延306は、文脈に応じて実績計画データ220の項目名であったり、予測計画データ250の項目名であったりする。

【0032】

次に、統計記録テーブルについて説明する。図4は、列車ごと、駅ごとに取得され生成された統計記録を格納するテーブルである列車・駅別統計記録テーブル400の構成例を示している。ここで統計記録とは、ある列車、ある駅等の個別の対象に着目してある対象範囲についての計測値(例えば出発時刻等)の集合について統計的に処理を施して得られるデータを示している。図4の列車・駅別統計記録テーブル400の一つのレコードには、列車ID401、出発駅ID402、到着駅ID403、計画時刻404、誤差平均405、誤差分散406、共分散407、サンプル数408、及び管理409の項目が設定されている。列車ID401、出発駅ID402、及び到着駅ID403は、図3A～図3Dの計画情報テーブル300の場合と同様である。計画時刻405は、対応する列車ID401の列車が出発駅ID402で特定される駅を出発する時刻の初期計画値(計画ダイヤ上の数値)を示す。誤差平均405は、対応する列車ID401で特定される列車が出発駅ID402によって特定される駅を出発した実際の時刻と計画時刻404との差の平均値を示す。誤差分散406は、前記の実際の時刻と計画時刻404との差の分散を示す。共分散407は、誤差分散406と他の統計記録における誤差分散(例えば後述する図5の誤差分散505)との類似度を示す指標となる数値である。サンプル数408は、対応する列車ID401の出発駅ID402の駅の出発時刻について、統計処理の対象としたサンプル数を示している。管理409には、共分散407の計算において、類似度判定の対象とした別の統計記録がどれかを特定する情報を格納する。図4の例では、誤差分散406と図5の誤差分散505とを対照しているので、管理409には「駅・時間帯別」の語句が記録されている。

【0033】

図4の統計記録テーブル400では、列車・駅別の統計データである列車・駅別データ450として、前日分までの一又は複数日のデータを記録している例を示しているが、図5について後述するように、当日分のみデータを記録している統計記録テーブルも存在する。このように、統計記録テーブル400、500等についてどのような時間範囲でのサンプリングを行うかについては、ユーザ指定に応じて設定される。

【0034】

図5は、駅、時間帯ごとの統計記録である駅・時間帯別データ550を格納する統計記録テーブル500の構成例を示す図である。統計記録テーブル500の各レコードには、出発駅ID501、到着駅ID502、時間帯503、誤差平均504、誤差分散505、共分散506、サンプル数507、及び管理508の項目が記録されている。出発駅ID501、到着駅ID502は、統計記録テーブル400の出発駅ID402及び到着駅ID403と同じである。時間帯503は、到着駅ID502で特定される駅の到着時刻についてのサンプリング範囲を時間範囲で示している。例えば図5の例では、駅AA4に13:41～14:00の20分間に到着する列車の到着時刻が統計処理の対象とされていることを表している。誤差平均504、誤差分散505、及び共分散506は、図4の統計記録テーブル400の誤差平均405、誤差分散406、及び共分散407と同じで

10

20

30

40

50

ある。サンプル数 507 は、時間帯 503 の間でサンプリング対象となったサンプルの数を示す。管理 508 には、共分散 506 の計算において、類似度判定の対象とした別の統計記録がどれかを特定する情報を格納する。図 5 の例では、誤差分散 406 と図 5 の誤差分散 505 とを対照しているので、管理 508 には「列車・駅別」の語句が記録されている。

【0035】

なお、図 5 では、駅ごとに、20 分間のウィンドウ（時間帯）ごとの先行列車の到着時刻の予測誤差の傾向として、当日分のデータ例を挙げている。前記のように、統計記録テーブル 400, 500 等についてどのような時間範囲でのサンプリングを行うかについては、ユーザ指定に応じて設定される。

10

【0036】

次に、本実施形態における列車運行予測方法の基本原則について詳細に説明する。本実施形態の列車運行予測は、各駅を出発する列車の計画出発時刻と、各駅に到着する列車の計画到着時刻に基づいて行われる。またサブシステムである運行管理システム 2000 から各駅を出発する列車の出発時刻実績値と、各駅に到着する列車の到着時刻の実績値を取得する場合には、それらの実績値に基づいて列車運行予測が実行される。

【0037】

図 6 に、列車運行モデルの一例を示している。図 6 のモデルでは、ある列車の運行について、時系列順に所定の制約条件を満たす範囲で最も早い時刻として、各駅の到着時刻、出発時刻の予測値を計算していく。図 6 のモデルでは、横軸に時間を、縦軸に列車の位置を示す距離（キロ程）をとり、下記の（1）式で用いる変数の時空間上での関係を図示している。図 6 は、列車番号を正の整数 i 、駅番号を正の整数 j とし、同方向に運行されている 2 本の列車について、先行列車 $j-1$ 、続行列車 j がそれぞれ駅 $i-1$ 、駅 i に停車する状況を示している。このとき、続行列車 j が駅 i に到着する時刻と予測値である予測時刻 $T^{(a)}_{i,j}$ は、下記の（1）式で表現することができる。なお $\max(X, Y)$ は、 X, Y いずれか大きい方の値を取る操作を示す関数である。

20

【数 1】

$$T^{(a)}_{i,j} = \max(T^d_{i-1,j} + T^{std}_i, T^d_{i,j-1} + T^{head}_i) \cdots (1)$$

30

ただし、 T^{std}_i : 駅 i に至る基準運転時分

T^{head}_i : 駅 i で先行列車の出発時刻と続行列車の到着時刻の間に必要な時間間隔（運転時隔）

$T^d_{i-1,j}$: 続行列車 j が駅 $i-1$ を出発する時刻

$T^d_{i,j-1}$: 先行列車 $j-1$ が駅 i を出発する時刻

【0038】

特に、稠密ダイヤにおける遅延時の列車運行では、先行列車の影響によって続行列車が駅間で停車するリスクを避けるため、続行列車を前駅で待たせる（延発）させることができる。このため、平常時、遅延時の駅間走行時間はさほど変わらず、2 駅の出発時刻に基づく予測到着時刻はある程度精度がよい値となる。図 6 の列車運行モデルによる列車運行予測方法を、以下では「制約モデルによる予測方法」と呼ぶこととする。

40

【0039】

なお、同様に列車出発の予測時刻についても、標準停車時間等をあらかじめ定めることによって、先行列車に対して続行列車が計画通りに出発できるかを予測することができる。以下では説明の簡単化のために、列車到着時刻を予測する場合のみを取り上げるが、本発明の列車運行予測方法は、列車出発時刻の予測や列車運行に関わる他の数値予測についても適用することができる。

50

【 0 0 4 0 】

ある駅への列車到着の予測時刻と実績値としての列車到着時刻には予測誤差が生じる。列車運転では、出発後の続行列車は、予測時刻の時点で駅 i あるいはその近傍に到達しているという期待があり、運転士が自列車が置かれている状況に応じて次駅 i までの残りの距離をどう走るかによって駅 i への到着時刻が変動し、駅 i への到着時刻の予測値は確率過程の様相を示す。この列車運行の様子は、微粒子のブラウン運動に準じたランダムな動きとして表現することができる。すなわち、続行列車 j が駅 i に到着する時刻を確率変数 $T^{(b)}_{i,j}$ とする。駅 i に到る最後の単位距離 $X_{i,j} (= 1)$ を細分化した微小距離 $dX_{i,j,k}$ (k は自然数) の間における時間の増分 $dT_{i,j,k}$ について、確率パラメータ (μ, σ) を用い、さらに、揺らぎ成分としてウィナー過程の増分 $dB_{i,j}$ を用いて、下記の (2) 式の微分方程式にて列車運行をモデル化する。

10

【数 2】

$$dT_{i,j} = \mu dX_{i,j} + \sigma dB_{i,j} \cdots (2)$$

【 0 0 4 1 】

微小距離 $dX_{i,j,k}$ をすべて加算すると単位距離 $X_{i,j}$ となる。また、ウィナー過程 $B_{i,j}$ の初期値はその定義によってゼロである。そして、制約モデルの (1) 式で得られる $T^{(a)}_{i,j}$ を予測時刻の初期値として用いる。このとき、(2) 式の微分方程式は一意に解けて、下記の (3) 式を得る。これを「ブラウン運動モデルによる予測方法」と呼ぶこととする。

20

【数 3】

$$\sum dX_{i,j,k} = X_{i,j}, dB_{i,j,0} = 0, \text{初期値 } T^{(a)}_{i,j} \Rightarrow$$

$$T^{(b)}_{i,j} = T^{(a)}_{i,j} + \mu T_{i,j} + \sigma B_{i,j} \cdots (3)$$

【 0 0 4 2 】

確率パラメータ (μ, σ) については、過去における予測結果と実績値とから誤差観測を行い、それぞれ誤差の平均値 μ' 、標準偏差値 σ' をもって推定することができる。しかし、どのサンプルをどのように選んで誤差と考えるかによって、用いる確率パラメータの値が異なることとなる。すなわち、ブラウン運動モデルに予測方法を限っても、統計サンプルの選択によって多種多様な方法がある。

30

【 0 0 4 3 】

例えば、特定の列車、特定の駅について前日までの一定期間での予測誤差の傾向を観測した場合、当該駅での乗継接続など駅固有の問題などがより色濃く反映された確率分布となる。また、特定の列車について、直前駅までの、当日の予測誤差の傾向を観測した場合、当該列車に乗務する運転士の運転操作の癖などがより色濃く反映された確率分布となる。また、先行列車について、特定の駅での当日の予測誤差の傾向を観測した場合、天候、代替輸送影響などがより色濃く反映された確率分布となる。さらに、後続列車について、特定の駅での当日の予測誤差の傾向を観測した場合、当該駅での急病人の影響で間隔調整のために先行列車を待機させた場合などがより色濃く反映された確率分布となる。このように、どのサンプルをどのように選んで予測値との誤差を考えるかによって、予測結果が異なる。

40

【 0 0 4 4 】

予測値と実測値との誤差は、概して、前日までの特定の列車の運行に固有の動き (A)、当日の運行状況全体が感応する動き (B)、予測不可能な出来事 (C) に基づいて発生する。したがって、異なるサンプルに基づく予測誤差を効率的に組み合わせる利用することによって予測不可能な C の要因の影響を薄めて、全体的な予測誤差を抑制することができる。例えば、特定列車の特定駅では乗継接続が行われて遅れがちとなる傾向は前日までの動きとして誤差の実績値に現れる。あるいは、もし当日に雨が降ると乗降時間が増えて

50

、注目する列車以外にも列車運行全体に遅れがちな傾向が現れる。このように、前日までの動き A は固定的であり、当日の運行状況全体が感応する動き B に応じて最終的な予測誤差が定まると考えることができる。

【 0 0 4 5 】

そこで、ブラウン運動モデルによる 2 種類の予測方法 A (前日までの傾向) , 予測方法 B (当日の傾向) に基づく 2 種類の予測誤差 A , B を考える。ここでは、A , B 2 変数での計算例を記載するが、3 つ以上の確率分布を踏まえるよう、3 変数以上を用いて対応する多変数最適化計算をしてもよい。またブラウン運動モデルに限らず予測方法には多種多様な方法があるため、他の予測方法を組み合わせてもよい。

【 0 0 4 6 】

いま、予測方法 A と予測方法 B の適用比率をそれぞれ q , r ($q + r = 1$) として両者を組み合わせる場合の最終的な予測誤差を考える。この最終的な予測誤差の分散 Dp は、予測方法 A による予測誤差の分散 a , 予測方法 B による予測誤差の分散 b , 及び予測方法 A による誤差分散と、予測方法 B による誤差分散の共分散 ab を用いて、下記の (4) 式を用いて表すことができる。分散 Dp は予測が外れるリスクの度合いを示している。

【数 4】

$$Dp = q^2 \cdot \sigma_a^2 + 2qr \cdot \sigma_{ab} + r^2 \cdot \sigma_b^2$$

・・・ (4)

【 0 0 4 7 】

(4) 式は予測方法 B (当日の傾向) の適用比率 r から見た 2 次方程式であり、 r の分布は極値を持つ。すなわち、(4) 式で $Dp = 0$ として 2 次方程式の r の解を得ると q も定まる。それらの適用比率 q , r は、予測が外れるリスクを最小化する最適解を構成する。

【 0 0 4 8 】

予測方法 A の場合の誤差平均 μ_a , 予測方法 B の場合の誤差平均 μ_b を用いて、予測結果となる列車到着時刻 $T^{(b)}_{i,j}$ は、(5) 式のように得ることができる。 $T^{(a)}_{i,j}$ の初期値には制約モデルの予測方法で得られる予測値を用いる。ウィナー過程を示す $B_{i,j}$ は期待値ゼロと見なしてもよい。あるいは、(2) 式に基づいて揺らぎを逐次計算し、総和しても求めることができる。

【数 5】

$$T^{(b)}_{i,j} = T^{(a)}_{i,j} + q\mu_a + r\mu_b + (q\sigma_a + r\sigma_b)B_{i,j}$$

・・・ (5)

【 0 0 4 9 】

前日までの傾向 A を反映する予測方法では、列車到着時刻等の予測値と実績値とをすべて記録しておけば、統計処理としてそれらの平均、分散の値を計算することができる。しかし当日の傾向 B を反映する予測方法では、特定駅への列車到着のたびに予測値と実績値の更新が入るため、前日までの傾向 A の誤差分散と当日の傾向 B の誤差分散の共分散を全記録に基づいて計算することとなり、システムへの計算負荷が過大となる。そこで、既存の分布に新しいサンプルを加える計算式である (6) 式を用いる。(6) 式は、既存の n 個のサンプルに、新たな実績値のサンプル x が加わったことを示している。

【数 6】

$$\mu'_a = (n\mu_a + x) / (n + 1)$$

$$\sigma'^2_a = ((n - 1)\sigma_a^2 + (x - \mu_a)(x - \mu'_a)) / n$$

$$\sigma'^2_{ab} = \{n\sigma_{ab}^2 + (x - \mu_a)(y - \mu_b)\} / (n + 1)$$

$$n' = n + 1$$

10

(6)

【0050】

(6)式はサンプルとしての予測誤差が正規分布をとることを想定した計算式である。予測値と実測値の差分を差分予測誤差と呼ぶ。差分予測誤差は±10秒などと表現することが慣例であり、そのまま一連の数式に適用してもよい。ここでは(3)式を拡張して、(7)式の計算式を用いる。すなわち、制約モデルに基づく予測値 $T^{(a)}_{i,j}$ と求めたい予測値 $T^{(c)}_{i,j}$ との比を E_r とし、比 E_r の対数値を予測誤差とする。例えば、比 E_r が1.1倍であれば遅延側の誤差、0.9倍であれば早着側の誤差と解釈する形の表現方法である。

20

【数 7】

$$\log\left(\frac{T^{(c)}_{i,j}}{T^{(a)}_{i,j}}\right) = \tilde{\mu} + \tilde{\sigma}\tilde{B}_{i,j}$$

(7)

【0051】

一方、列車到着時刻はおおむね対数正規分布をとる。また、上記制約モデルあるいはブラウン運動モデルに基づく予測誤差も対数正規分布をとる。すなわち、予測値、実績値は対数正規分布をとる。従って、予測値と実績値の比も対数正規分布をとり、予測値と実績値の比の対数値である予測誤差は正規分布となる。このため、予測値と実績値の比の対数値は、(6)式の計算の前提である正規分布に適合する。(7)式を用いると、予測誤差が負の値を取らないため、確率分布に関わる計算式の補正を要せずに、直接、正確かつ高速に利用できる。

30

【0052】

以上の本発明の実施形態による列車運行予測の基本原則を整理すると、本実施形態で開示する予測方法には(1)式、(3)式、(7)式で表現される方法があり、(3)式及び(7)式は、(1)式を初期値として内部で利用する。さらに、それぞれの数式において、過去の実績値の中からどのサンプルをどのように選んで確率分布と考えるかには多種多様なバリエーションがある。すなわち、確率過程を構成するどの実績値を選ぶかによって計画情報や統計記録の形式は微小に異なる。ただし、その形式の変更は、適宜反映されればよい。また、説明の簡単化のために、本実施形態では列車到着時刻のみについて説明したが、列車運行における他の事象(列車出発時刻等)の予測に用いてもよい。あるいは、本実施形態の予測方法は、列車運行に限らず移動体全般に適用することができる。

40

また、本実施形態では、説明の簡単化のために、(3)式をベースとしてテーブルデータの構成例を示しているが、他の数式を用いてもよい。(7)式を用いる場合には、予測値の補正には(5)式に代えて(8)式を用いればよい。

【数 8】

$$T_{i,j}^{(c)} = T_{i,j}^{(a)} e^{q\mu_a + r\mu_b + (q\sigma_a + r\sigma_b)B_{i,j}}$$

(8)

【0053】

次に、以上説明した本発明による列車運行予測方法を適用して構成した運行予測システム100が実行するデータ処理について具体的に説明する。図7は、列車運行ダイアグラムに基づく列車運行に関わる初期計画値について、実績値を反映して予測値を得るための予測処理フロー例を説明する図である。この予測処理は、運行予測システム100に格納されている予測モジュール110のプログラムによって実現され、特に予測値を補正するための処理は、補正計算部114によって実行される。なお、この予測処理の実行タイミングは、データサーバ200に格納されている実績計画データ220が変更された時と設定することが一般的であるが、適宜の時間間隔をもって定期的に行ったり、外部からの実行指示に基づいて実行したりするように設定してもよい。

10

【0054】

予測モジュール110は、S701（符号Sは「ステップ」を表す。以下本明細書において同じ。）で処理を開始すると、まずパラメータ120の設定を行う（S702）。予測モジュール110は、あらかじめ作成してメモリ12等に格納しておいたパラメータ（例えば、予測対象列車、対象駅、確率分布（予測誤差）の種類、対象時間範囲）の初期値を読み込み、後述するユーザ入力があればパラメータ初期値をユーザ入力値で置き換える処理も行う。

20

【0055】

ユーザ入力は、例えば図9A、図9Bに示すユーザ入力画面900、910を利用することができる。図9Aは運行予測システム100により予測処理を実行させる対象を設定するための予測処理設定画面900の例であり、チェックボックス、テキスト入力により、予測処理を行う線区、時間範囲を設定することができるようにしている。なお、予測処理を開始する場合、常時運行予測システム100が管理する全線区の全列車、全駅を対象とするように設定しておいてもよい。

【0056】

30

本実施形態では、パラメータ初期値があらかじめ設定されており、S702において、図9Bのユーザ入力画面を表示してユーザ入力を受け取るように構成している。図9Bのユーザ入力画面910は、どのサンプルをどのように選んで誤差と考えるか、すなわち、計算対象とする確率分布を指定する。選択された確率分布に対応するテーブル（計画情報テーブル300、統計記録テーブル400、500）はあらかじめデータサーバ200に用意しておく。予測処理に用いる現在時刻のデータは、図9Bの入力画面を通じて設定可能と構成してもよいし、コンピュータ10のプロセッサ11が使用している現在時刻を用いてもよい。

【0057】

図9Bのユーザ入力画面910では、具体的にはユーザは初期計画の補正に利用する実績値の利用範囲を指定する。本実施形態の運行予測システム100は、予測方法Aと予測方法Bの2つの方法で求めた予測誤差を扱うので、ユーザは入力画面910を用いてそれぞれの誤差を計算する対象（例えば、対象列車、対象駅、確率分布（予測誤差）の種類、対象時間範囲）をパラメータとして指定する。予測範囲として、列車の種類には、当該列車、先行列車、後続列車などがある。駅の種類には、当該駅、前駅、次駅などがある。時間範囲には、当日、前日、前日までの複数日などがある。実績値の利用方法には、これらの組み合わせが考えられ、前記のようにこれらの指定をパラメータとして扱う。具体的には、例えばユーザ入力画面910を表示し、ユーザが利用する実績値を選択することによって、S702及び/又はS802において、パラメータ設定を行えるようにしている。当該列車のチェックボックスにチェックを入れると、予測方法A向けに、列車ID401

40

50

ごとの統計記録データ450を作成する。図9Bでは省略しているが、画面下方に表示領域をスクロールすることによって、予測方法B向けに、同様の指定項目を用意している。本実施形態では(4)式によって算出している2つの予測モデルの適用比率をユーザ入力で指定可能としてもよい。ユーザ入力画面910を介してユーザが利用する実績値の組み合わせの数だけ、統計記録テーブル400, 500に対応するテーブルをあらかじめ準備しておく。統計計算部113、補正計算部114では、設定可能な実績値の組み合わせに応じた統計記録処理を実行可能とする数式等をあらかじめ用意しておく。

【0058】

S703において、統計計算部113は、設定されたパラメータに基づいて予測誤差Aを計算し、統計記録テーブル400を作成し、あるいは作成済みの統計記録テーブル400を更新する。その詳細な処理方法は、図10を用いて後に説明する。パラメータ120において、予測誤差Aが前日までのサンプルを使用するように指定されている場合、統計計算部113は、あらかじめ計算してメモリ12上に格納しておいた予測誤差Aを取得してもよい。

【0059】

次に、S704において、統計計算部113は、設定されたパラメータに基づいて予測誤差Bを計算し、統計記録テーブル500を作成し、あるいは作成済みの統計記録テーブル500を更新する。その詳細な処理方法は、図10を用いて後に説明する。

【0060】

次いで予測モジュール110は、S705において、予測対象となる列車ID301を特定する。予測処理の対象となる列車ID301が存在すると判定すれば、予測モジュール110は、初期計画データ210を参照し、現在時刻以降で対象駅を出発あるいは対象駅に到着する列車の順に予測対象を選択する。予測モジュール110は、さらに、制約計算部112に格納されたプログラムをコールし、初期計画データ210、実績計画データ220を読み込み、(1)式を用いて制約計画データ230を作成して、メモリ12に保存する。すべての予測対象となる列車ID301について計算が終了したと判定すれば、予測モジュール110は予測処理を終了する(S709)。

【0061】

次に、S706において、予測モジュール110の補正計算部114は、予測誤差Aの傾向を次の予測に反映する比率rと予測誤差Bの比率qとについて、(4)式を用いて最適値を計算する。

【0062】

次に、S707において、補正計算部114は、(5)式を用いて、実績値に基づく予測誤差を反映した予測補正量(補正平均値、補正分散)を決定し、予測到着時刻 $T_{i,j}$ 、補正平均値、補正分散の値を算出する。補正平均値は、予測誤差A、Bそれぞれの平均値に比率q、rを乗じて加算したものである。補正分散も同様に、予測誤差A、Bそれぞれの分散に比率q、rを乗じて加算することにより得られる。

【0063】

次に、S708において、予測モジュール110は、(5)式を用いて予測値を計算する。予測誤差A、Bの比率q、rはS706で算出済みである。予測到着時刻の初期値 $T_{(ini)}_{i,j}$ は、制約計画データ230の対応する予測値を用いる。平均値 μ 、分散は対応する計画情報から読み出し、ウィナー過程を示す $B_{i,j}$ は期待値ゼロとして扱う。これによって、(5)式は一意的な数値を生成する。

【0064】

なお、図7の例ではS708において予測結果を出力すると、予測モジュール110はS705に戻って予測対象の特定を行い、予測対象がないと判定した場合には、処理を終了する構成としている。しかし、S705で予測対象がないと判定した場合に、さらに列車運行状況に応じて実績計画データ220が更新されているかを判定し、更新されていると判定した場合はS702に戻ってあらたな予測処理を実行するようにしてもよい。

【0065】

10

20

30

40

50

次に、本実施形態の運行予測システム 100 によって実行される、図 7 に例示した一連の予測処理について、図 3 A ~ 図 3 D、図 4、及び図 5 を用いて、より具体的に説明する。以下においては、列車 ID 401 が「001」で特定される列車（以下「当該列車」）が、駅 ID 403 が「AA4」で特定される駅（以下「当該駅」）に到着する時刻を予測する場合を説明する。

【0066】

図 7 の S703 において、予測誤差 A には、前日までの列車、駅ごとの統計記録（図 4 の統計記録テーブル 400）を用いる。S704 において、予測誤差 B には、当日の駅、時間帯ごとの統計記録（図 5 の統計記録テーブル 500）を用いる。S705 において、運行予測システム 100 が管理する全列車について順次処理していく中で、当該列車が当該駅に到着する到着時刻に着目する場合を考える。

10

【0067】

図 4 において、当該列車の当該駅到着の計画時刻 404 は 14 時である。これは、図 3 A の初期計画データ 210 において、列車 ID 301 が「001」である列車で計画された到着時刻 305 と整合する。図 4 の前日分までの統計記録データ（列車・駅別データ 450）において、当該列車の当該駅における到着時刻を予測した予測値と実績値の誤差平均 405 は 20 秒であり、誤差分散 406 は 5 秒、サンプル数 408 は 33 である。この統計数値の例では、予測誤差 A では、誤差分散はある程度少なく、またサンプル数が多いことから、ある程度の信頼性がある誤差平均値の予測を生み出す傾向がある。

【0068】

20

一方、図 5 において、図 4 における当該列車（列車 ID 401 = 001）の当該駅への到着計画時刻 404 である 14 時を含むのは、時間帯 503 = 13:41 ~ 14:00 である 1 行目のレコードであり、予測誤差 B では、誤差平均 504 は 35 秒、誤差分散 505 は 28 秒、サンプル数 507 は 5 である。この統計数値の例では、予測誤差 B では、誤差平均 504 から見て先行列車では予測誤差に大きめの遅れが生じている傾向があり、誤差分散 505 は予測誤差 A の場合より大きいこととサンプル数 507 が少ないことから、誤差平均値への信頼性が低いことがわかる。

【0069】

図 7 の S706 において、予測誤差 A の誤差分散 406 である 5 を a 、予測誤差 B の誤差分散 505 である 28 を b 、共分散 407 及び共分散 506 の -0.11 を ab として、予測外れリスク $Dp = 0$ と置いて、(4) 式の 2 次方程式の解、すなわち予測適用比率 q （あるいは r ）の最適値を計算する。なお、予測誤差 A と予測誤差 B との共分散は、この時点で -0.11 であり、ゼロに近く、2 つの確率分布はあまり連動しない傾向を示している。

30

【0070】

S707 において、当該列車が当該駅に到着する到着時刻の予測値を得る。予測誤差 A と予測誤差 B のどちらか片方だけの確率分布によっても当該列車の当該駅への到着時刻予測が可能であるが、予測適用比率 q （あるいは r ）の最適値は、複数の予測誤差の傾向を反映し、予測外れリスクを最小化して安定して高精度な予測値を生成することを可能とする。

40

【0071】

S708 において、予測計画データ 250（図 3 D）の到着時刻 305 として予測値を出力する。なお、以上の予測処理手順によって、同様に出発時刻を予測してもよい。

【0072】

次に、本実施形態における統計情報の更新処理について説明する。図 8 は、運行予測における実績値と予測値との誤差に基づいて統計情報を更新する処理手順を説明する図である。ここで利用される統計計算方法は、予測モジュール 110 の統計計算部 113 にプログラムとして格納されている。

【0073】

この統計情報更新処理は、例えばデータサーバ 200 に格納されている実績計画データ

50

220が変更された(サンプルが追加された)ことを契機として実行することができる。図8のS801で処理を開始すると、まず統計計算部113は、S802において、図7の予測処理におけるS702の処理と同様に、パラメータ120の設定を行う。次いで、統計計算部113は、S803において、初期計画データ210、実績計画データ220、制約計画データ230、統計記録データ240、及び予測計画データ250を読み込む。

【0074】

次に、統計計算部113は、S804において、(7)式を用いて、実績計画データ220内の実績値と予測計画データ250内の予測値との比、及びその比の対数値を計算する。時刻T1の時点で予測値を算出し、その予測値に対する実績値が時刻T2($>T1$)以降に入力される。実績計画データ220において実績値が未入力の項目については予測誤差が計算できないため、処理をスキップする。統計記録テーブル400, 500の管理409、管理508の項目において、どの予測値の予測誤差が集計済みかの記録を入れておく。S805において、統計計算部113は、予測計画データ250において、出発時刻304あるいは到着時刻305の予測値が作成済みであって、統計記録テーブル400, 500において予測誤差が集計済みでなければ、(6)式を用いて統計記録データ(例えば誤差平均、誤差分散、共分散、サンプル数)を作成し、あるいは更新して処理を終了する(S806)。以上の統計情報更新処理により、運行予測システム100により得られた列車運行に関する予測値に対する実績値の誤差が適時に予測処理に反映され、運行予測精度を向上させることができる。

【0075】

次に、本実施形態の運行予測システム100における予測結果出力例について説明する。図10は、予測結果出力画面例を説明する図である。予測結果出力画面は、運行予測システム100の予測モジュール110が算出した予測結果について生成され、入出力装置14のモニタ画面、運転支援システム1000の列車車上モニタ画面等に出力される。

【0076】

画面80は計画情報を図示しており、位置81、時間82の2次元空間を示している。例えば(出発駅、出発時刻)-(到着駅、到着時刻)というベクトルは通常の列車運行ダイヤグラムと同様に、列車の移動を線分で表している。すでに説明したように、列車到着時刻の予測値は確率分布しており、平均値、分散によって定まる確率密度関数を用いて表現することができる。図10では、この確率密度関数の出力値の大きさに比例して予測的中確率の分布を示す領域84(三角形の領域)内を濃淡で表現している。図10の例では、その下段に模式的に示しているように、領域84は、列車を表す線分上で当該列車が減速を開始する位置を頂点とし、到着時刻の初期予測値に対して最も遅れる場合と最も早まる場合の予測誤差に対応する到着予測時刻へ前記頂点からそれぞれ引いた線分と駅位置を示す水平線との2つの交点とで形成される三角形として規定している。到着時刻の予測値を示す確率分布は初期予測値において最大値をとり、延着側、早着側にそれぞれ減少する形態となるので、その確率分布の適宜の数値範囲で領域84を微小領域84Aに分割し、各領域84Aに確率密度に対応した表示濃度を割り当てるようにしている。このような表示方法はあくまでも一例であり、初期予測値に対する確率分布の変化を視覚的に表現できる形態であればどのような表示形態を採用してもよい。

【0077】

ここで、統計情報として統計記録テーブル400等に格納されている誤差分散406などは正規分布を仮定した数値なので、確率密度関数の出力値をそのまま利用すると平均値に対して左右均等な分布となる。実際には(8)式に示す対数正規分布が予測誤差分布の本来の形状であり、図10の列車ID=001を表す線分の右側(延着側)に確率密度の分布が偏るのが本来である。そこで、あらかじめ定めた定数を用いて平均値より大きな出力を取る確率密度(到着遅れ側の確率密度)を高めて描画する方法を図7のS708(予測結果出力ステップ)に備えることにより、より実際に即した適切な濃淡表現を近似的に得ることができる。あるいは、(8)式自体を確率密度関数として用いてもよい。図10

の予測結果出力画面例によれば、到着列車 8 0 6 の到着予測時刻に同期させて、出発列車 8 0 5 の出発時刻を定めて出発制御することによって、到着列車が発生する回生電力を出発列車が有効に活用することができ、鉄道システムの省エネルギー効果を高めることが可能となる。

【 0 0 7 8 】

以上詳細に説明したように、本実施形態の運行予測システム 1 0 0 によれば、異なるサンプル群に基づく運行予測に関する予測誤差を適宜に組み合わせることにより、最終的な運行予測に関する予測誤差を可及的に小さくして予測精度を高めることができる。これにより、特に鉄道システムにおいては、駅への到着列車が減速にともなって発生する回生電力を、当該駅を発車する他の列車の力行用電力として有効に消費させることができ、鉄道

10

【 0 0 7 9 】

なお、以上で説明した実施形態は一例であり、本発明はこれらに限られない。すなわち、本発明は様々な応用が可能であり、あらゆる実施の形態が本発明の範囲に含まれる。例えば本発明は鉄道システムにかぎらず、所定のスケジュールで運行される移動体（航空機、路線バスなど）を含む種々のシステムにおける運行状況の予測処理に適用することが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 0 】

1 業務支援システム

20

1 0 コンピュータ

1 1 プロセッサs

1 2 メモリ

1 3 補助記憶装置

1 4 入出力装置

1 5 通信装置

1 0 0 運行予測システム

1 1 0 予測モジュール

1 1 1 データ受信部

1 1 2 制約計算部

30

1 1 3 統計計算部

1 1 4 補正計算部

1 1 5 データ送信部

1 2 0 パラメータ記憶部

2 0 0 データサーバ

2 1 0 初期計画データ

2 2 0 実績計画データ

2 3 0 制約計画データ

2 4 0 統計記録データ

2 5 0 予測計画データ

40

3 0 0 計画情報テーブル

4 0 0 , 5 0 0 統計記録テーブル

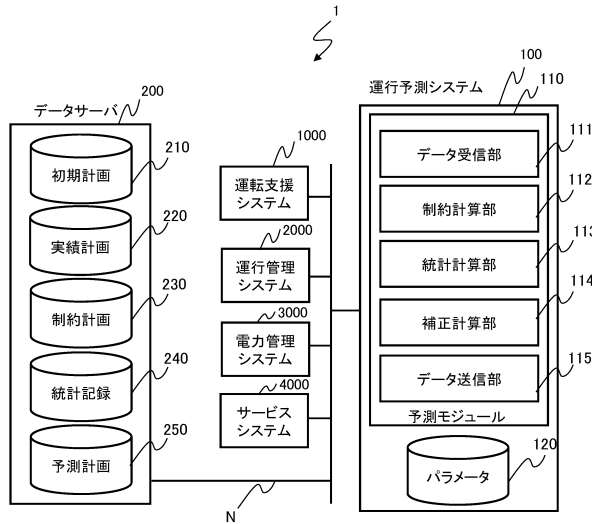
1 0 0 0 運転支援システム

2 0 0 0 運行管理システム

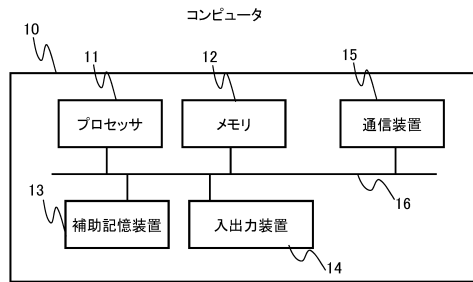
3 0 0 0 電力管理システム

4 0 0 0 サービスシステム

【図 1】



【図 2】



【図 3 D】

計画情報テーブル300
(予測計画データ250)

列車ID	出発駅ID	到着駅ID	出発時刻	到着時刻	遅延	管理
001	AA5	AA4	13:55:00	14:00:00		予測
001	AA4	AA3	14:01:00	14:05:00		予測
003	AA3	AA2	14:06:00	14:11:00		予測
...						

【図 4】

統計記録テーブル400
(列車・駅別データ450)

列車ID	出発駅ID	到着駅ID	計画時刻	誤差平均	誤差分散	共分散	サンプル数	管理
001	AA5	AA4	14:00	20	5	-0.11	33	駅・時間帯別
002	AA4	AA3	14:10	2	15	0.41	33	駅・時間帯別
003	AA3	AA2	14:20	12	8	0.62	33	駅・時間帯別
...								

【図 5】

統計記録テーブル500
(駅・時間帯別データ550)

出発駅ID	到着駅ID	時間帯	誤差平均	誤差分散	共分散	サンプル数	管理
AA5	AA4	13:41-14:00	35	28	-0.11	5	列車・駅別
AA5	AA4	14:01-14:20	24	18	0.44	6	列車・駅別
AA5	AA4	14:21-14:40	23	34	0.55	5	列車・駅別
...							

【図 3 A】

計画情報テーブル300
(初期計画データ210)

列車ID	出発駅ID	到着駅ID	出発時刻	到着時刻	遅延	管理
001	AA5	AA4	13:55:00	14:00:00		初期
001	AA4	AA3	14:01:00	14:05:00		初期
003	AA3	AA2	14:06:00	14:11:00		初期
...						

【図 3 B】

計画情報テーブル300
(実績計画データ220)

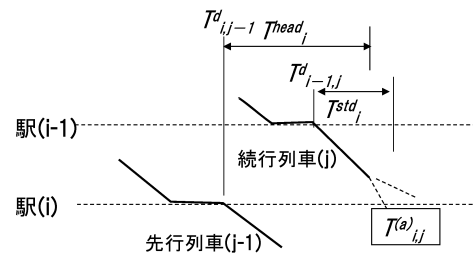
列車ID	出発駅ID	到着駅ID	出発時刻	到着時刻	遅延	管理
001	AA5	AA4	13:57:00	14:02:00	2分	実績
001	AA4	AA3	14:01:00	14:05:00		実績
003	AA3	AA2	14:06:00	14:11:00		実績
...						

【図 3 C】

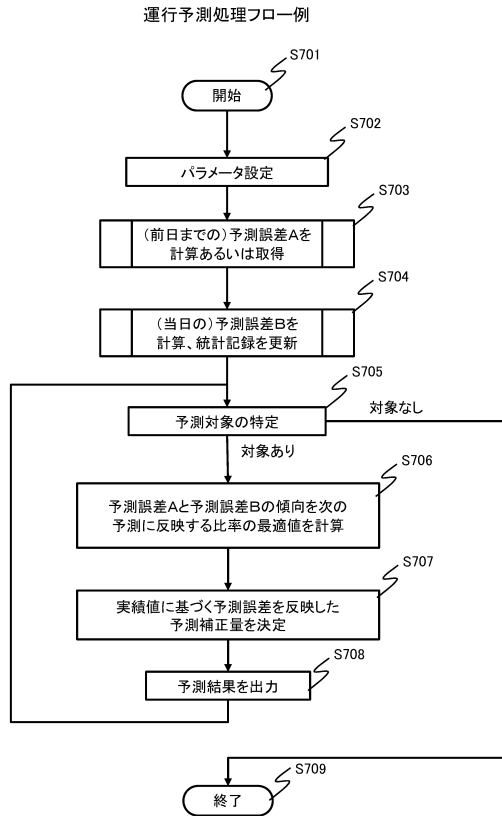
計画情報テーブル300
(制約計画データ230)

列車ID	出発駅ID	到着駅ID	出発時刻	到着時刻	遅延	管理
001	AA5	AA4	13:55:00	14:00:00		制約
001	AA4	AA3	14:01:00	14:05:00		制約
003	AA3	AA2	14:06:00	14:11:00		制約
...						

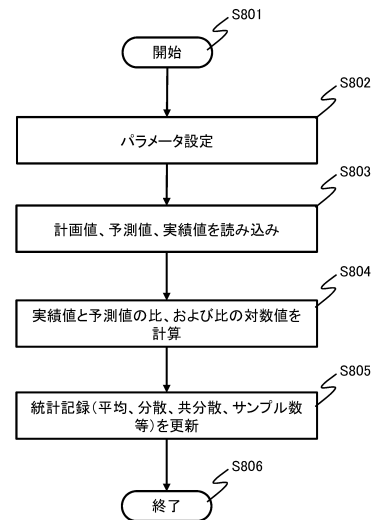
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9 A】

900

予測処理設定

対象線区 対象時間範囲

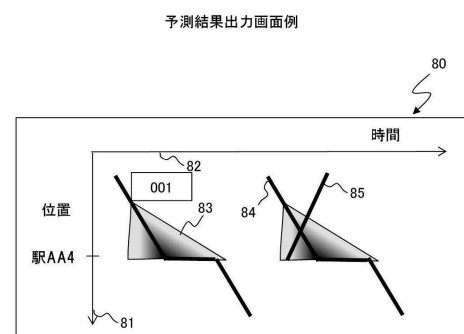
☒ ABC線 ☒ 全日

☒ XYZ線 時間範囲指定

対象列車 9:00-15:00

☐ 全列車

【図 10】



【図 9 B】

910

実績値利用範囲指定

予測方法A

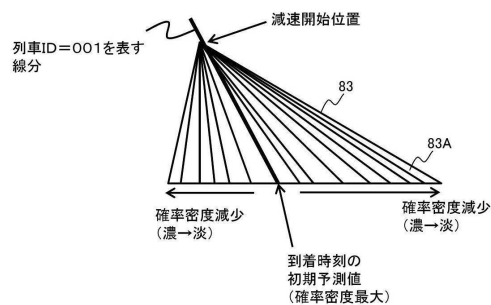
☒ 当該列車 ☒ 当日

☒ 当該駅 ☒ 前日

☒ 前日まで 14 日前から

☒ 当日

☒ 前日



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平7 - 52803 (JP, A)
特開2005 - 196238 (JP, A)
特開2005 - 122438 (JP, A)
特開2007 - 257374 (JP, A)
特開2003 - 191846 (JP, A)
特開平9 - 132143 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B61L	1 / 00 - 99 / 00
G06Q	50 / 30
G08G	1 / 00