

明 細 書

発明の名称：車両制御装置、車両制御方法、プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、車両制御装置、車両制御方法、プログラムに関する。

本願は、2017年02月21日に、日本に出願された特願2017-29641号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 車両の自動運転の技術において、車両を所定の停車位置に停止させる技術が特許文献1や特許文献2に開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5395398号公報

特許文献2：特開2016-19411号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1には、晴天時、雨天時などの条件に応じた調整パラメータを保持し、列車の走行中に適切なパラメータを選択することで、停止精度を高める方法が記載されている。

また特許文献2には、走行中の駆動力と列車の動きから、列車の特性を学習することが記載されている。

[0005] しかしながら特許文献1の技術では、路面状態やブレーキの個体差といったセンシングが難しいことにより、異なる条件に対応する動特性モデルの切り替えを上手く行うことは難しいと予想される。

また特許文献2の技術では、走行中の駆動力と列車の動きから列車の特性を学習する。しかしながら特許文献2の技術では、センシングする速度のノイズや通信遅延等の外乱を考慮できるモデルになっておらず、実機での停止誤差が大きくなることが懸念される。

[0006] そこでこの発明は、様々な条件下においてより精度高く所定の停車位置で停止することのできる車両制御装置、車両制御方法、プログラムを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の第1の態様によれば、車両制御装置は、所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する学習部と、過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測する予測部と、前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新する制御部と、を備えることを特徴とする。

[0008] 上述の車両制御装置において、前記制御部は、前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新し、当該変更対象パラメータを含む走行条件パラメータを用いて自動停止制御の計算を行ってよい。

[0009] 上述の車両制御装置において、さらに、前記実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差を算出する停止誤差算出部を備えてよい。

[0010] 上述の車両制御装置において、前記停止誤差算出部は前記停車位置から所定の距離手前に設置された地上マーカの検出タイミングから停車するまでの前記車両を構成する機械の動作量に基づいて前記実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差を算出してよい。

[0011] 上述の車両制御装置において、前記停止誤差算出部は、過去に前記予測部の予測した誤差と実際の誤差との関係を複数用いて設定された関係式に基づいて算出した停止誤差を補正してよい。

[0012] 上述の車両制御装置において、前記学習部は、前記誤差と、低速制御において用いられる前記走行条件パラメータを用いて前記機械学習により前記モデル式を算出してよい。

- [0013] 上述の車両制御装置において、前記学習部は、自装置の能力に応じた機械学習の手法を用いて前記モデル式を算出してよい。
- [0014] 上述の車両制御装置において、前記停止誤差算出部は、前記変更対象パラメータの補正前の値と補正後の値とを前記機械学習に用いる走行条件パラメータとして記録してよい。
- [0015] 本発明の第2の態様によれば、車両制御方法は、所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出し、過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測し、前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新することを特徴とする。
- [0016] 本発明の第3の態様によれば、プログラムは、車両制御装置のコンピュータを、所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する学習手段、過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測する予測手段、前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新する制御手段、として機能させることを特徴とする。

発明の効果

- [0017] 本発明によれば、様々な条件下においてより精度高く所定の停車位置で停止する車両の制御を行うことができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]本発明の一実施形態による車両制御システムを示す図である。

[図2]本発明の一実施形態による車両制御装置のハードウェア構成を示す図である。

[図3]本発明の一実施形態による車両制御装置の機能ブロック図である。

[図4]本発明の一実施形態による車両制御装置の処理フローを示す図である。

[図5]本発明の一実施形態による誤差記憶部の記憶するデータテーブルを示す図である。

[図6]本発明の一実施形態による予測誤差と誤差の実測値との対応関係を示す図である。

[図7]本発明の一実施形態による学習アルゴリズムの決定フローを示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] <第一の実施形態>

以下、本発明の第一実施形態による車両制御装置を図面を参照して説明する。

図1は同実施形態による車両制御装置を備えた車両制御システムを示す図である。

この図で示すように車両制御システム100は、列車10と、当該列車10に備わる車両制御装置1と、列車10が走行する軌道Lの停車位置の手前に設置された地上子とを少なくとも含んで構成される。地上子は地上マーカの一例である。

車両制御装置1は、一例として軌道Lに設定された所定の停車位置Sに列車10の先頭位置を合わせるように自動停止を行う制御を行う。車両制御装置1は地上子20と通信を行って、その地上子20を通過した時点から停車位置S'までの距離を計測し停止誤差を算出する。車両制御装置1は過去に算出した停止誤差の情報をその後の停止制御に利用する。

[0020] 図2は第一実施形態による車両制御装置のハードウェア構成を示す図である。

図2で示すように車両制御装置1は、CPU (Central Processing Unit)

１０１、ＲＯＭ（Read Only Memory）１０２、ＲＡＭ（Random Access Memory）１０３、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）１０４、信号受信モジュール１０５等を備えるコンピュータである。

[0021] 図３は第一実施形態による車両制御装置の機能ブロック図である。

車両制御装置１のＣＰＵ１０１は予め自装置で記憶するプログラムを実行することにより、制御部１１１、速度検出部１１２、位置検出部１１３、駆動部１１４、停止誤差算出部１１５、学習部１１６、予測部１１７、制御量抽出部１１８の各構成を備える。各機能部はそれぞれ独立した回路によって構成されてよい。

また制御装置１０は誤差記憶部１２１、モデル式記憶部１２２の各記憶部を備える。

[0022] 制御部１１１は列車１０の速度パターンを決定する制御を行うと共に、車両制御装置１に備わる他の機能部を制御する。

速度検出部１１２は列車１０の速度を検出する。

位置検出部１１３は列車１０の位置を検出する。

駆動部１１４は列車１０のモータ等の駆動系装置を駆動する。

停止誤差算出部１１５は走行条件パラメータを用いて所定の停車位置Ｓで停車するために自動停止制御を行い、その制御結果を示す車両の実際の停車位置Ｓ'と所定の停車位置Ｓとの停止誤差を算出する。

学習部１１６は停止誤差と、自動停止制御で用いられた走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する。

予測部１１７は次の停車位置における停止誤差を推定する。

制御量抽出部１１８は制御部１１１や予測部１１７で演算に利用した走行条件パラメータを抽出する。

[0023] 本実施形態による車両制御装置１は、走行条件パラメータを用いて所定の停車位置Ｓで停車するために自動停止制御を行う。車両制御装置１はその制御の結果を示す車両の実際の停車位置Ｓ'と所定の停車位置Ｓとの誤差を算出し、その誤差と、自動停止制御で用いられた走行条件パラメータとの関係

を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する。車両制御装置 1 は、過去に算出されたモデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を推定する。車両制御装置 1 は、走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、自動停止制御で用いる変更対象パラメータを走行車両の停止誤差を補正する値に更新する。そして車両制御装置 1 は、更新された変更対象パラメータを含む走行条件パラメータを用いて自動停止制御の計算を行う。

[0024] 図 4 は第一実施形態による車両制御装置の処理フローを示す図である。

次に車両制御装置の処理フローについて順を追って説明する。

制御部 111 は軌道 L 上の走行位置と速度との関係を示す速度パターンデータを算出する。具体的には次の停車位置 S や、次の停車位置 S までの各位置における許容制限速度、停車位置までの加速度などの走行条件パラメータを用いて速度パターンデータを生成する。制御部 111 はその速度パターンデータを用いてモータや機械ブレーキなどを駆動する駆動部 114 を制御する（ステップ S101）。

[0025] 車両制御装置 1 は停車位置 S より手前の軌道 L に設置された地上子 20 を通過する際、当該地上子 20 と通信を行う。車両制御装置 1 の位置検出部 113 は地上子 20 からの地上子信号を受信すると、その地上子信号を停止誤差算出部 115 へ出力する。また速度検出部 112 は速度を検出し停止誤差算出部 115 に出力する。停止誤差算出部 115 は地上子信号の受信時刻から停止時刻までの時間と、各時刻における速度とに基づいて、地上子 20 より信号を受信したタイミングにおける列車 10 の先頭位置から実際の停車位置 S'（列車 10 の先頭の位置）までの距離 X を算出する。地上子 20 より信号を受信した位置から所定の停車位置 S までの距離 S_d は予め定められた距離である。したがって停止誤差算出部 115 は距離 S_d から距離 X を減じることにより停止誤差を算出する（ステップ S102）。なお停止誤差算出部 115 は、ホーム等に設けられた検出装置から停車位置を入力し、その停車位置 S' と、予めホームにおいて定められた停車位置 S との距離（停止誤

差)を $S - S'$ により算出してもよい。この場合、検出装置をホームに設置する必要がある。

[0026] 制御量抽出部118はその停止制御に対応する速度パターンデータの算出に用いられた走行条件パラメータを制御部111から取得する。制御量抽出部118はその走行条件パラメータを停止誤差算出部115へ出力する。停止誤差算出部115はステップS102で算出した停止誤差と、制御量抽出部118から取得した走行条件パラメータとを対応付けた誤差情報を誤差記憶部121に記録する(ステップS103)。停止誤差算出部115は、誤差情報に停止誤差を算出した停車駅やその停車駅の前の出発駅の情報を対応付けて誤差記憶部121に記録してよい。停止誤差算出部115は、停車駅に停車する度に、この記録の処理を行う。

[0027] 図5は第一実施形態による誤差記憶部の記憶するデータテーブルを示す図である。

この図が示すように誤差記憶部121は出発駅、到着駅、停止誤差、走行条件パラメータ(パラメータ1, パラメータ2, ...)を記憶する。走行条件パラメータは、具体的には、制動を開始する位置から目標停車位置Sまでの距離、速度制御の比例ゲイン、など、速度パターンデータの算出に用いる各種パラメータ値である。

[0028] 学習部116は誤差記憶部121のデータテーブルに記録されている情報を用いて機械学習処理を行い停止誤差予測のモデル式を算出する(ステップS104)。機械学習は、例えばディープラーニング法、ランダムフォレスト法、LASSO法、Q-Learning法などの手法を用いる。学習部116は算出したモデル式をモデル式記憶部122に記録する。学習部116は駅から発車する度に過去に誤差記憶部121に記録された情報を用いて機械学習によりモデル式を算出してモデル式記憶部122に記録されているモデル式を更新してよい。または学習部116は一定期間毎に過去に誤差記憶部121に記録された情報を用いて機械学習によりモデル式を算出してモデル式記憶部122に記録されているモデル式を更新してよい。

- [0029] 予測部 117 はモデル式記憶部 122 に記録されているモデル式を読み取る。また予測部 117 は次の停車駅までの間の速度パターンデータの算出に用いられる走行条件パラメータを制御部 111 から取得する。モデル式は各走行条件パラメータを入力することにより次の停車位置における誤差を予測する式である。予測部 117 はモデル式に制御部 111 から取得した走行条件パラメータを入力して次の停車位置における予測誤差を算出する（ステップ S105）。予測部 117 は誤差の予測に用いた走行条件パラメータと算出結果である予測誤差を制御量抽出部 118 へ出力してよい。制御量抽出部 118 はその走行条件パラメータと予測誤差を対応付けて誤差記憶部 121 に記録してよい。予測部 117 はまた、次の停車位置における予測誤差を制御部 111 へ出力する。
- [0030] 制御部 111 は予測誤差に基づいて速度パターンの生成に用いる走行条件パラメータを変更するか判定する（ステップ S106）。制御部 111 は予測誤差が 0 または 0 を基準とした所定の誤差範囲である場合には走行条件パラメータを変更せず、現状の走行条件パラメータを用いて速度パターンデータを生成する（ステップ S107）。制御部 111 は予測誤差が 0 を基準とした所定の誤差範囲を超える場合には、現状の走行条件パラメータを変更すると判定する。制御部 111 は複数の走行条件パラメータのうちの一つまたは複数を変更して予測誤差が 0 となるような速度パターンデータを生成する（ステップ S108）。
- [0031] 制御部 111 は予測誤差が $+\alpha$ である場合（列車 10 が次の停車位置で $+\alpha$ 距離をオーバーして停止すると予測された場合）には、一例として複数の走行条件パラメータのうち制動を開始する位置から目標停車位置 S までの距離を変更対象パラメータと特定し、このパラメータから α の値を減じて、当該速度パターンデータを算出する。これにより予測誤差が 0 となるような速度パターンデータを生成することができる。制御部 111 は変更対象パラメータとしてブレーキ力を特定し、このブレーキ力の値を変更して予測誤差を 0 に補正する速度パターンデータを算出してもよい。制御部 111 はそれ以

外の変更対象パラメータを特定し、この変更対象パラメータの値を変更して予測誤差を0に補正する速度パターンデータを算出してもよい。

[0032] 以上のような車両制御装置1の処理によれば、停車誤差を用いた機械学習に基づいて、次の停車位置における停止の予測誤差を算出することができる。車両制御装置1は、この予測誤差を補正するような走行条件パラメータを用いて速度パターンデータを算出するので、次の停車位置における停止誤差を減少させる運転制御を行うことができる。

[0033] <第二の実施形態>

停止誤差の精度はある程度の精度が要求される。精度を高めるために停車駅に専用のセンサを設置するのは高コストになるため回避することが求められる。そこで車両制御装置1の管理者は、車両制御装置1が予測した予測誤差と、実際の誤差との対応関係を管理者が実測し、その結果を用いて予測誤差に対応する補正誤差を示す変換式を車両制御装置1に記録する。

[0034] 図6は第二実施形態による予測誤差と誤差の実測値との対応関係を示す図である。

管理者は予測誤差と誤差の実測値との対応関係を複数得て、その関係に基づいて、図6中の線形近似曲線Mを表す式を求める。管理者は線形近似曲線Mを車両制御装置1に記録する。

[0035] 停止誤差算出部115は、位置検出部113から地上子信号を受信したタイミングから、モータの回転数計からパルス信号を入力する。このパルス信号の1パルス当たりの走行距離は予め定められる。1パルス当たりの走行距離Dは以下の式(1)により算出することができる。

[0036]
$$D = \text{車輪直径} \times \pi \div \text{ギヤ比} \div \text{モータ1回転あたりの総パルス数} \quad \dots$$

(1)

[0037] 停止誤差算出部115は、地上子20より信号を受信した位置から停車位置S'までの距離Xを式(2)により算出する。

[0038]
$$X = \text{パルスカウント数} \times D \quad \dots$$
 (2)

[0039] 停止誤差算出部115は地上子20を受信する位置における車両の先頭か

ら所定の停車位置Sまでの既知の距離Xから、式(2)により算出した距離X'を減じて誤差を算出する。停止誤差算出部115はこの誤差を線形近似曲線Mを用いて実測値に対応する誤差へと補正する。停止誤差算出部115はこの補正した値を停止誤差と決定する。

[0040] <第三の実施形態>

車両制御装置1の制御量抽出部118は、制御部111で停止制御に利用された走行条件パラメータのうち、列車10を低速で制御する際に用いられる走行条件パラメータを、機械学習で用いる走行条件パラメータとして取得してもよい。例えば、制御部111は停車時にTASC、終速制御を行う際に、残距離、荷重、路面抵抗などのTASC制御、終速制御に特有の走行条件パラメータを取得する。TASCとは、Train Automatic Stop-position Controlを示す。終速制御は物理モデル制御が難しい速度領域における停止制御である。これら低速時の制御では実際の速度と、制御部111で検出している速度との乖離(ノイズ)がある。したがって、この低速時に速度制御に用いられる走行条件パラメータを用いて機械学習を行うことで、速度にノイズが生じても停止精度に大きな影響を与えない予測誤差の算出の為のモデル式を算出することができるようになる。

[0041] <第四の実施形態>

学習部116の用いる機械学習の手法は、走行条件パラメータの数や、停止精度に極端に強い関係のある変数が有るかどうかによって定める。

例えば、停止精度に極端に強い関係のある変数が有るかを判定し(ステップS401)、Yesの場合、LASSO法などの回帰学習法を用いる。停止精度に極端に強い関係のある変数が無い場合(ステップS401:No)、走行条件パラメータの数が100以上など極端に多いかを判定し(ステップS402)、Yesの場合にはディープラーニング法などの特徴量学習法を用いる。ステップS402でNoの場合には、走行条件パラメータの数が数個未満など極端に少ないかを判定する(ステップS403)。ステップS403でYesの場合にはランダムフォレスト法などのアンサンブル学習法

を用い、Noの場合にはQ-Learning法などの強化学習法を用いる。

これにより、車両制御装置1ごとのメモリの制約や制御等の態様が異なる場合に、車両制御装置1の能力の態様に合わせた学習アルゴリズムを選定することができる。車両制御装置1の学習部116は自装置の処理能力や、機械学習において用いるパラメータ数の情報を取得して、その情報に基づいて機械学習の手法を上記フローに基づいて自動的に決定するようにしてもよい。

[0042] <第五の実施形態>

第一の実施形態で説明したように、制御部111は変更対象パラメータを特定し、この変更対象パラメータの値を予測誤差が0となるよう補正している。制御量抽出部118は、変更対象パラメータの補正值の変更前の値と変更後の値を取得し、これらを走行条件パラメータとして抽出し、停止誤差算出部115がその走行条件パラメータを誤差記憶部121に機械学習に用いるパラメータとして記録してもよい。

このような調整により、精度の高く予測誤差を算出することのできるモデルを学習部116において導くことができる。

[0043] 上述の各実施形態によれば、様々な条件下においてより精度高く所定の停車位置Sで停止する車両の制御を行うことができる。

[0044] 上述の車両制御装置1は軌道Lを走行する列車10の走行速度を制御する装置であるが、他の車両についての走行速度を同様の処理により制御するものであってよい。例えば定期運行バスを制御するものであってもよい。

[0045] 上述の車両制御装置1は内部に、コンピュータシステムを有している。そして、車両制御装置1に上述した各処理を行わせるためのプログラムは、当該車両制御装置1のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムを車両制御装置1のコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM

、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

- [0046] また、上記プログラムは、前述した各処理部の機能の一部を実現するためのものであっても良い。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であっても良い。

産業上の利用可能性

- [0047] 本発明は、様々な条件下においてより精度高く所定の停車位置で停止することのできる車両制御装置、車両制御方法、プログラムに関する。

符号の説明

- [0048] １・・・車両制御装置、１０・・・列車、２０・・・地上子、１１１・・・制御部、１１２・・・速度検出部、１１３・・・位置検出部、１１４・・・駆動部、１１５・・・停止誤差算出部、１１６・・・学習部、１１７・・・予測部、１１８・・・制御量抽出部、１２１・・・誤差記憶部、１２２・・・モデル式記憶部

請求の範囲

- [請求項1] 所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する学習部と、
- 過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測する予測部と、
- 前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新する制御部と、
- を備える車両制御装置。
- [請求項2] 前記制御部は、前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新し、当該変更対象パラメータを含む走行条件パラメータを用いて自動停止制御の計算を行う
- 請求項1に記載の車両制御装置。
- [請求項3] 前記実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差を算出する停止誤差算出部を備える請求項1または請求項2に記載の車両制御装置。
- [請求項4] 前記停止誤差算出部は前記停車位置から所定の距離手前に設置された地上マーカの検出タイミングから停車するまでの前記車両を構成する機械の動作量に基づいて前記実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差を算出する
- 請求項3に記載の車両制御装置。
- [請求項5] 前記停止誤差算出部は、過去に前記予測部の予測した誤差と実際の誤差との関係を複数用いて設定された関係式に基づいて算出した停止誤差を補正する請求項3または請求項4に記載の車両制御装置。
- [請求項6] 前記学習部は、前記誤差と、低速制御において用いられる前記走行条件パラメータを用いて前記機械学習により前記モデル式を算出する

請求項 1 から請求項 5 の何れか一項に記載の車両制御装置。

[請求項7] 前記学習部は、自装置の能力に応じた機械学習の手法を用いて前記モデル式を算出する請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の車両制御装置。

[請求項8] 前記停止誤差算出部は、前記変更対象パラメータの補正前の値と補正後の値とを前記機械学習に用いる走行条件パラメータとして記録する

請求項 3 に記載の車両制御装置。

[請求項9] 所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出し、過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測し、

前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の停止誤差を補正する値に更新する

車両制御方法。

[請求項10] 車両制御装置のコンピュータを、

所定の停車位置で停車するために走行条件パラメータを用いて自動停止制御を行った結果を示す車両の実際の停車位置と前記所定の停車位置との誤差と、前記自動停止制御で用いられた前記走行条件パラメータとの関係を示すモデル式を機械学習に基づいて算出する学習手段、

過去に算出された前記モデル式に基づいて現在の走行車両の次の停車位置の停止誤差を予測する予測手段、

前記走行条件パラメータに含まれる変更対象パラメータを特定し、前記自動停止制御で用いる前記変更対象パラメータを前記走行車両の

停止誤差を補正する値に更新する制御手段、
として機能させるプログラム。