

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-17703
(P2023-17703A)

(43)公開日 令和5年2月7日(2023.2.7)

(51)国際特許分類		F I	
B 6 0 W	40/10 (2012.01)	B 6 0 W	40/10
B 6 0 W	60/00 (2020.01)	B 6 0 W	60/00
G 0 6 N	20/00 (2019.01)	G 0 6 N	20/00
G 0 6 N	3/02 (2006.01)	G 0 6 N	3/02
審査請求 未請求 請求項の数 17 O L 外国語出願 (全18頁)			
(21)出願番号 特願2022-98820(P2022-98820)		(71)出願人 591245473	
(22)出願日 令和4年6月20日(2022.6.20)		ロベルト・ボッシュ・ゲゼルシャフト・	
(31)優先権主張番号 10 2021 206 880.4		ミト・ベシュレンクテル・ハフツング	
(32)優先日 令和3年6月30日(2021.6.30)		ROBERT BOSCH GMBH	
(33)優先権主張国・地域又は機関 ドイツ(DE)		ドイツ連邦共和国 7 0 4 4 2 シュトゥ ットガルト ポストファッハ 3 0 0 2 2 0	
		(74)代理人 100177839	
		弁理士 大場 玲児	
		(74)代理人 100172340	
		弁理士 高橋 始	
		(74)代理人 100182626	
		弁理士 八島 剛	
		(72)発明者 ドエル, アンドレアス	
		ドイツ連邦共和国 7 0 5 6 5 シュトゥ ットガルト	
		最終頁に続く	

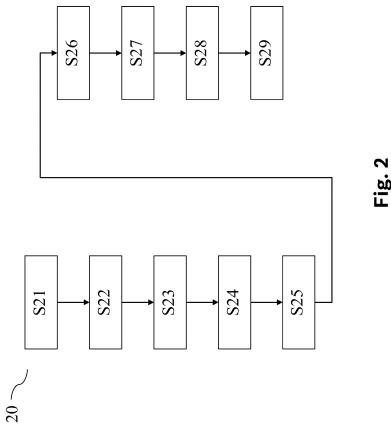
(54)【発明の名称】 車両のビークルダイナミックコントロールシステムを最適にパラメータ化するための方法および装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】ビークルダイナミックコントロール装置の最適なパラメータ化のための効果的な自動化された方法を提供する。

【解決手段】車両状態 (s_t) および動作 (a_t) に依存して後続の車両状態 (s_{t+1}) を予測するように設計された、車両状態を予測するためのモデルを提供するステップ (S 2 3) と、複数の車両状態を、算出された動作に依存してモデルを用いてビークルダイナミックコントロール装置によって算出するステップ (S 2 5) と、記録されたトラジェクトリーのコストをデータテーブルの複数の車両状態に依存しておよびそれぞれ割り当てられた車両状態の算出された複数の動作に依存して算出し、かつビークルダイナミックコントロール装置のパラメータに依存しているコスト関数 (c) が、最小化されるように、ビークルダイナミックコントロール装置のパラメータ () を変更 / 調整するステップ (S 2 7) と、を有している。

【選択図】図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

車両 (1 0 0) のドライビングダイナミックスに調整介入可能な、前記車両 (1 0 0) のピークルダイナミックコントロール装置 (6 0) をパラメータ化するための方法 (2 0) であって、前記ピークルダイナミックコントロール装置 (6 0) が車両状態 (s_t) に依存して動作 (a_t) を算出する方法 (2 0) において：

前記車両状態 (s_t) および前記動作 (a_t) に依存して後続の車両状態 (s_{t+1}) を予測するように設計された、車両状態 (s_{t+1}) を予測するためのモデル P を提供するステップ (S 2 3) と、

複数の車両状態 ($s_0, \dots, s_t, \dots, s_T$) およびそれぞれ割り当てられた複数の動作 ($a_0, \dots, a_t, \dots, a_T$) の連続を有する少なくとも 1 つのデータタプル ($s_0, \dots, s_t, \dots, s_T; a_0, \dots, a_t, \dots, a_T$) を算出し、前記複数の車両状態を、算出された動作に依存して前記モデル (P) を用いて前記ピークルダイナミックコントロール装置によって算出するステップと、

記録された前記データタブルのコストを前記データタブルの複数の車両状態に依存しておよびそれぞれ割り当てられた車両状態の算出された複数の動作に依存して算出し、かつ前記ピークルダイナミックコントロール装置 (6 0) のパラメータに依存するコスト関数 (c) が、最小化されるように、前記ピークルダイナミックコントロール装置 (6 0) のパラメータ () を調整するステップ (S 2 7) と、

を有している、車両 (1 0 0) のピークルダイナミックコントロール装置 (6 0) をパラメータ化するための方法 (2 0) 。

【請求項 2】

前記モデル (P) が機械式の学習システムであって、この学習システムのパラメータ化が前記車両 (1 0 0) または別の車両の検出された運転マヌーバに依存して訓練されているか、または前記モデル (P) が、車両のドライビングダイナミックスを特に車両の前後方向、横方向および上下方向の軸線に沿って記述する物理モデルである、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

追加的に前記車両 (1 0 0) の実運転マヌーバのトラジェクトリーを検出 (S 2 1) を行い、この際に、検出された前記トラジェクトリーおよび前記モデル (P) に依存して修正モデル g を作成し、それにより修正モデルが前記モデル (P) のアウトプットを、このアウトプットが検出された前記トラジェクトリーと概ね一致するように修正する、請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記モデル (P) が確定的であって、前記修正モデルが時間依存性である、請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

複数の様々なモデル (P) を提供し、前記データタブルを、複数の様々な前記モデルのうちの 1 つのためにランダムに検出する、請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 6】

様々な前記モデルが、これらのモデルが外部の値のそれぞれ様々なダイナミックスまたは車両の値の様々なダイナミックスを記述するという点で異なっている、請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記各モデルのためにそれぞれ 1 つのデータタブルを検出し、前記パラメータの変更をすべての前記データタブルに依存して行う、請求項 5 または 6 記載の方法。

【請求項 8】

車両状態をカルマンフィルタによってフィルタリングする (S 2 2) 、請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記ビークルダイナミックコントロール装置がモジュール式の制御器構造を有しており、パラメータの調整時に、このパラメータを、変更されたパラメータが予め設定された値域内にあるように調整する、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 10】

前記ビークルダイナミックコントロール装置 (60) がニューラルネットワーク、特に動径基底関数ネットワーク (英語: radial basis function network) である、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 11】

パラメータの調整 (S27) 後に前記車両 (100) の運転中に車両状態を検出し、前記車両のアクチュエータ (10) を、前記ビークルダイナミックコントロール装置 (60) を用いて前記検出された車両状態に依存する動作に依存して駆動制御する、請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 12】

前記ビークルダイナミックコントロール装置 (60) が、制動力を特徴付ける動作をアウトプットする ABS 制御器であって、前記物理モデルが複数の部分モデルを含んでおり、これらの部分モデルが、車両構成要素のそれぞれ 1 つの物理モデルである、請求項 2 から 11 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 13】

コスト関数が複数の関数の重み付けされた重なりであって、前記関数が目標スリップに対する車両のタイヤの実スリップの差、ビークルダイナミックコントロール装置が介入してから進んだ距離、並びに進んだ距離の時間微分を特徴付ける、請求項 1 から 12 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 14】

請求項 9 記載に従って入手可能なビークルダイナミックコントロール装置 (60)。

【請求項 15】

請求項 1 から 13 までのいずれか 1 項記載の方法を実行するために設計された装置。

【請求項 16】

コンピュータによるプログラムの実行時に、請求項 1 から 13 までのいずれか 1 項記載の方法を実行するように当該コンピュータを指示する命令を含むコンピュータプログラム。

【請求項 17】

請求項 16 記載のコンピュータプログラムが記憶されている機械読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両のビークルダイナミックコントロール装置を最適にパラメータ化するための方法、トレーニング装置、コンピュータプログラムおよび機械読み取り可能な記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

ビークルダイナミックコントロール装置は、一般的に従来技術により公知である。ビークルダイナミックコントロール装置 (ESC、英語: Electronic Stability Control) の概念は、所定の状況下、例えば路面上のタイヤグリップがもはや最適ではない状況下で、例えば最適なタイヤグリップを再び得るために、車両の走行運転中に調整介入する、任意の車両のための制御器を表す。この所定の状況は、例えばタイヤグリップまたはその他の車両状態を常に監視する際に異常が発生することによって確認され得る。

【0003】

例えばピークルダイナミックコントロール装置は、運転者が車両を安全にコントロールできるようにするために、例えばカーブ走行時に、オーバーステアにおいてもアンダーステアにおいても、車両の横滑りを個別のホイールの適切な制動によってカーブの限界範囲内で阻止するように個別のタイヤに適切にブレーキをかけることによって、車両のスリップを防止することができる。ピークルダイナミックコントロールのその他の用途は、例えばホイールのロックを阻止して制動距離をできるだけ短くするために、非常ブレーキ時に最適なブレーキ圧を提供することである。

【 0 0 0 4 】

所定の車両型式にブレーキシステムを適合させる際に、使用の途中で複数のパラメータを車両型式に合わせて調節する必要がある。したがって、これは費用がかかり、しかも常に最適な調節が得られるとは限らない。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

本発明の課題は、ピークルダイナミックコントロール装置の最適なパラメータ化のための効果的な自動化された方法を提供することである。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 6 】

独立請求項 1 の特徴を有する本発明は、従来のパラメータ化と比較して明確により最適化された、特にタイヤグリップの制御が得られるパラメータ化を見いだすことができたという利点を有している。例えば、これによって非常ブレーキの際の制動距離が現行の非常ブレーキシステムに対してさらに明らかに短縮され得ることを証明することができた。これは、車両の乗員の安全性を高める。

【 0 0 0 7 】

さらに本発明は、最適なパラメータ化を自動的に見つけ出すことができ、これによって費用のかかるマニュアルのテストおよび評価が無用になるという利点を有している。

【 0 0 0 8 】

さらに本発明は、パラメータ化が車両のシミュレーションだけによって学習され得る、という利点を有している。これは特に有利である。何故ならば、シミュレーションでドライビングダイナミクスの限界がさらに最高まで上げられ、それによって最終的に、一方ではより多くのパラメータ化を試みることができ、他方ではこれを安価に試みることができるからである。従って、これにより特に効果的で有効なアプリケーションが得られる、ということが言える。

【 0 0 0 9 】

さらに本発明は、アプリケーションエンジニアの最小の介入がドメイン知識（例えばハイレベルの決定によって：より高い快適性対より高いパフォーマンス）によって行われ、それによりパラメータ化を顧客の要求に的確に適合させることもできる、という利点を有している。

【 0 0 1 0 】

さらに本発明は、より高いロバストネス、つまり良好なパフォーマンスが、個別のテストシナリオのためだけではなくすべての作動点において最適化されて得られる、という利点を有している。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

第 1 の態様では本発明は、車両のピークルダイナミックコントロール装置を最適にパラメータ化するための、特にコンピュータで実行される方法に関する。ピークルダイナミックコントロール装置は、車両のドライビングダイナミクスに調整加入するか、若しくはドライビングダイナミクスをコントロールすることができ、この場合、ピークルダイナミックコントロール装置は、例えばドライビングダイナミクスにポジティブに介入するために、特に実際の車両状態（ s_t ）および動作（ a_t ）に依存して算出する。つまり、ピーク

10

20

30

40

50

ルダイナミックコントロール装置は、車両を安定的にその初期の走行軌道で保持するためにドライビングダイナミクスに介入される。

【 0 0 1 2 】

ドライビングダイナミクスとは、3つの車両運動方向でのおよび3つの車両運動方向を中心とした車両の運動、つまり経路、速度、加速度並びに車両に作用する力およびモーメントであると解釈されてよい。車両運動は、例えば直進走行、カーブ走行、上下方向運動、ピッチングおよびローリング運動、並びに一定の速度での走行、ブレーキ過程および加速過程を含む。さらに、この場合、発生する車両の振動もドライビングダイナミクスと解釈されてよい。

【 0 0 1 3 】

車両状態 (s_t) とは、車両のドライビングダイナミクスおよび / または車両の構成要素の状態に関する車両の状態を特徴付ける値であると解釈されてよい。好適な形式で、車両状態は、実際の車両ダイナミクスの一部、特に車両の三次元的な運動を特徴付ける。三次元的な運動として、主軸線方向の3つの並進運動、つまり縦軸線に沿った縦方向運動、自体の場所移動、横軸線に沿った横方向運動、上下軸線に沿ったストローク運動が考えられ、これは一般的に下り坂または上り坂走行時の縦方向運動と組み合わせられている。三次元的な運動は、加速度として生ぜしめられてもよい。3つの主軸線を中心とした回転運動、例えば上下軸線を中心としたヨーイング、横軸線を中心としたピッチング、縦軸線を中心としたローリングも考えられる。これらの運動は、角度としてまたは角速度として生ぜしめられ得る。さらに、追加的に並進振動および回転振動が車両状態に含められてよい。

【 0 0 1 4 】

さらに、車両状態は好適な形式で舵角またはステアリングトルクを特徴付ける。特に好適には、車両状態はタイヤグリップおよび / またはタイヤの挙動も特徴付ける。

【 0 0 1 5 】

動作 (a_t) とは、車両の運動を特徴付ける値、つまりこの動作が車両によって実行されるときに、車両がこの運動を実行する値であると解釈されてよい。好適な形式で、動作 (a_t) は、例えば制動力またはブレーキ圧等の制御値である。

【 0 0 1 6 】

この方法は、以下に説明するステップを有している：

この方法は、車両状態 (s_{t+1}) を予測するためのモデル P の提供から始まる。このモデル P は、車両状態 (s_t) および動作 (a_t) に依存して後続の車両状態 (s_{t+1}) を予測するために設計されている。後続の車両状態 (s_{t+1}) とは、動作 (a_t) が車両によって実際の車両状態 (s_t) から実行されるときに、直接発生する車両状態であると、解釈されてよい。

【 0 0 1 7 】

それに続いて、複数の車両状態 ($s_0, \dots, s_t, \dots, s_T$) およびそれぞれ割り当てられた複数の動作 ($a_0, \dots, a_t, \dots, a_T$) の連続を有する少なくとも1つのデータタプル ($s_0, \dots, s_t, \dots, s_T; a_0, \dots, a_t, \dots, a_T$) の算出が行われ、この際に、複数の車両状態が、算出された動作に依存してモデル (P) を用いて前記ビークルダイナミックコントロール装置によって算出される。

【 0 0 1 8 】

それに続いて、記録されたトラジェクトリーのコストをデータタプルの複数の車両状態およびそれぞれ割り当てられた複数の車両状態の算出された複数の動作に依存して算出する、ビークルダイナミックコントロール装置のパラメータに依存しているコスト関数 (c) が最小化されるように、ビークルダイナミックコントロール装置のパラメータ () の調整を行う。ビークルダイナミックコントロール装置のパラメータ () の調整は、データタプルのそれぞれの車両状態のために、またはデータタプルのすべての連続に亘って行うことができる。

【 0 0 1 9 】

10

20

30

40

50

パラメータ () の調整は、最適化アルゴリズムによって、好適には勾配降下法を用いて、特に好適にはバックプロップ通し時間 " Back - p r o p - t h r o u g h t i m e " を用いて行うことができる。

【 0 0 2 0 】

比較的正確なモデルを用いた最適化に基づいてピークルダイナミックコントロール装置を最適化するための、いわゆるモデルに基づく数式は、情報が最も豊富なパラメータの調整を決定することができることが知られている。その代わりに、いわゆるモデルフリーな数式があるが、このモデルフリーな数式は目標達成度が低い。何故ならば、モデルフリーな数式は、ドライビングダイナミクスを可能な限り最良に制御するピークルダイナミックコントロール装置を得るために、パラメータを最適化する際に十分な情報を提供しないからである。従って、まずは提案された方法によって、マニュアルで調節された制御器よりも著しく良好なパフォーマンスを有するピークルダイナミックコントロール装置を提供できると言える。別の学習範例に対して、この数式はスケーラブルであって、つまり任意の複雑なデータ量を扱うこともでき、また高次元のピークルダイナミックコントロール装置も最適化することができる、という利点を有している。

10

【 0 0 2 1 】

モデル (P) がトレーニング可能なモデルであって、そのパラメータ化が、車両または別の車両の検出された運転マヌーバに依存して訓練されているか、モデル (P) が、特に車両の前後方向軸および横方向軸に沿った車両のドライビングダイナミクスを記述する物理モデルであることが提案される。トレーニング可能なモデルは、例えば機械式の学習システム、好適にはニューラルネットワークであってよい。一般的に、このトレーニング可能なモデルはブラックボックスモデル、例えば線形的なまたは特徴に基づく回帰、ガウスプロセスモデル、リカレントニューラルネットワーク (R N N , L S T M s)、(深い) ニューラルネットワークまたはホワイトボックスモデル、例えばパラメータまたはこれらの組合せを有する (簡略化された) 物理モデル (G r e y - B o x - M o d e l) であってよい。

20

【 0 0 2 2 】

物理モデルは、分析的な勾配を可能にし、それによって正確な調整が得られ、これにより、ピークルダイナミックコントロール装置パラメータ化がより理想的なパラメータ化に近づく、という利点を有している。さらに実測定は必要ないので、この方法は、有利には純粋にシミュレーションにより実行することもできる。

30

【 0 0 2 3 】

さらに、追加的に、車両の実運転マヌーバのトラジェクトリーの検出が行われ、この場合、検出されたトラジェクトリーおよびモデル (P) に依存して修正モデル (g) が作成され、それによってこの修正モデル (g) がモデル (P) のアウトプットを、これが概ね検出されたトラジェクトリーと一致するように修正することが提案される。トラジェクトリーは、車両状態の連続および、それぞれの車両状態において選択された実運転マヌーバの動作を記述することが可能である。概ねとは、ここでは、この修正によって得られた精度が修正しようとする車両状態のための測定公差内にあるか、若しくは修正モデルを作成するためのそれぞれの最適化法を用いて、若しくは修正モデルの獲得可能な最大精度を用いて修正モデルの大きさによって得られる精度内にある、と解釈されてよい。

40

【 0 0 2 4 】

実運転マヌーバの検出の、この追加的なステップを、ピークルダイナミックコントロール装置のパラメータの調整のステップ後にもう一度行い、この際に実運転マヌーバが調整されたピークルダイナミックコントロール装置によって実行されることが考えられる。これによって検出されたトラジェクトリーは、修正モデル、およびモデル P による少なくとも 1 つのデータタブルの算出の別のステップを後から調整し、次いでピークルダイナミックコントロール装置のパラメータを調整するためにも、再び使用されてよい。

【 0 0 2 5 】

特に、修正モデルは、修正モデルのアウトプット間の差分、およびトレーニングデータ

50

の受信された状態とモデルによって予測された状態との間の差分が最小化されるように、作成される。

【 0 0 2 6 】

モデル (P) が学習済みのモデルである場合、そのパラメータ化は検出されたトラジェクトリーに依存して学習され得る。このために、例えば (確率的) 勾配降下法を用いて開 (フィードフォワード) または閉 (フィードバック) 制御回路内で、最尤度の算出による、または単一ステップまたは複数ステップモデル予測のための最大事後確率解決策による、例えばモデルパラメータの最適化が適している。

【 0 0 2 7 】

予想外なことに、修正モデルを用いることによって、一方ではビークルダイナミックコントロール装置を最適化するために、また他方では学習済みのモデルを作成するために、特に車両の僅かな実操作しか必要としない、という利点が得られる。

【 0 0 2 8 】

さらに、モデル (P) が決定性であって、修正モデルが時間に依存していることが提案される。言い換えれば、修正モデルは状態または時間に依存しており、この場合、時間は、記録されたトラジェクトリーの開始から経過した時間間隔を特徴付ける。つまり、修正モデルは、モデル P のための修正値を時間に依存して算出する。予想外なことに、このような修正モデルの形式から最良のパラメータ化が得られることが分かった。この時間は、予め規定された開始点 (例えばビークルダイナミックコントロール装置がドライビングダイナミクスに介入する時点) から実行された動作の回数を特徴付ける、離散的な値であってもよい。

【 0 0 2 9 】

モデル P と、モデルのアウトプットを修正するために構成された修正モデルから成る組み合わせは、状態変化を予測するための大域的なモデルとして理解されてよい。言い換えれば、状態変化の大域的なモデルはこれら 2 つのモデルの重畳である。

【 0 0 3 0 】

したがって修正モデルは、周辺の実状態に関する第 1 のモデルのエラーを、動作の実行後に修正するように構成されている。例えば、このモデルは、実状態および動作に依存する状態を予測する。動作は、ビークルダイナミックコントロール装置によっても、また例えば運転者によっても決定され得るということを指摘しておく。次いで、修正モデルがモデルの予測された状態を修正し、従って予測された状態は、業者がこの実状態のための動作を実行した後で、周辺の実状態に可能な限り類似する。言い換えれば：修正モデルは、実際の周辺と見なされた状態若しくは操作時に検出された状態に可能な限り近く予測された状態を得るために、第 1 のモデルのアウトプットを修正する。従って、修正モデルは、周辺、特に周辺ダイナミクスに関連してより精確な状態を得るために、第 1 のモデルを修正する。

【 0 0 3 1 】

好適な形式で、修正モデルは、時間ステップに依存しているかおよび / または実状態に依存している。選択的に、修正モデルは、検出された実操作の検出された車両状態とモデルにより予測された状態との間の差分によって決定される、抽出された修正値である修正項である。修正モデルは、モデルの予測に直接付け加えられてよい離散的な修正をアウトプットすることができる。修正モデルの特別なケースは、修正モデルが時間離散的な修正値をアウトプットする場合に存在し得る。

【 0 0 3 2 】

さらに、修正モデルは、修正モデルのアウトプット間の差分の大きさ、およびトラジェクトリーに沿った検出された車両状態とモデルの予測された車両状態との間の差分の大きさが最小化されることによって選択されることが、提案される。最小化は、公知の勾配降下法を介して実行されてもよい。

【 0 0 3 3 】

さらに、複数の様々なモデル (P) が提供され、この際に、データタプルが複数の様々

なモデルのうちの 1 つのためにランダムに検出されることが、提案される。

【 0 0 3 4 】

この場合、好適には、一方ではそれによってモデル危険性がモデル化され、最終的に安定的な制御器挙動が得られ、ひいては制御器が例えば時間変化を良好に使用することができる。モデルまたは複数のモデルがこれらのモデルの予測のための危険性をアウトプットし得ることも考えられ、これはその予測の危険性を特徴付け、この場合、危険性はピークルダイナミックコントロール装置のパラメータの調整において考慮される。危険性は、次のように算出されてよい：

- 1) 制御器のパフォーマンス、ロバストネスおよび安全性に関する統計学的な判断、および / または
- 2) 最適化中 / 最適化後の危険な / 未知の車両挙動を避ける、および / または
- 3) これまで未知である地域を追加的に調査することによる学習の加速。

【 0 0 3 5 】

(モデル) 危険性を複数の時間ステップに亘って宣伝することによって、長時間予測 (可能な将来的なシステム挙動の分布) の危険性が得られる。[方法は、ここでは例えば解析的閉包 (簡単なモデル、例えば線形ガウス用に)、サンプリング、数値積分、モーメントマッチング、線形化 (複雑なモデル用に) である。]

【 0 0 3 6 】

さらに、様々なモデルは、これが、外部の値のそれぞれ様々なダイナミズムまたは車両の値の様々なダイナミズムを考慮するか若しくは特徴付ける点で、異なっていることが提案される。

【 0 0 3 7 】

ダイナミックな値のための例は、変化する路面または様々なシナリオ、例えば道路の 3 つの可能なすべての空間軸座標に関連した道路の変化する形状等である。

【 0 0 3 8 】

さらに、各モデルのためにそれぞれ 1 つのデータタプルが検出され、この場合、パラメータの変更はすべてのデータタプルに依存して行われることが提案される。何故ならば、これにより特に最適な安定した制御器挙動が得られることが明らかになったからである。

【 0 0 3 9 】

さらに、検出された車両状態がカルマンフィルタを用いてフィルタリングされ、この場合、車両の記述されたトラジェクトリーに依存してカルマンフィルタのパラメータ化が算出され、このカルマンフィルタが検出された状態に適用されることが提案される。

【 0 0 4 0 】

さらに、ピークルダイナミックコントロール装置はモジュール式の制御器構造を有しており、パラメータの調整時に、このパラメータを、変更されたパラメータが予め設定された値域内にあるように調整することが提案される。つまり、制御器は、モジュールに分割され、各モジュールはサブ機能の担当であり、例えば実スリップを目標スリップに調整する P I D 制御器である。別のモジュールは、P I D ゲインを、走行状況、地盤、速度に応じて適合させるゲインスケジューラである。また別のモジュールは、ホイール回転数、ブレーキ圧推移および車両速度等に基づいて走行状況を推定することができる。

【 0 0 4 1 】

信頼区間内においてのみパラメータの最適化が得られる他には、ピークルダイナミックコントロール装置が安全性に問題のない挙動を説明し、さらに、ドライビングダイナミクスの調査が有意義な走行状態に限定される、ということが利点である。

【 0 0 4 2 】

さらに、ピークルダイナミックコントロール装置が、ニューラルネットワーク、特に動基底関数ネットワーク (英語: radial basis function network) であることが、提案される。

【 0 0 4 3 】

好適には、ニューラルネットワークは、複雑な関係を非常に良好に学習でき、著しく様

10

20

30

40

50

々な制御器挙動形式を習得するために、特に高いフレキシビリティを有する。特に、RBFネットワークが好適である。何故ならば、RBFネットワークは、そのコンパクトな構造に基づいて車両の制御器に実装するために特に適しているからである。

【0044】

さらに、パラメータの調整後に車両の運転中に車両状態が検出され、車両のアクチュエータが、ビークルダイナミックコントロール装置を用いて前記検出された車両状態に依存する動作に依存して駆動制御されることが、提案される。

【0045】

さらに、コスト関数が複数の関数の重み付けされた重なりであって、この関数が目標スリップに対する車両のタイヤの実スリップの差、ビークルダイナミックコントロール装置が介入してから進んだ距離、並びに進んだ距離の時間微分を特徴付けることが、提案される。

【0046】

さらに、ビークルダイナミックコントロール装置が、制動力を特徴付ける動作をアウトプットするABS制御器であって、物理モデルが複数の部分モデルを含んでおり、これらの部分モデルが、車両構成要素のそれぞれ1つの物理モデルであることが、提案される。

【0047】

動作は、例えばそれぞれのホイールのために別個に、または車両の車軸のために個別に決定され得るので、ホイール/車軸は、それぞれのブレーキ圧に依存して個別に制御され得る。

【0048】

ビークルダイナミックコントロール装置は、例えばABS、TCSまたはESP制御器その他であってよいが、またはこれらの制御器の組合せであってよい、ということを指摘しておく。

【0049】

この方法は、既に最適化されたビークルダイナミックコントロール装置を、第1の車両型式/車両例、第2の車両型式/車両例のために後から調整するために、または例えば車両に新たなタイヤが装着されたときに、前記第1の車両型式/車両例のために後から調整するために使用されてもよい、ということをさらに指摘しておく。

【0050】

別の態様では、本発明は、上記方法を実行するためにそれぞれ設計された装置並びにコンピュータプログラム、およびこのコンピュータプログラムが記憶されている機械読み取り可能な記憶媒体に関する。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】ビークルダイナミックコントロール装置を備えた車両を制御するための一実施例の概略図である。

【図2】ビークルダイナミックコントロール装置をパラメータ化するための方法の概略的なフローチャートである。

【図3】トレーニング装置の可能な構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0052】

以下に、本発明の実施例を添付の図面を参照して詳しく説明する。

【0053】

図1は、制御システム40を備えた車両100を具体的に示す。

【0054】

車両100は、一般的に、運転者によって制御されるか、または半自律的若しくは全自律的な車両であってよい自動車であってよい。別の実施例では、自動車は、装輪車、装軌車およびレール車両であってよい。自動車が、二輪車、例えば自転車、自動二輪車等であることも考えられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

好適には、規則的な時間間隔で、少なくとも 1 つのセンサ 3 0 によって車両の状態が検出され、これは複数のセンサによって検出されてもよい。状態は、検出されたセンサ値にも依存して算出され得る。センサ 3 0 は、好適な形式で加速度センサ（車両長手方向、しかしながらすべての車軸における 3 D センサであってもよい）、車輪速センサ（すべてのホイール）、回転率センサ（上下軸線を中心にして、しかしながらその他のすべての軸線を中心にしていてもよい）である。

【 0 0 5 6 】

制御システム 4 0 は、オプション的な受信ユニット内でセンサ 3 0 のセンサ信号 S の連続を受信し、オプション的な受信ユニットは、センサ信号 S の連続を予め処理されたセンサ信号の連続に変換する。

10

【 0 0 5 7 】

センサ信号 S または予め処理されたセンサ信号の連続は、制御システム 4 0 のビークルダイナミックコントロール装置 6 0 に供給される。ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 は、好適な形式で、パラメータ記憶装置 P に記憶されていてこのパラメータ記憶装置から提供されるパラメータによってパラメータ化される。

【 0 0 5 8 】

ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 は、センサ信号 S およびそのパラメータに依存して、以下では制御信号 A と呼ばれる動作を算出し、この制御は車両のアクチュエータ 1 0 に伝送される。アクチュエータ 1 0 は、制御信号 A を受信し、相応に制御され、次いで相応の動作を実行する。アクチュエータ 1 0 が、制御信号 A を直接的な制御信号に変換するために設計されていることも考えられる。アクチュエータ 1 0 が例えば制御信号 A としての制動力を受信すると、アクチュエータは制動力を相応のブレーキ圧に換算することができ、このブレーキ圧によってブレーキが直接制御される。この場合、アクチュエータ 1 0 は車両 1 0 0 のブレーキを含むブレーキシステムであってよい。追加的にまたは選択的に、アクチュエータ 1 0 は、車両 1 0 0 の駆動装置または操縦装置であってよい。

20

【 0 0 5 9 】

別の好適な実施例では、制御システム 4 0 は、単数または複数のプロセッサ 4 5 および少なくとも 1 つの機械読み取り可能な記憶媒体 4 6 を有しており、この記憶媒体 4 6 に指令が記憶されており、この指令は、これがプロセッサ 4 5 で実行されると、本発明による方法を実行するように制御システム 4 0 を指示する。

30

【 0 0 6 0 】

別の実施例では、アクチュエータ 1 0 に追加してディスプレイユニット 1 0 a が設けられている。ディスプレイユニット 1 0 a は、例えばビークルダイナミックコントロール装置 6 0 の作動を表示するために、および / またはビークルダイナミックコントロール装置 6 0 が間もなく作動されるとの警告を知らせるように予め設定されている。

【 0 0 6 1 】

ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 は、センサ 3 0 の状態 s および / またはセンサ信号 S に依存して制御信号 A をアウトプットする、パラメータ化された関数 $a = f(s, \quad)$ によって生ぜしめられる。ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 がアクチュエータ 1 0 のための制御信号 A をアウトプットし、アクチュエータ 1 0 が複数のアクチュエータを有している場合、制御信号 A は各アクチュエータのためにそれぞれ 1 つの制御信号を有していてもよい。個別のアクチュエータは車両 1 0 0 の個別のブレーキであってよい。

40

【 0 0 6 2 】

好適な実施例では、ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 は A B S 制御器であって、この場合、コントロール装置は、制御信号として制動力またはブレーキ圧をアウトプットする。好適な形式で、ホイールを個別に制御できるようにするために、ここではビークルダイナミックコントロール装置 6 0 が、ホイールの各ブレーキまたは車両 1 0 0 の各

50

車軸のためのブレーキ圧または制動力をアウトプットする。

【0063】

好適な形式で、ビークルダイナミックコントロール装置60は解釈可能な制御器構造を有している。これは、例えば正しいパラメータ限界がコントロール装置内で規定可能であることによって得られる。これは、各状況内でのビークルダイナミックコントロール装置60の挙動が後付け可能であるという利点を有している。

【0064】

ビークルダイナミックコントロール装置60のパラメータ化された関数 f の例は次の通りである：

解釈可能な制御器構造を有するビークルダイナミックコントロール装置60は、例えば、決定木（英語：decision tree）のように構造化されている構造化されたビークルダイナミックコントロール装置60によって生ぜしめられてよい。

【0065】

決定木を用いて動作を算出するために、木に沿って根節から進められる。各節において属性が問い合わせられ（例えば車両状態）、この属性に関して次の節の選択についての決定がなされる。この手順は、決定木の葉が得られるまで長く続けられる。葉は、可能な多数の動作のうちの1つの動作を特徴付ける。葉は、例えばブレーキ圧上昇/低下を特徴付けることができる。

パラメータは、この例では決定閾値等である。

【0066】

ビークルダイナミックコントロール装置60は、選択的にRBFネットワーク（radial basis functions）またはディープRNNポリシー“Deep RNN Policy”によって生ぜしめられてよい。

【0067】

パラメータ化された関数 f は、車両の状態をパラメータに依存して制御信号に表す任意の別の数学的関数であってもよいことを指摘しておく。

【0068】

図2は、ビークルダイナミックコントロール装置60をパラメータ化するための、および自由選択的に車両100内のビークルダイナミックコントロール装置60のその後の運転をパラメータ化するためのフローチャート20の概略図を示す。

【0069】

この方法は、ステップS21で開始する。このステップで、車両100の走行データの収集が行われる。走行データは、例えば車両100の状態 s を車両操作に沿って記述するデータ列 $s_0, s_1, \dots, s_t, \dots, s_T$ である。これらの走行データは、好適には、操作の各時点 t における状態データ s_t 並びに動作データ a_t を有するデータタプルである。

【0070】

ビークルダイナミックコントロール装置60がABS制御器である場合、例えば公知のABS制御器を使用して、または運転者により車両100を運転することによって、ブレーキ過程が記録され、この場合、状態データ（ s_t ）は、例えば次のセンサデータ：車両速度 v_{veh} 、加速度 a_{veh} 、好適な形式で車両100のホイール毎の次のセンサデータ：ホイールの速度 v_{wheel} 、ホイールの加速度 a_{wheel} 、ホイールのジャーク（英語：jerk） j_{wheel} を有している。動作データ（ a_t ）は、それぞれの状態で選択された制動力、好適には路面を特徴付ける値でもある。

【0071】

選択的に、走行データは、架空の車両がシミュレートされた周辺において1回または複数回の（ブレーキ）操作を実施するシミュレーション毎に生ぜしめられる。

【0072】

次いでステップS22が続く。ステップS22で、記録された状態データ s が部分的に再構成されるというの。基本的に、システム（自動）の状態に関するすべての必要な情報が内部のセンサによって測定されるわけではない（例えば車両の傾き、サスペンション

10

20

30

40

50

特性、ホイール加速度)からである。学習およびモデリングのために、これらの潜在的な情報は、予測および最適化を可能にするために再回収される必要がある。この領域は、基本的に潜在的な状態推論(例えば隠れマルコフモデル)と呼ばれ、フィルタアルゴリズム/平滑化アルゴリズム(例えばカルマンフィルタ)によって解かれる。

【0073】

好適な形式で、車両状態のステップS22の再構成はカルマンフィルタによって実行される。

【0074】

ステップS21またはステップS22の終了後にステップS23が続く。このステップで、モデルPが提供される。提供は、モデルPが記録に基づいてステップS21後に作成されるかまたは物理的なモデルが提供されることによって行われる。

10

【0075】

モデルP($s_{t+1} | s_t, a_t$)は、時点tにおける車両状態 s_t に依存して、およびこれに依存して選択された制御信号に依存して、すぐ次に続く時点t+1において後続の車両状態 s_{t+1} を予測するモデルである。

【0076】

好適には、モデルP($s_{t+1} | s_t, a_t$)は第1の次数の物理モデルである。つまり、物理モデルは、物理的な関係を記述し、実際の車両状態 s_t および動作 a_t に依存して後続の車両状態 s_{t+1} を特に確定的に予測する方程式を含んでいる。典型的には、ABS用のビークルダイナミックコントロール装置60のために、物理モデルは、部分モデルの以下のリストの単数または複数の部分モデルから構成され得る：車両100の1つのホイールの物理モデルである第1の部分モデル、車両の重心を記述する第2の部分モデル、ダンパの物理モデルである第3の部分モデル、タイヤの物理モデルである第4の部分モデル、液圧モデルの多次元モデルである第5の部分モデル。このリストは最終的なものではなく、タイヤ/ブレーキ温度等の別の物理的特徴が考慮され得ることを指摘しておく。

20

【0077】

モデルPの他に、パラメータ化を最適化するために別の数式も考えられることを指摘しておく。このモデルの代わりに、いわゆるモデルフリー補強学習数式または値ベース補強学習数式も選択され得る。次いで相応に、ステップS23で、ステップS21の記録に基づく値ベース補強学習のための、例えばQ関数が作成される。

30

【0078】

ステップS23の後にステップS24が続く。ステップ24は、「オンポリシー修正」と呼ばれてよい。この場合、修正モデルgが作成され、この修正モデルgは、車両状態に関するモデルP($s_{t+1} | s_t, a_t$)の予測を、修正された予測がステップS21で検出された予測と概ね一致するように修正する。

【0079】

好適な形式で修正された車両状態は次のように修正される：

【数1】

$$s'_{t+1} = P(s_{t+1} | s_t, a_t) + g(s_t, a_t)$$

40

【0080】

修正モデルgは、得られた s_t および a_t に、S21で検出された車両状態に対するモデルP($s_{t+1} | s_t, a_t$)のエラーに相当する値をアウトプットするように、最適化されるように作成される。

【0081】

さらに、修正モデルgは、モデルPの不足した一致を車両の実挙動と比較して修正するという利点を有している。

【0082】

50

モデル P の不足した一致を車両の実挙動と比較して修正するために、選択的にまたは追加的に次の措置が講じられ得る。このためにいわゆる転移学習が使用されることが考えられ、この転移学習は、先に算出された車両状態を算入し、それによって具体的な車両実例のためのモデルの迅速な学習を可能にする。複数の様々なモデルが使用され、それにより、この調和によって安定的な制御器挙動を学習できることも考えられる。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 2 3 またはステップ S 2 4 の後ろにステップ S 2 5 が続いている。ここで、複数のロールアウトが実施される。つまり、ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 の実際のパラメータ化 k を用いて、および特に追加的な修正モデル g を有するモデル P を用いて、ビークルダイナミックコントロール装置が操作のために使用され、その結果から生じたトラジェクトリー、特に算出された車両状態の連続が検出される。

10

【 0 0 8 4 】

パラメータ化を最適化するために（モデルフリー補強学習数式または値ベース補強学習数式）、モデル P 以外に別の数式をも考えられることを指摘しておく。相応に、このロールアウトステップで、トラジェクトリーの検出が調整されなければならない。

【 0 0 8 5 】

ステップ S 2 5 が実行された後で、またはステップ S 2 5 が複数回繰り返し実行された後に、ステップ S 2 6 が続く。このステップで、ステップ S 2 5 で検出されたトラジェクトリーのためのコストの評価が行われる。

【 0 0 8 6 】

20

トラジェクトリーのためのコストは、次のように算出され得る。好適な形式で、ビークルダイナミックコントロール装置 6 0 のそれぞれ提案された動作のためのコストが算出される。このために、コスト関数 $c(s, a)$ が、従来のトラジェクトリーまたは実際の車両状態 s_t に依存して、並びに実際に選択された動作 a_t に依存してコストを算出し得る。トラジェクトリーのための全コストは、全操作に亘って、つまりすべての時点 t に亘って集積され得る：

【 数 2 】

$$J(\theta) = \sum_{t=0}^T c(s_t, f(s_t, \theta))$$

30

【 0 0 8 7 】

コスト関数 $c(s, a)$ は、次のように構成することができる：

$$c(s, a) = \alpha_1 * \text{mean deceleration} + \alpha_2 * \text{steerability} + \alpha_3 * \dots$$

この式中、 α_n は予め設定可能な係数であって、この係数は、例えばアプリケーションエンジニアによって予め設定されるかまたは初期値に組み込まれる。この係数は、0 乃至 1 の間の値である。

【 0 0 8 8 】

“steerability” とは、車両の制御可能性であると解釈されてよい。制御可能性は、車両に横方向から作用する力 (F_{lat}) に依存して算出され（例えば $F_{lat, max} - F_{lat, current}$ ）、場合によってはノーマライズされた横方向力にも依存して算出され得る：

$$(F_{lat, max} - F_{lat, current}) / F_{lat, max, non_braking}.$$

【 0 0 8 9 】

制御可能性は、コスト関数が最小化されるべきである場合は、マイナスに規定されてもよい。追加的にまたは選択的に、制御可能性は前後方向の力に依存して算出されてもよいので、前後方向の力は、横方向力のための「遊び」を許容するために、完全に利用されない。このために、目標スリップ範囲が規定され（例えば、 $slip [slip_{min}, slip_{max}]$ ）、次いで例えばシグモイド関数で相応のコストを示す。

40

【 0 0 9 0 】

mean decelerationとは、トラジェクトリーのすべての加速度の平均値であると解釈されてよい。

【 数 3 】

$$\text{z.B. } \frac{1}{n} \sum_i a_i \quad \forall i \text{ in } ABS_{active}$$

【 0 0 9 1 】

10

コスト関数のその他の要素は、罰せられるべきかまたは報いられるべき、車両のそれぞれの挙動によって与えられてよい。具体的には、これは：快適／ジャーク、つまりブレーキングのジャークの程度、またはハードウェア要求（ブレーキングが、ブレーキシステム、車両、油圧、タイヤにどの程度の負荷をかけているか）、パフォーマンス（例えば制動距離、加速）、直進走行性、つまり上下軸回りの挙動であってよい。

【 0 0 9 2 】

これらのすべての要素は、様々な信号（センサ信号または評価）を用いて、および様々なコスト関数を用いて評価することができ、例えば、実状態と目標状態（例えばスリップ、摩擦値、ジャーク）との間の平均絶対誤差、平均平方誤差、平均二乗誤差、または信号の標準偏差である。

20

【 0 0 9 3 】

コスト関数の別の要素は全制動距離であってよい。これは、ブレーキングが終了し（例えば、 $v_{veh} < v_{threshold}$ ）、この式中、 c は、全制動距離であるか、またはブレーキングが作動されている間の時間ステップのための $v * dt$ に亘る合計である、時間ステップにおいてまず、入手可能な個別の値であってよい。

【 0 0 9 4 】

コスト関数のその他の要素は目標スリップに対するスリップの偏差であってよい： $| | slip - lip_target | |$ 2および／または平均加速度：平均 $std(a_{acceleration})$ 。

【 0 0 9 5 】

30

全コストが、トラジェクトリーまたは複数のトラジェクトリーのためのステップS 2 6で算出された後に、ステップS 2 7が続く。このステップで、ビークルダイナミックコントロール装置60のパラメータが、全コストを削減するように、繰り返し調整される。この場合、最適化は次のように規定されてよい：

【 数 4 】

$$\theta^* = \operatorname{argmin}_{\theta} J(\theta)$$

【 0 0 9 6 】

40

パラメータに関するこの最適化は、全コスト J に亘っての勾配降下法を介して行われてよい。

【 0 0 9 7 】

次いで、最適化の反復 k 毎に、実際のパラメータ θ_k が次のように調整される：

【 数 5 】

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \lambda \frac{dJ}{d\theta}$$

50

この式中、 α は、1 より小さい値の係数である。

【0098】

反復は、中断基準が満たされるまで実行され得る。中断基準は、例えば：最大反復の回数、 $J < J_{threshold}$ の最小変化、パラメータ $\theta < \theta_{threshold}$ の最小変化であってよい。

【0099】

特に様々な操作のために複数の全コストが算出された場合、パラメータが複数の全コストについてバッチ的に調整され得る。バッチ式処理は、モデルパラメータについて1回分として、シナリオ/操作について1回分としてまたはサブトラジェクトリーについて1回分として行われてよい。

10

【0100】

ステップS27の終了後に、ステップS25乃至S27が新たに実行されてよく、選択的にステップS21乃至S27が新たに実行されてもよい。

【0101】

オプション的なステップS28で、車両100の制御システム40が、ステップ27により調整されたピークルダイナミックコントロール装置60で初期化される。

【0102】

次のオプション的なステップS29で、車両100は調整されたピークルダイナミックコントロール装置60で駆動される。この場合、ピークルダイナミックコントロール装置60が相応の状況で作動されると、例えば非常ブレーキが実行されると、車両100はこのピークルダイナミックコントロール装置60によって制御され得る。

20

【0103】

図2に示した方法の別の実施例では、ステップS27の終了後に、ステップS21乃至S27が新たに実行されてもよいが、ステップS27により調整されたピークルダイナミックコントロール装置60が別の車両モデルまたは車両型式の別の車両で使用され、ステップS21に従って新たな測定が実施される。これにより、最適化されたピークルダイナミックコントロール装置60を安価なコストで別の車両のために後から最適化することができる。

【0104】

図2に示した方法の別の実施例では、複数の様々なモデルPが提供され若しくは生ぜしめられ、各モデルのためのトラジェクトリーが生ぜしめられる。このモデルは、これが様々なシナリオを記述しおよび/または外部の値、例えば路面の様々なダイナミクスまたは別の車両モデル型式の別の走行特性または車両のタイヤ/その他の構成部分の摩耗を考慮する、という点で異なっている。これは、ピークルダイナミックコントロール装置が、時間的な変化を用いることができることを学習する、という利点を有している。

30

【0105】

図3は、ピークルダイナミックコントロール装置60をパラメータ化するためのトレーニング装置300を概略的に示す。トレーニング装置300は提供装置31を有しており、この提供装置31は、ステップS21で記録された走行データを提供するかまたは、ピークルダイナミックコントロール装置60の実行された動作に応じて1つの状態を生ぜしめるシミュレーションされた環境である。提供装置31のデータはピークルダイナミックコントロール装置60に転送され、ピークルダイナミックコントロール装置60はこのデータからそれぞれの動作を算出する。提供装置31のデータおよび動作は評価装置33に供給され、この評価装置33は、これからステップS27に従って調整されたパラメータを算出し、このパラメータは、パラメータ記憶装置Pに伝送され、ここで最新のパラメータに代えられる。

40

【0106】

トレーニング装置300によって実行されたステップは、コンピュータプログラムとして実施され、機械読み取り可能な記憶媒体34に記憶され、プロセッサ35によって実行され得る。

50

【 0 1 0 7 】

概念「コンピュータ」は、予め設定可能な計算式を処理するための任意の機器を含む。
この計算式は、ソフトウェアの形で提供されるか、またはハードウェアの形で提供される
か、またはソフトウェアとハードウェアの混合形式で提供されてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 8 】

- 1 0 アクチュエータ

1 0 a ディスプレイユニット

2 0 フローチャート、方法

3 0 センサ

3 1 提供装置

3 3 評価装置

3 4 記憶媒体

3 5 プロセッサ

4 0 制御システム

4 5 プロセッサ

4 6 記憶媒体

6 0 ピークルダイナミックコントロール装置

1 0 0 車両

3 0 0 トレーニング装置

S 2 1 ~ S 2 9 ステップ
- 10
- 20

【 図面 】

【 図 1 】

【 図 2 】

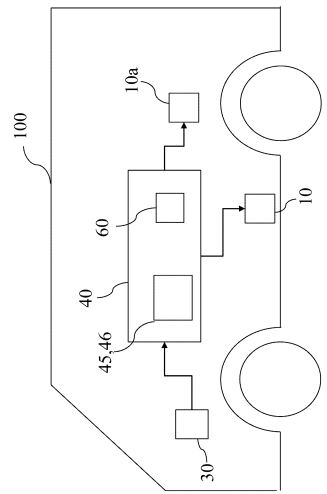


Fig. 1

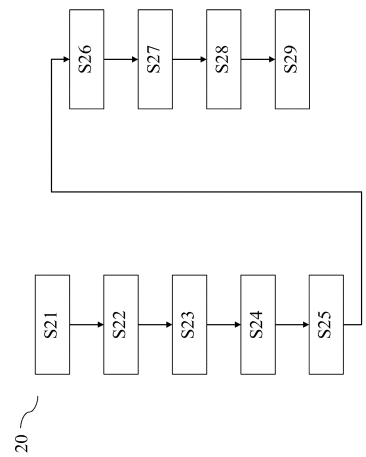


Fig. 2

30

40

【 図 3 】

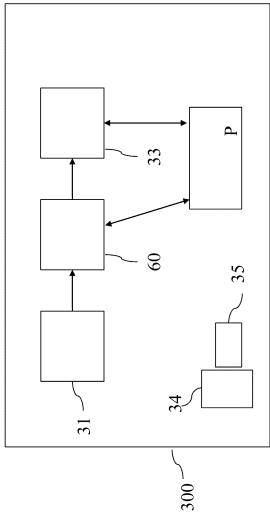


Fig. 3

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- ットガルト ヘルシェルシュトラーセ 2 8 アー
(72)発明者 ベルケンカンフ, フェリックス
ドイツ連邦共和国 8 0 3 3 5 ミュンヘン リンプルンシュトラーセ 5 0
(72)発明者 レファロフ, マクシム
ドイツ連邦共和国 7 0 1 9 5 シュトゥットガルト レーアーシュトラーセ 8
(72)発明者 レーフェルマン, バレンティン
ドイツ連邦共和国 6 9 2 3 4 ディールハイム ブライテンバッハシュトラーセ 3 1