

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年4月25日(25.04.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/077971 A1

- (51) 国際特許分類:
B60W 30/08 (2012.01) *G05B 13/02* (2006.01)
B60W 50/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/036214
- (22) 国際出願日: 2018年9月28日(28.09.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-200888 2017年10月17日(17.10.2017) JP
- (71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社(HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS,

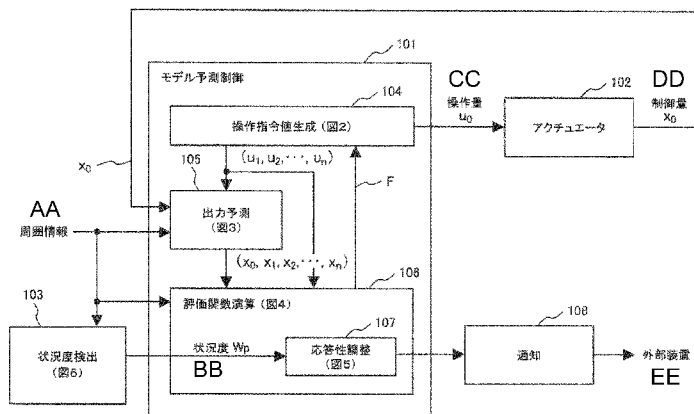
LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場2520番地 Ibaraki (JP).

- (72) 発明者: 中村 敏明 (NAKAMURA Toshiaki); 〒1008280 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 Tokyo (JP). 広津 鉄平 (HIROTSU Teppei); 〒1008280 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 Tokyo (JP). 堀口 辰也 (HORIGUCHI Tatsuya); 〒1008280 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 Tokyo (JP). 鳥羽 忠信 (TOBA Tadanobu); 〒1008280 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 Tokyo (JP). 坂本 英之 (SAKAMOTO Hideyuki); 〒3128503 茨城県ひ

(54) Title: PREDICTION CONTROL DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 予測制御装置及び方法

図 1



- 101 Model prediction control
102 Actuator
103 Situation degree detection (fig. 6)
104 Operation command value generation (fig. 2)
105 Output prediction (fig. 3)
106 Evaluation function computation (fig. 4)
107 Responsiveness adjustment (fig. 5)
108 Notification
AA Surroundings information
BB Situation degree
CC Operation amount
DD Control amount
EE External device

(57) Abstract: Provided is a prediction control device with which it is possible to achieve both comfort during normal travel and quick movement during an emergency, as if a person is driving. A prediction control device for determining the operation amount applied to an actuator for automatic driving of a vehicle, wherein the prediction control device is characterized in being provided with: an operation command value generation unit for generating an operation amount with respect to the actuator and an operation amount candidate serving as a prediction value; an output prediction unit for outputting, using a state equation in which a movement model for a vehicle is represented as a numerical formula, a control amount candidate serving as a prediction value corresponding to the actuator output; an evaluation function computation unit for representing constraint conditions necessary for automatic driving of the vehicle as a plurality of functions and obtaining the total of the output of the functions regarding the constraint conditions; a situation degree detection unit for obtaining, from the situation surrounding the host vehicle during travel, a situation degree serving as a measure of whether to prioritize comfort or prioritize hazard avoidance; and a responsiveness adjustment unit for obtaining the next operation amount candidate from the situation degree from the situation degree detection unit, the operation command

たちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立オートモ
ィブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 戸田 裕二 (TODA Yuji); 〒1008220 東
京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号 株
会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

value generation unit generating the operation amount with respect to the actuator in accordance with the output of the evaluation function from the evaluation function computation unit, and the responsiveness adjustment unit adjusting the output of the evaluation function in accordance with the situation degree.

(57) 要約: 人が運転するように、通常走行時の乗り心地と緊急時の迅速な動作を両立することができる予測制御装置を提供する。車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御装置であって、アクチュエータに対する操作量と、予測値としての操作量候補を生成する操作指令値生成部と、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式を用いて、アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を出力する出力予測部と、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、制約条件についての各関数の出力の総和を得る評価関数演算部と、走行中の自車車両の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度を求める状況度検出部と、状況度検出部からの状況度から次の操作量候補を求める応答性調整部を備え、操作指令値生成部は、評価関数演算部から出力される評価関数の出力に応じてアクチュエータに対する操作量を生成するとともに、応答性調整部は、状況度に応じて評価関数の出力を調整することを特徴とする予測制御装置。

明 細 書

発明の名称： 予測制御装置及び方法

技術分野

[0001] 本発明は、車両の自動運転に適用する予測制御装置及び方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、車両の自動運転が実用化の方向にあり、この場合に自動運転の軌道生成等でモデル予測制御の適用が広がりつつある。

[0003] 車両の自動運転における予測制御技術としては、特許文献 1 および特許文献 2 に記載のような装置が開示されている。

[0004] 特許文献 1 では、チャタリングの発生を防止し、且つ、応答性を向上することのできる予測制御装置及び推奨操作提示装置として、乗り心地を確保するため、システムへの入力操作量が急激に変化する場合には、操作量の変化がしきい値を超えないように操作量を修正する手段を有する例が示されている。

[0005] 特許文献 2 では、周囲車両の将来の位置との関係を考慮した上で、横方向も含めた自車両の挙動を適切に制御することが可能な車両用制御装置として、乗り心地を確保するため、前回と今回の進行方向の変化量や前回と今回の加減速度の変化量をモデル予測制御の評価関数に含める例が示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開 2 0 0 4 - 1 1 8 7 2 3 号公報

特許文献2：特開 2 0 1 7 - 0 8 4 1 1 0 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 1，2 では、主として乗り心地を重視した予測制御を行っているが、その反面緊急時の迅速な動作が求められる場合もある。

[0008] 自動運転の軌道生成等でモデル予測制御を適用する場合に、ハンドル操作

、アクセル操作、ブレーキ操作などの状態量を計算で求めることになるが、時間軸上で不連続な操作が生じる場合がある。

[0009] そのため、人の運転に即した、通常走行時の乗り心地と緊急時の迅速な動作を両立することができるモデル予測制御を行えることが望ましい。

[0010] 以上のことから本発明においては、人が運転するように、通常走行時の乗り心地と緊急時の迅速な動作を両立することができる予測制御装置及び方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 以上のことから本発明においては、「車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御装置であって、アクチュエータに対する操作量と、予測値としての操作量候補を生成する操作指令値生成部と、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式を用いて、アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を出力する出力予測部と、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、制約条件についての各関数の出力の総和を得る評価関数演算部と、走行中の自車車両の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度を求める状況度検出部と、状況度検出部からの状況度から次の操作量候補を求める応答性調整部を備え、操作指令値生成部は、評価関数演算部から出力される評価関数の出力に応じてアクチュエータに対する操作量を生成するとともに、応答性調整部は、状況度に応じて評価関数の出力を調整することを特徴とする予測制御装置。」としたものである。

[0012] また本発明においては、「車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御方法であって、アクチュエータに対する操作量と、予測値としての操作量候補を生成し、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式を用いて、アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を求め、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、制約条件についての各関数の出力の総和を得、走行中の自車車両の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度を求め、状況

度から次の操作量候補を求め、評価関数の出力に応じてアクチュエータに対する操作量を生成するとともに、状況度に応じて前記評価関数の出力を調整することを特徴とする予測制御方法。」としたものである。

[0013] また本発明においては、「車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御装置であって、周囲情報と車両情報とから状況度を検出する手段と、周囲情報と車両情報から単位時間毎に操作量を生成しアクチュエータに出力する手段と、状況度の値に応じて現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段とで構成されることを特徴とする予測制御装置。」としたものである。

[0014] また本発明においては、「車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御方法であって、周囲情報と車両情報とから状況度を検出し、周囲情報と車両情報から単位時間毎に操作量を生成しアクチュエータに出力するとともに、前記状況度の値に応じて現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整することを特徴とする予測制御方法。」としたものである。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、人が運転するように、通常走行時の乗り心地と緊急時の迅速な動作を両立する予測制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施例に係る車両の自動運転制御システムのブロック構成例を示す図。

[図2]モデル予測制御部101内の操作指令値生成部104のブロック構成例を示す図。

[図3]モデル予測制御部101内の出力予測部105のブロック構成例を示す図。

[図4]モデル予測制御部101内の評価関数演算部106のブロック構成例を示す図。

[図5a]過去の実制御量と将来の予測制御量の移動平均値を用いる応答性調整

手段 107 の構成例を示す図。

[図5b]過去の実制御量と将来の予測制御量の加重平均値を用いる応答性調整手段 107 の構成例を示す図。

[図5c]操作量 u_1 と u_0 を用いる応答性調整手段 107 の構成例を示す図。

[図6]状況度検出部 103 のブロック構成例を示す図。

[図7]モデル予測制御による自動運転の一動作例を示す図。

[図8]図 7 のように走行するときの本発明の課題を具体的に説明するための図。

[図9a]応答性調整部 107 の動作として、乗り心地優先の観点から図 4 の状況度 W_p を「1」に近い値とした場合を具体的に説明するための図。

[図9b]応答性調整部 107 の動作として、危険回避優先の観点から図 4 の状況度 W_p を「0」に近い値とした場合を具体的に説明するための図。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

実施例

[0018] 図 1 は本発明の実施例に係る車両の自動運転制御システムのブロック構成例を示す図である。

[0019] 図 1 において、モデル予測制御部 101 は、自車の周囲の情報を基に例えば数ミリ秒毎に将来の数秒間の自車の速度や進む方向を予測しながら、次の数ミリ秒後の操作量を求める処理を行っている。この入力の一部は周囲情報であり、その出力の一部はハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作などのアクチュエータ 102 に対する操作量 u_0 である。またモデル予測制御部 101 は、アクチュエータ 102 の出力である制御量 x_0 と、状況度検出部 103 から状況度の情報 W_p を入力し、通知部 108 に対して応答性調節情報を与えている。

[0020] モデル予測制御部 101 は、操作指令値生成部 104 と、出力予測部 105 と、評価関数演算部 106 と、応答性調整部 107 により構成されている。

- [0021] このうち、操作指令値生成部 104 は、例えば現在の操作量 u_0 と、次の操作量 u_1 から数ミリ秒毎に将来の n 秒間分の予測値としての操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を生成する手段である。操作指令値生成部 104 について、図 2 を用いて後述する。
- [0022] 出力予測部 105 は、例えば操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) と周囲情報および現時点の自車の制御量 x_0 を車両の動作モデルを数式で表した状態方程式に入力し、それに対応する制御量 (速度、位置、方向等) を、予測値としての制御量候補 ($x_1 \sim x_n$) として出力する手段である。出力予測部 105 について、図 3 を用いて後述する。
- [0023] 評価関数演算部 106 は、自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) および制御量候補 ($x_1 \sim x_n$) を入力し、制約条件についての各関数出力の総和 F を出力する手段である。評価関数演算部 106 について、図 4 を用いて後述する。
- [0024] 状況度検出部 103 は、走行中の自車の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度 W_p を出力する手段である。状況度検出部 103 について、図 6 を用いて後述する。
- [0025] 応答性調整部 107 は、現在の操作量 u_0 と状況度検出部 103 から入力する状況度 W_p から次の操作量候補 u_1 を求める手段である。応答性調整部 107 について、図 5 a、図 5 b、図 5 c を用いて後述する。
- [0026] なお通知部 108 は、応答性調整部 107 からの出力 (状況度 W_p や次の操作量候補) を外部に通知する手段である。例えばディスプレイやスピーカにて乗員へ緊急動作を行う旨の通知や、無線ネットワークにより周辺他車へ注意喚起等の通知を行う。
- [0027] 以上の構成によるモデル予測制御部 101 では、操作指令値生成部 104 から評価関数演算部 106 のループ処理を例えば数ミリ秒間に複数回繰り返して、評価関数の総和 F が最小となる操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を選び、次の時点の操作量 u_1 をアクチュエータ 102 に出力する。アクチュエータ 102 は操作量 u を制御量 x に変換しブレーキ、アクセルおよびハンドル操作等を実

行する。

[0028] 図7はモデル予測制御による自動運転の一動作例である。高速道路の走行車線を走行中の自動運転による車両701が、同じ走行車線を走行中の車両702を追い越し、追い越し車線上で先行する車両703に追いつく前に再度走行車線に戻る一連の追い越し動作を想定している。

[0029] 図7の(a)は、高速道路上で自車701が他車702および他車703の後方を走行している図である。このとき自車701は効率の良い運転を行うため、複数の制御量 x の候補(点線で示す)の中から太い実線の矢印で示す時系列的な制御量 $x_0 \sim x_n$ を選択し、次の時点の制御量として x_1 を決定する。

[0030] 図7の(b)～(d)は自車701が他車702を追い越す過程を示しており、それぞれの地点でモデル予測制御により複数の制御量の候補の中から太線の矢印で示す時系列的な制御量 $x_0 \sim x_n$ を選択し、次の時点の制御量として x_1 を決定する。

[0031] 図8により、図7のように走行するときの本発明の課題を具体的に説明する。図1に示すモデル予測制御部101では、一処理時間単位に評価関数 F の出力が最小となる操作量 u を求めている。図8の(c)は、横軸に操作量 u 、縦軸に評価関数 F を示す図であり、処理周期の一処理時間単位で求めた評価関数 F の出力について、今回の評価関数 F_1 の出力が最小となる入力 u_1 が、前回の評価関数 F_0 の出力が最小となる入力 u_0 と大きく異なると、求める操作量 u の値(しいては制御量 x の値)も大きく異なることになる。

[0032] その結果、図8の(a)に示すように、実際の自動運転時にハンドル操作やアクセル、ブレーキ操作にガタツキを生じ乗り心地を悪くすることになる。したがって図8の(b)に示すように滑らかな自動運転を実現し乗り心地を良くする事が本発明の課題である。

[0033] 以下、滑らかな自動運転を実現し乗り心地を良くするための、図1に示す予測制御装置の各部詳細構成について説明する。

[0034] 図2は、モデル予測制御部101内の操作指令値生成部104のブロック

構成例を示す図である。操作指令値生成部 104 では、評価関数 F を入力し、操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を与える。

[0035] 操作指令値生成部 104 内の比較部 202 では、評価関数演算部 106 から出力される演算結果（評価関数 F の出力）を最小値保存部 203 に格納された値と比較する。入力された値が最小値保存部 203 に格納された値より小さければ最小値保存部 203 に対し保存指令信号を出力する。最小値保存部 203 は、比較部 202 からの保存指令信号に応じて評価関数の演算結果を記憶する。ここまでの一連の処理は、図 8 の (c) における評価関数 F が最小となる位置を求めたことを意味している。

[0036] 操作量生成部 201 は、次の時点の操作量候補 u_1 から将来の n 時点の操作量候補 u_n までの操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を生成する手段である。一例としては初期値として乱数発生により操作量候補値を生成し、その後、その値を少しずつ変化させていく演算を繰り返すことで収束解を求める。具体的な方法として粒子群最適化、蟻コロニー最適化、人工蜂コロニーアルゴリズムなどがある。

[0037] 操作量保存部 204 は、最小値保存部 203 に保存された評価関数値に対応する操作指令値候補 ($u_1 \sim u_n$) を保存し、現在時点の操作量 u_0 をブレーキ、アクセル、前輪の操舵角等のアクチュエータ 102 へ出力する。また操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を、図 3 に示す出力予測部 105 に与えている。

[0038] なお現在時点の操作量 u_0 は、例えば前回処理周期で求めた次の時点の操作量候補 u_1 を用いて算出することができる。図 2 の操作指令値生成部 104 によれば、評価関数 F が最小となる時系列的な操作量である、操作量候補 ($u_1 \sim u_n$) を得ることができる。これは、図 7 の (a) に実線で示した軌道を求めたことを意味している。

[0039] 図 3 はモデル予測制御部 101 内の出力予測部 105 のブロック構成例を示す図である。ここで状態方程式演算部 301 は、車両の動作モデルを数式で表した手段である。例えば、加速度や進行方向の角度を入力して、自車の位置座標、速度、方角などの物理量に変換する。保存部 302 は状態方程式

の出力を一時保存し、次の時点の予測処理に利用するための手段である。例えば現時点の位置座標と速度を保存することで次の時点の位置座標の予測値を計算で求めることができる。

[0040] 図3の例では、車両の動作モデルを数式で表すために操作指令値生成部104内からの時系列的な予測操作量($u_1 \sim u_n$)と周囲情報を入力としている。また出力として、アクチュエータ102の出力に対応する制御量を、時系列的な予測制御量($x_1 \sim x_n$)として算出し、評価関数演算部106での演算に使用している。なお、図3では、基準位置を定めるために保存部302を使用しているが、これは図1に示すように、アクチュエータ102が示す現在位置を基準として定めるものであってもよい。

[0041] 図4はモデル予測制御部101内の評価関数演算部106のブロック構成例を示す図である。評価関数演算部106では、自動運転に必要な制約条件を関数で表した複数の制約条件関数(401から405)を用いて、操作指令値生成部104に与える評価関数Fの値を生成する。図4の例では、リスク度と、出力予測部105で求めた時系列的な予測制御量($x_0 \sim x_n$)についての制約条件関数を備えている。またそのうえで、予測操作量($u_1 \sim u_n$)についての制約条件関数を応答性調整部107に備え、応答性調整部107では状況度検出部103で求めた状況度 W_p に応じて制約条件関数の出力を調整している。

[0042] 評価関数演算部106は、複数の制約条件関数演算部(401から404)と、応答性調整部107と、加算部405, 406により構成されている。本発明では、評価関数Fを複数の制約条件関数(401から404)と、応答性調整部107により定めている。

[0043] 複数の制約条件関数は、リスク度演算部401で求めるリスク度についての関数f1、速度誤差演算部402で求める速度誤差についての関数f2、加速度演算部403で求める加速度についての関数f3、加速度演算部404で求める加々速度についての関数f4である。評価関数Fは、これらにさらに応答性調整部107で求める応答性についての関数f5を加味した5つ

の要素で構成された関数である。これら5つの要素で定まる数値が最小のものを求めていく。

[0044] 以下、複数の制約条件関数演算部（401から404）のそれぞれについて説明する。まずリスク度演算部401は、周囲情報と自車の相対位置情報から、次の時点（ $k=1$ ）から将来の n 時点（ $k=n$ ）までの各時点でのリスク度 $R(k)$ を、例えば状況度検出部103から入手し、リスク度 $R(k)$ と重み係数 W_1 の乗算結果を計算し、それらの値の総和を求めるリスク度についての制約条件関数 f_1 である。

[0045] 速度誤差演算部402は、自車の加速度情報を積分して速度を求め、次の時点（ $k=1$ ）から将来の n 時点（ $k=n$ ）までの各時点での目標速度 V_{ref} の差の2乗と重み係数 W_2 の乗算結果を計算し、それらの値の総和を求める速度についての制約条件関数 f_2 である。

[0046] 加速度演算部403は、自車の加速度情報から、次の時点（ $k=1$ ）から将来の n 時点（ $k=n$ ）までの各時点での加速度の2乗と重み係数 W_3 の乗算結果を計算し、それらの値の総和を求める加速度についての制約条件関数 f_3 である。

[0047] 加々速度演算404は、自車の加速度情報を微分して加々速度を求め、次の時点（ $k=1$ ）から将来の n 時点（ $k=n$ ）までの各時点での加々速度の2乗と重み係数 W_4 の乗算結果を計算し、それらの値の総和を求める加々速度についての制約条件関数 f_4 である。加算部405は上記制約条件関数演算部（401から404）の各制約条件関数の出力結果を加算する。

[0048] 応答性調整部107は、現在の操作量 u_0 と次の操作量 u_1 との差分の2乗と、状況度検出部103から入力する状況度 W_p の乗算結果を求める応答性についての制約条件関数 f_5 である。

[0049] 評価関数演算部106は、上記のように構成されているが、先にも述べたように予測制御装置は、評価関数 F の出力を最小とする時の操作量 u により車両制御している。然るに、評価関数 F の出力を定める5つの制約条件関数のうち、リスク度の制約条件関数 f_1 、速度誤差の制約条件関数 f_2 、加速

度の制約条件関数 f_3 、加々速度の制約条件関数 f_4 は、その時々運転状態を反映しており、これが概ね一定値を出力していると仮定すると、評価関数 F の出力は、応答性の制約条件関数 f_5 により定まり、これを決定するのは状況度 W_p である。つまり、状況度 W_p 次第で、評価関数 F の出力を任意に定めることができるというのが、図 4 の評価関数演算部 106 の構成の考え方である。

[0050] 本発明においては、乗り心地優先の時に状況度 W_p を「1」に近い値にし、危険回避優先の時に状況度 W_p を「0」に近い値にするように調整する。図 9 a、図 9 b を用いて、応答性調整部 107 の動作を具体的に説明する。

[0051] 図 9 a は、乗り心地優先の観点から図 4 の状況度 W_p を「1」に近い値とした場合、図 9 b は、危険回避優先の観点から図 4 の状況度 W_p を「0」に近い値とした場合を示している。図 9 a に示すように、状況度 W_p が 1 に近い値（乗り心地優先）のとき、応答性調整部 107 の応答性の関数において、 $W_p \cdot (u_1 - u_0)^2$ の値を 0 に近くするためには、 u_1 が u_0 に近い値を取る必要がある。その結果、現操作量 u_0 に対し、小さな変化量が次の操作量 u_1 として選ばれるため、変化の少ない運転動作を確保できる。

[0052] また、図 9 b に示すように、状況度 W_p が 0 に近い値（危険回避優先）のとき、応答性調整部 107 の応答性の関数において、 $W_p \cdot (u_1 - u_0)^2$ の値を 0 に近くするためには、 u_1 が u_0 から離れた値でも良い。その結果、現操作値 u_0 に対し、大きな変化量が次の操作値 u_1 として選ばれるため、機敏な運転動作を確保できる。

[0053] なお、図 4 に示す応答性調整部 107 の処理では、現在の操作量 u_0 と次の操作量 u_1 との差分を用いているが、ノイズによる影響を減らすために現在の操作量 u_0 に代わり、複数の過去の実績値および将来の予測値を用いても良い。また制御量は、図 3 の状態方程式演算部 301 により操作量の関数出力であるから、次の制御量 x_1 と現在の制御量 x_0 の差分を用いても良い。

[0054] 次に、応答性調整部 107 の別の実施例を示す。図 5 a は、現操作値 u_0 に代わり過去の実操作量と将来の予測操作量の移動平均値を用いる例である。

図5 bは、現操作値 u_0 に代わり過去の実操作量と将来の予測操作量の加重平均値を用いる例である。図5 cは、操作量 u_1 と u_0 の代わりに制御量 x_1 と x_0 を用いる例である。

[0055] 図6は状況度検出部103のブロック構成例を示す図である。状況度検出部103は、複数の個別状況度検出部601と、加算部605と、正規化部606により構成されている。個別状況度検出601は、自車の周囲の1つの障害物との間の衝突可能性を検出する手段である。複数の個別状況度検出部601を備えることにより、自車の周囲の別個の障害物との間の衝突可能性を検出している。

[0056] 個別状況度検出601は、種別係数設定部602と、余裕度算出部603と、乗算部604と、加算部605と、正規化部606により構成されている。このうち種別係数設定部602は、入力される障害物の種類に応じて異なる係数 W_k を選択する手段である。例えば、歩行者<自転車<車の順で係数の値は大きくなる。余裕度算出部603は、自車と障害物との距離と相対速度を入力し、両者間の余裕度を数値で出力する。この例では、相対距離が大きく、また相対速度が大きいほど余裕度として大きな値を出力する。乗算部604は種類係数と余裕度を乗算する手段である。乗算結果は、同じ余裕度であっても車の場合より歩行者の場合のほうが小さくなる。これは歩行者に対する安全を優先するためである。加算部605は複数の個別状況度検出手段601の出力を加算し、総合の状況度を算出する手段である。正規化部606は、状況度 W_p を0～1の間の値に正規化して出力する手段である。状況度 W_p が1に近いほど乗り心地がよく、また状況度 W_p が0に近いほど緊急度が高いものとされる。

[0057] 上記の本発明による予測制御装置は、現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段を含んでいる。この機能は、評価関数演算部106と操作指令値生成部104により主として構成されている。ここでは図4に例示されるように状況度を重み係数とし、現在の操作量と次の操作量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含む。あるいは、状況度を重み係数とし、

過去の実操作量および将来の予測操作量の移動平均値に対する次の操作量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含む。あるいは、状況度を重み係数とし、過去の実操作量および将来の予測操作量の荷重平均値に対する次の制御量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含む。あるいは、状況度を重み係数とし、現在の制御量と次の制御量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含む。

[0058] また本発明装置をさらに簡便に述べるならば、これは「車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御装置であって、周囲情報と車両情報とから状況度を検出する手段と、周囲情報と車両情報から単位時間毎に操作量を生成しアクチュエータに出力する手段と、前記状況度の値に応じて現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段とで構成されることを特徴とする予測制御装置。ということができる。

[0059] 以上に示した本発明装置によれば、人が運転するように、通常走行時の乗り心地と緊急時の迅速な動作を両立することができる。

符号の説明

- [0060] 101 : モデル予測制御部
102 : アクチュエータ
103 : 状況度検出部
部104 : 操作指令値生成部
105 : 出力予測部
106 : 評価関数演算部
107 : 応答性調整部
108 : 通知部
201 : 操作量生成部
202 : 比較部
203 : 最小値保存
204 : 操作量保存部
301 : 状態方程式演算部

3 0 2 : 保存部
4 0 1 : リスク度演算部
4 0 2 : 速度誤差演算部
4 0 3 : 加速度演算部
4 0 4 : 加々速度演算部
4 0 5 : 加算部
4 0 6 : 加算部
6 0 1 : 個別状況度検出部
6 0 2 : 種別係数設定部
6 0 3 : 余裕度算出部
6 0 4 : 乗算部
6 0 5 : 加算部
6 0 6 : 正規化部
7 0 1 : 自車
7 0 2 : 他車
7 0 3 : 他車

請求の範囲

[請求項1] 車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御装置であって、

前記アクチュエータに対する操作量と、予測値としての操作量候補を生成する操作指令値生成部と、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式を用いて、前記アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を出力する出力予測部と、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、前記制約条件についての各関数の出力の総和を得る評価関数演算部と、走行中の自車車両の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度を求める状況度検出部と、前記状況度検出部からの状況度から次の操作量候補を求める応答性調整部を備え、

前記操作指令値生成部は、前記評価関数演算部からの出力に応じて前記アクチュエータに対する操作量を生成するとともに、前記応答性調整部は、状況度に応じて評価関数演算部からの出力を調整することを特徴とする予測制御装置。

[請求項2] 請求項1に記載の予測制御装置であって、

前記操作指令値生成部は、前記評価関数演算部の出力が最小となる値に応じて前記アクチュエータに対する操作量を定めていることを特徴とする予測制御装置。

[請求項3] 請求項1または請求項2に記載の予測制御装置であって、

前記出力予測部は、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式に、走行中の自車車両の周囲状況と前記操作指令値生成部からの予測値としての操作量候補を適用して、前記アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を求めていることを特徴とする予測制御装置。

[請求項4] 請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記評価関数演算部における、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表した前記制約条件は、周囲情報と自車の相対位置情報から求めたリスク度についての制約条件を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項5] 請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記評価関数演算部における、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表した前記制約条件は、前記出力予測部で求めた予測値としての制御量候補についての制約条件を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項6] 請求項5に記載の予測制御装置であって、

前記出力予測部で求めた予測値としての制御量候補についての制約条件は、車両の速度、加速度、加々速度についての制約条件の少なくとも1つ以上を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項7] 請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記応答性調整部は、前記操作指令値生成部からの予測値としての操作量候補からの現在の操作量と次の操作量との差分、及び前記状況度検出部から入力する状況度を用いた応答性についての制約条件関数を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項8] 請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記応答性調整部は、前記操作指令値生成部からの予測値としての操作量候補と、実操作量との差分、及び前記状況度検出部から入力する状況度を用いた応答性についての制約条件関数を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項9] 請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記応答性調整部は、前記出力予測部で求めた予測値としての制御量候補と、実制御量との差分、及び前記状況度検出部から入力する状況度を用いた応答性についての制約条件関数を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項10] 請求項1から請求項9のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

前記状況度検出部は、障害物の種類、自車と障害物との間の距離および相対速度から状況度を求めることを特徴とする予測制御装置。

[請求項11] 請求項1から請求項10のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

予測制御装置は、現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段を含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項12] 請求項11に記載の予測制御装置であって、

現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段は、前記状況度を重み係数とし、現在の操作量と次の操作量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項13] 請求項11または請求項12に記載の予測制御装置であって、

現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段は、調整内容を通知手段を介して外部装置に出力することを特徴とする予測制御装置。

[請求項14] 請求項11から請求項13のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段は、前記状況度を重み係数とし、過去の実操作量および将来の予測操作量の移動平均値に対する次の操作量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項15] 請求項11から請求項14のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段は、前記状況度を重み係数とし、過去の実操作量および将来の予測操作量の荷重平均値に対する次の制御量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項16] 請求項11から請求項15のいずれか1項に記載の予測制御装置であって、

現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段は、前記状況度を重み係数とし、現在の制御量と次の制御量の差分に重み係数を乗じた値を評価関数に含むことを特徴とする予測制御装置。

[請求項17] 車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御方法であって、

前記アクチュエータに対する操作量と、予測値としての操作量候補を生成し、車両の動作モデルを数式で表した状態方程式を用いて、前記アクチュエータ出力に相当する予測値としての制御量候補を求め、車両の自動運転に必要な制約条件を複数の関数で表し、前記制約条件についての各関数の出力の総和を得、走行中の自車車両の周囲状況から、乗り心地を優先するか危険回避を優先するかの尺度となる状況度を求め、前記状況度から次の操作量候補を求め、前記各関数の出力の総和に応じて前記アクチュエータに対する操作量を生成するとともに、状況度に応じて前記各関数の出力の総和を調整することを特徴とする予測制御方法。

[請求項18] 請求項17に記載の予測制御方法であって、

前記アクチュエータに対する操作量は、前記制約条件についての各関数の出力の総和に応じて、前回の操作量と今回の操作量の差が少なくなるようにされるとともに、前記状況度が危険回避を優先するものであるとき、前回の操作量と今回の操作量の差が大きくなることを許容することを特徴とする予測制御方法。

[請求項19] 車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予

測制御装置であって、

周囲情報と車両情報とから状況度を検出する手段と、周囲情報と車両情報から単位時間毎に操作量を生成しアクチュエータに出力する手段と、前記状況度の値に応じて現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整する手段とで構成されることを特徴とする予測制御装置。

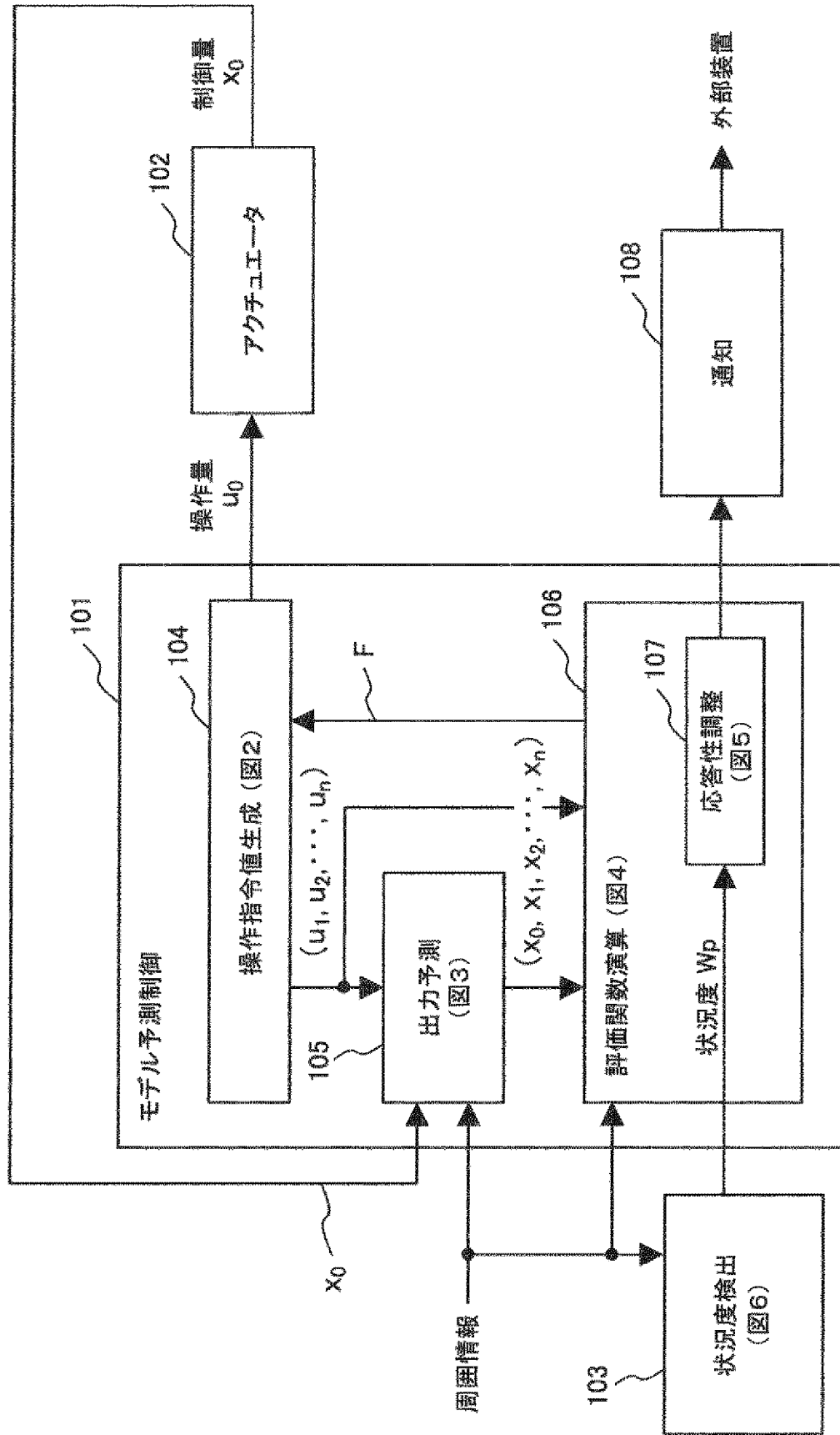
[請求項20]

車両の自動運転のためにアクチュエータに与える操作量を定める予測制御方法であって、

周囲情報と車両情報とから状況度を検出し、周囲情報と車両情報から単位時間毎に操作量を生成しアクチュエータに出力するとともに、前記状況度の値に応じて現時点の操作量と次の時点の操作量との差を調整することを特徴とする予測制御方法。

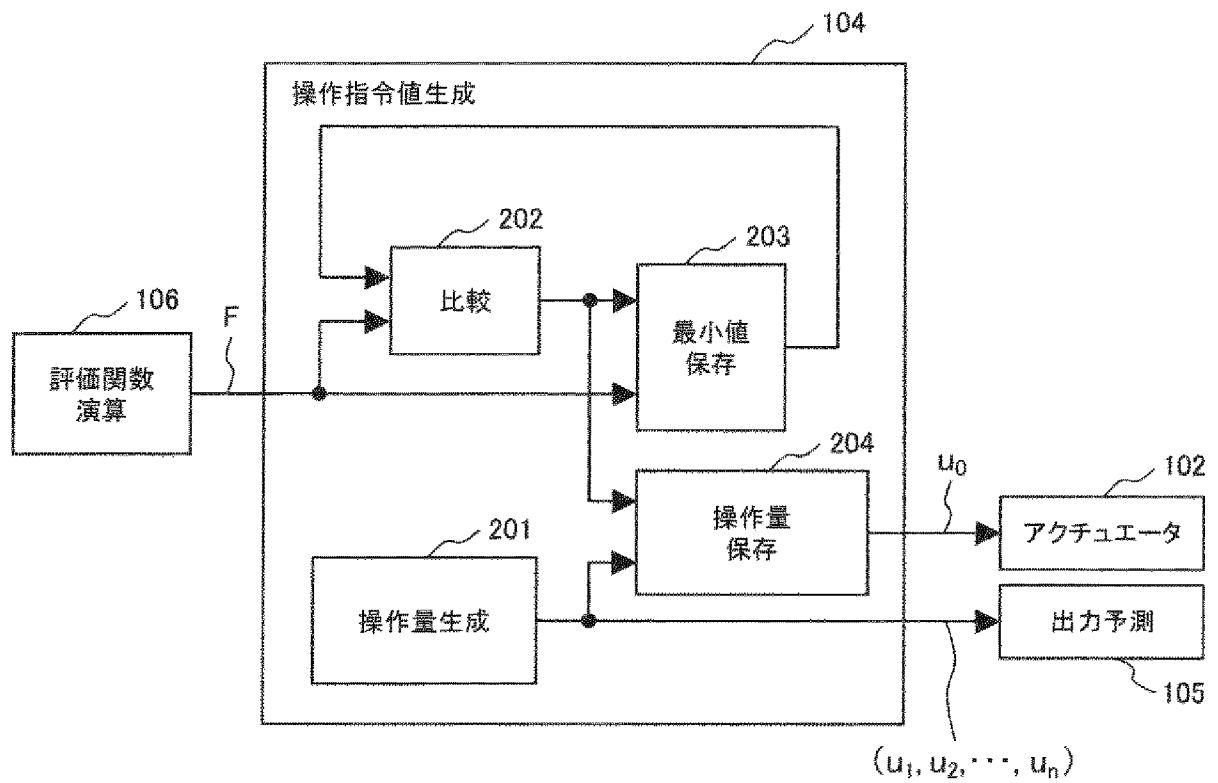
[図1]

図 1



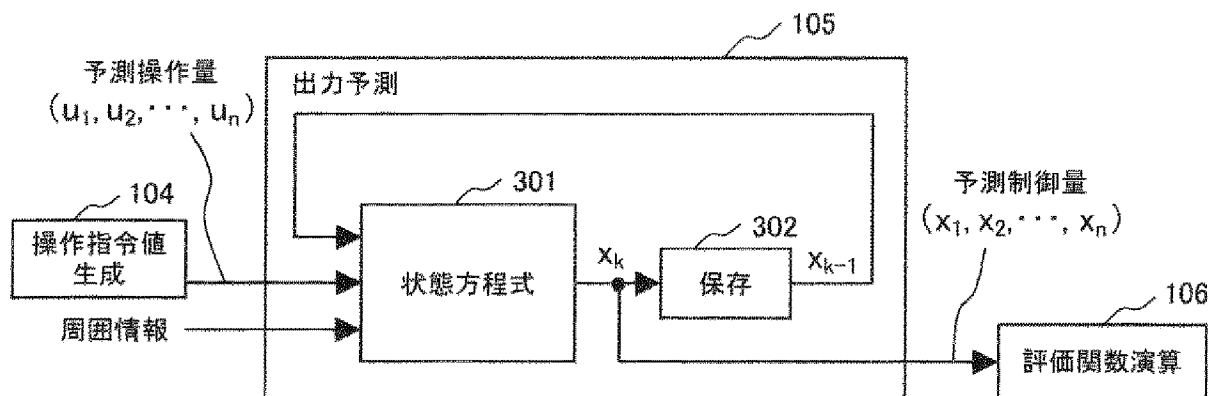
[図2]

図 2



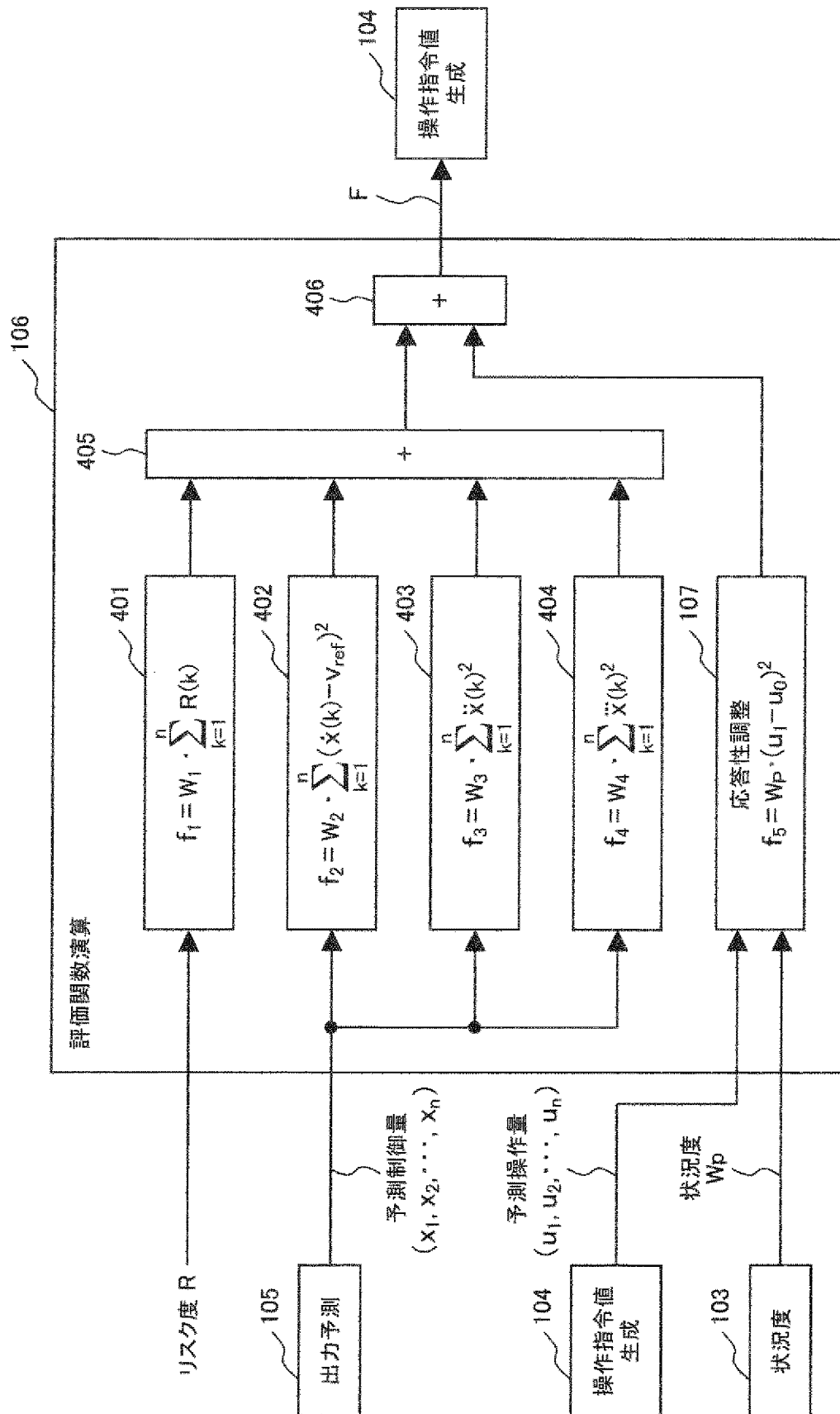
[図3]

図 3



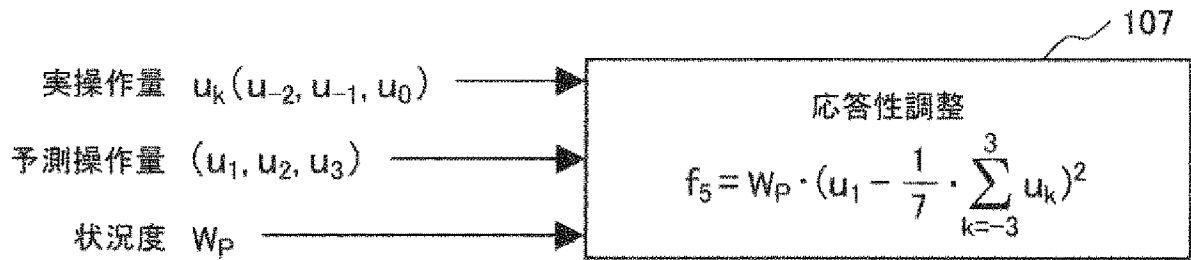
[図4]

図 4



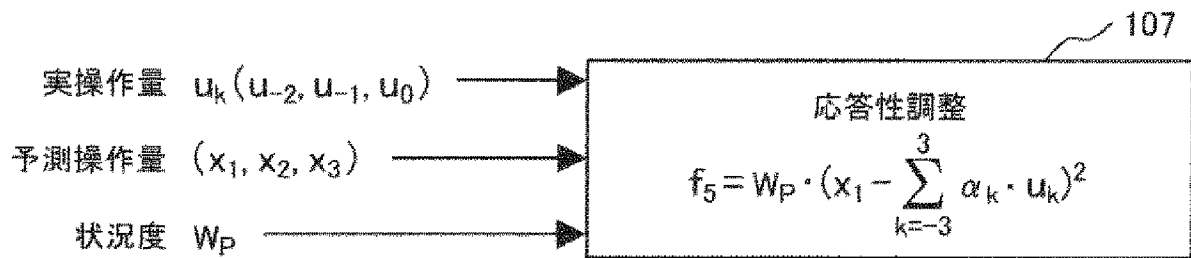
[図5a]

図 5a



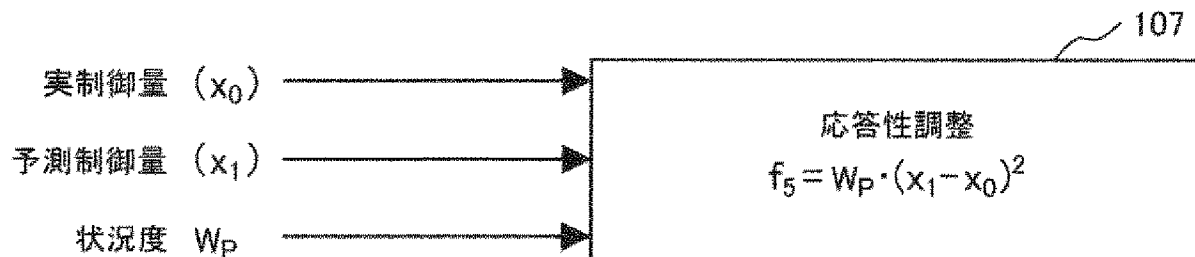
[図5b]

図 5b

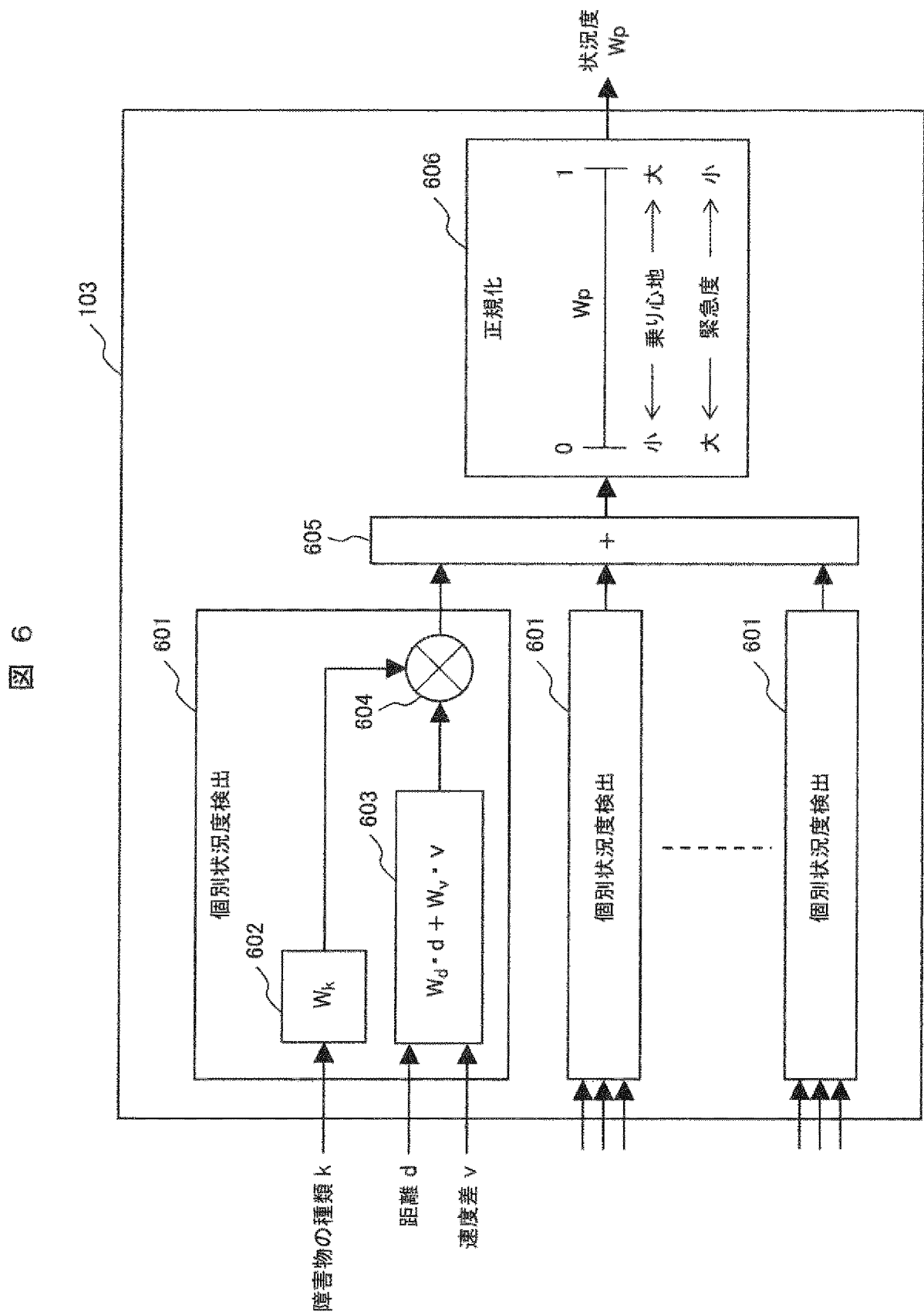


[図5c]

図 5c

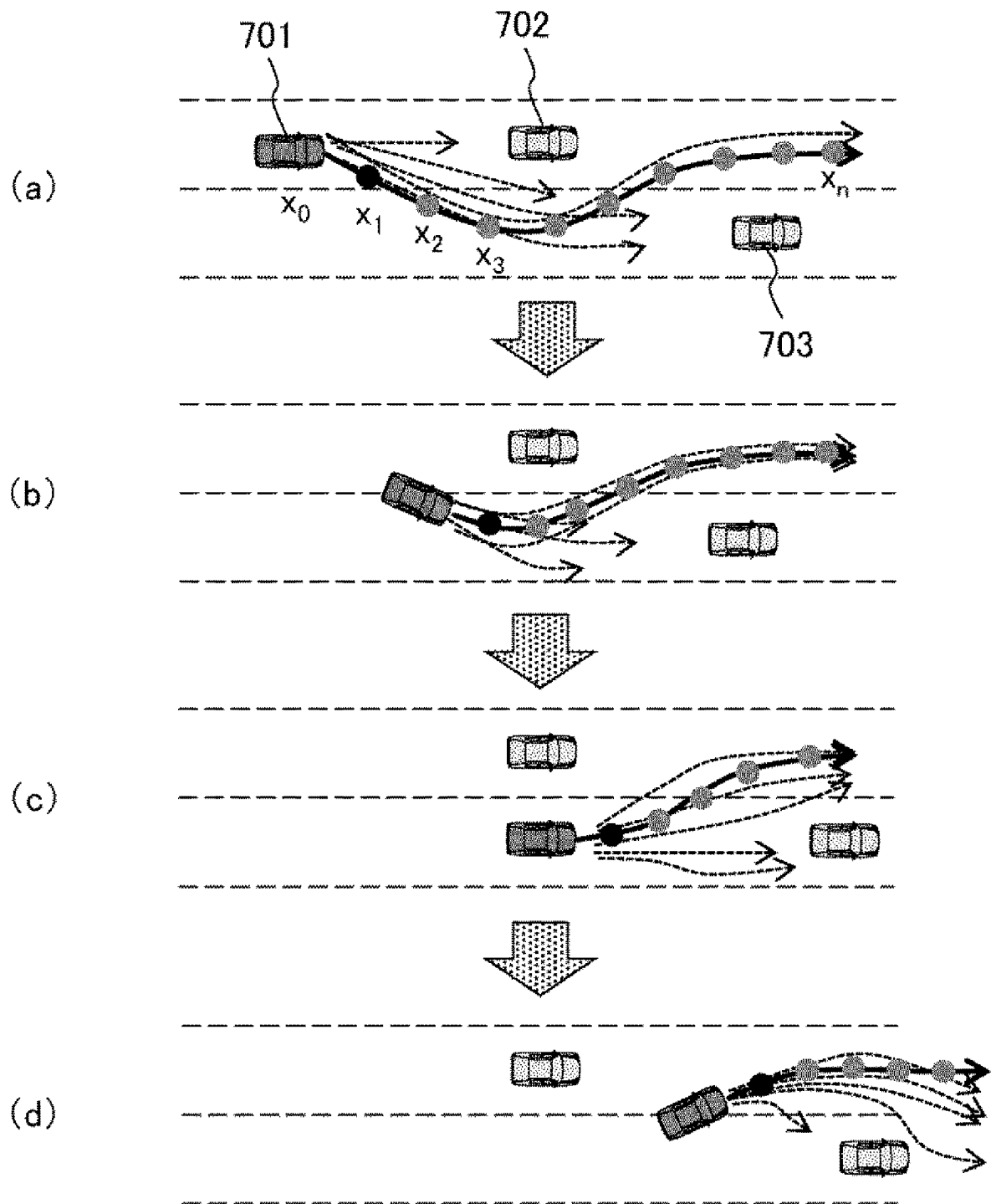


[図6]



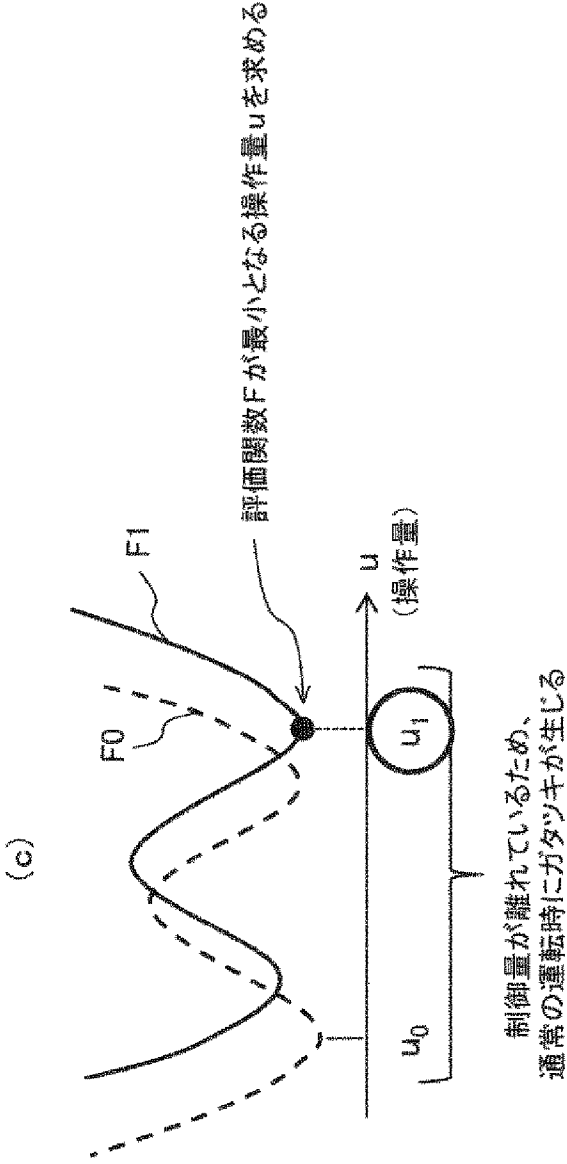
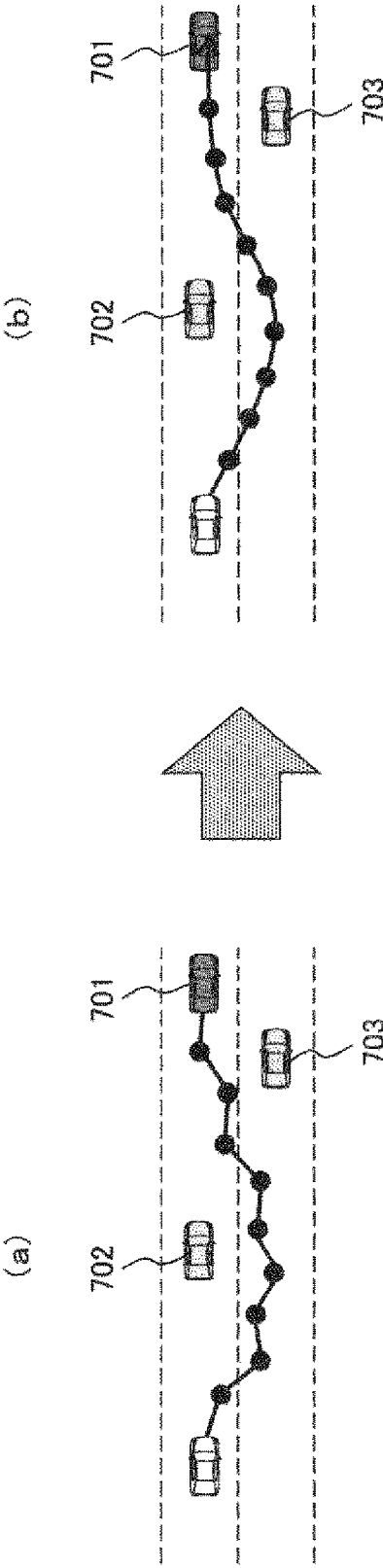
[図7]

図 7



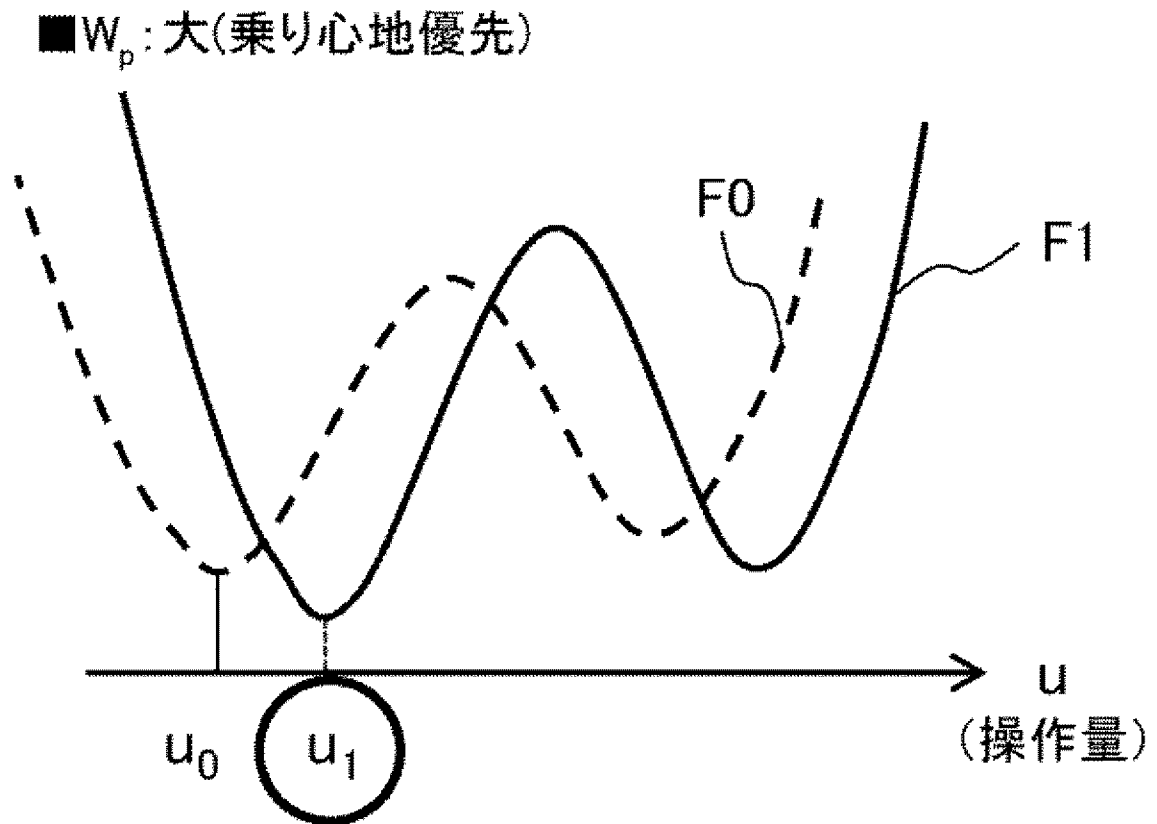
[図8]

図 8

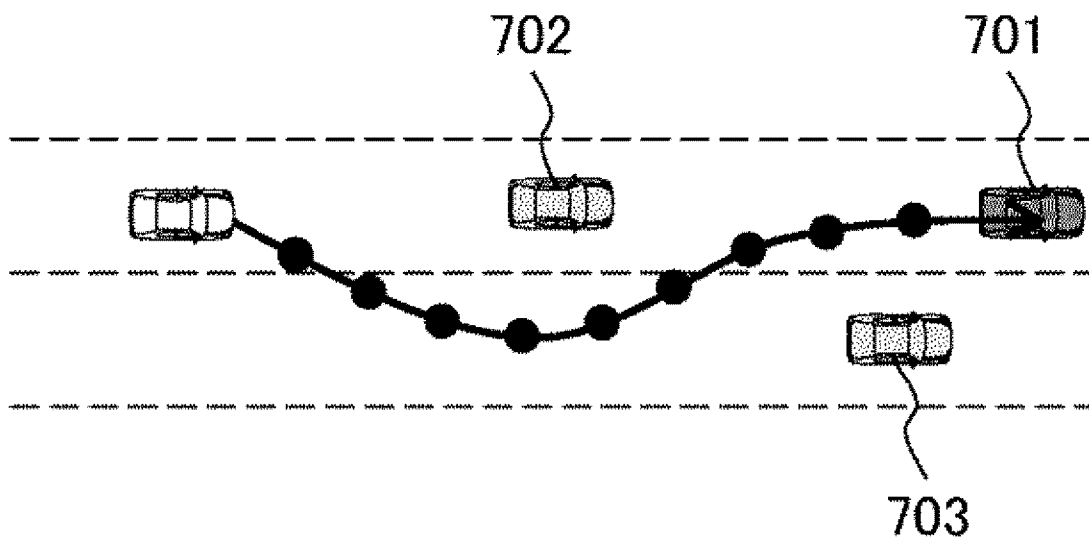


[図9a]

図 9a



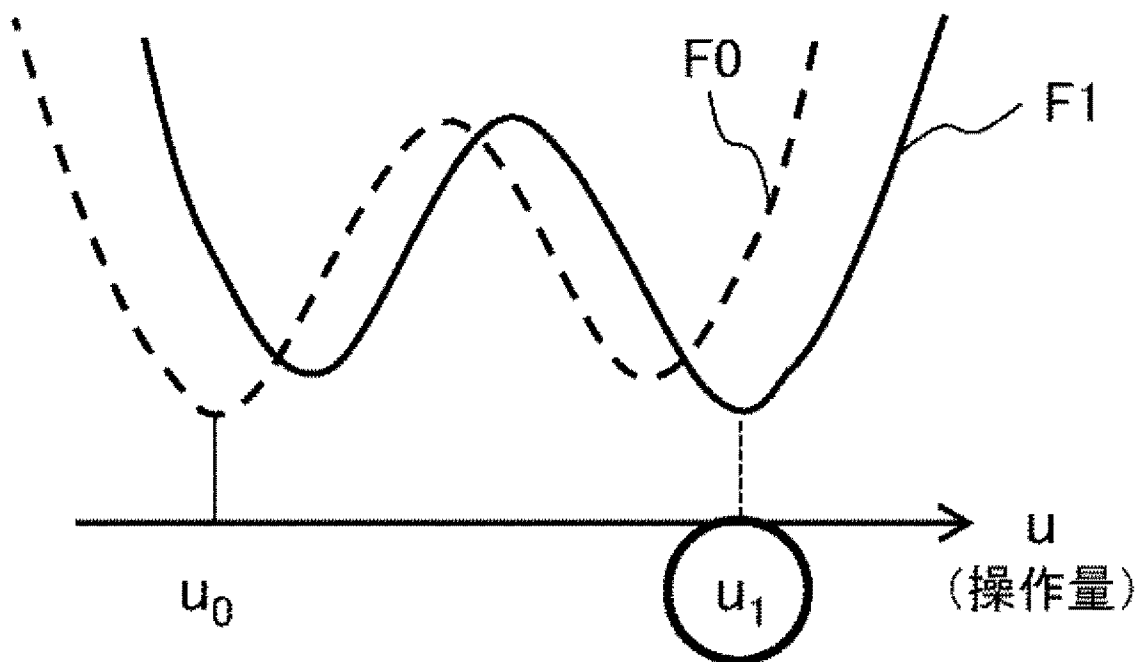
前回に近い値を選択



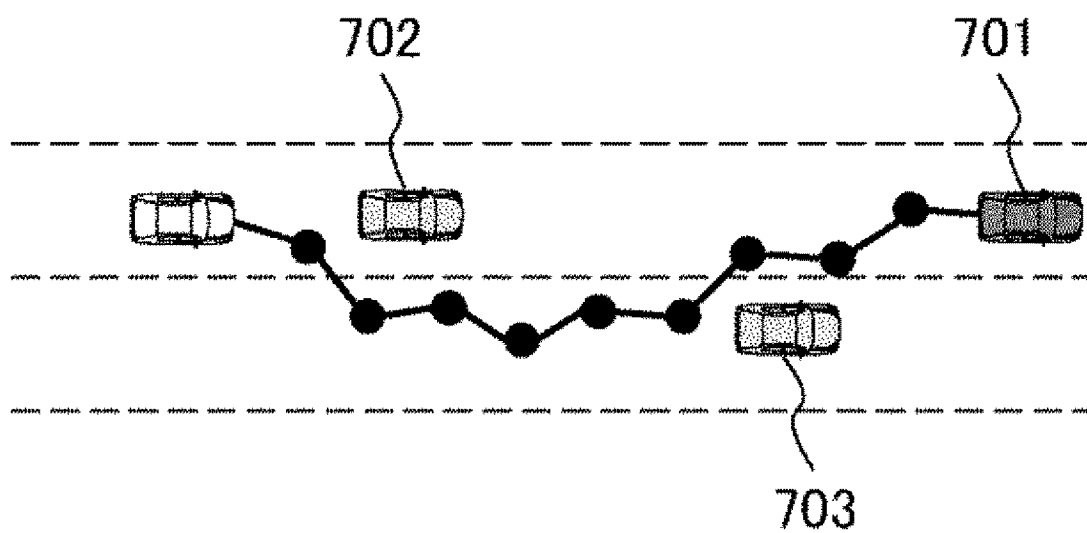
[図9b]

图 9b

■ W_p : 小 (危險回避優先)



前回に依存しない値を選択



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/036214

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B60W30/08 (2012.01) i, B60W50/06 (2006.01) i, G05B13/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. B60W30/00-50/16, G05B13/02, G08G1/00-99/00, B60R21/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-143269 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 26 June 2008, abstract, paragraphs [0037]-[0038] & US 2009/0287376 A1, abstract, paragraphs [0086]-[0087] & WO 2008/072515 A1	1-6, 10-11, 13, 17, 19-20 7-9, 12, 14-16, 18
A		
Y	JP 2004-86289 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 18 March 2004, abstract, paragraphs [0018]-[0026] & US 2003/0187578 A1, abstract, paragraphs [0288]-[0297] & EP 1332910 A1	1-6, 10-11, 13, 17, 19-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 December 2018 (17.12.2018)

Date of mailing of the international search report
15 January 2019 (15.01.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/036214

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/118962 A1 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) 07 August 2014, paragraphs [0050]-[0061] & US 2015/0360688 A1, paragraphs [0065]-[0076] & EP 2953110 A1 & CN 104969274 A	1-20
A	JP 2010-202139 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 16 September 2010, abstract, claims 1-3 (Family: none)	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B60W30/08(2012.01)i, B60W50/06(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B60W30/00-50/16, G05B13/02, G08G1/00-99/00, B60R21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-143269 A（トヨタ自動車株式会社）2008.06.26, 要約, 段落[0037]-[0038]	1-6, 10-11, 13, 17, 19-20
A	& US 2009/0287376 A1, 要約, 段落[0086]-[0087] & WO 2008/072515 A1	7-9, 12, 14-16, 18
Y	JP 2004-86289 A（日産自動車株式会社）2004.03.18, 要約, 段落[0018]-[0026] & US 2003/0187578 A1, 要約, 段落[0288]-[0297] & EP 1332910 A1	1-6, 10-11, 13, 17, 19-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.12.2018

国際調査報告の発送日

15.01.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

鶴江 陽介

3Z

3620

電話番号 03-3581-1101 内線 3395

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2014/118962 A1 (日立オートモティブシステムズ株式会社) 2014.08.07, 段落[0050]-[0061] & US 2015/0360688 A1, 段落[0065]-[0076] & EP 2953110 A1 & CN 104969274 A	1-20
A	JP 2010-202139 A (日産自動車株式会社) 2010.09.16, 要約, 請求項 1-3 (ファミリーなし)	1-20