

(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
2012 年 9 月 7 日(07.09.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/117528 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 17/66 (2006.01) *G08G 1/16* (2006.01)
G01S 17/93 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/054651
- (22) 国際出願日: 2011 年 3 月 1 日(01.03.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 中村 弘 (NAKAMURA Hiroshi) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番

1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

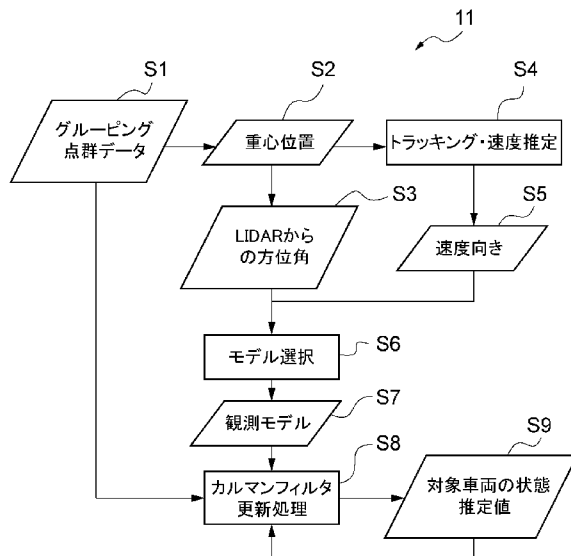
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),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

[続葉有]

(54) Title: STATE ESTIMATION DEVICE

(54) 発明の名称: 状態推定装置

[図3]



- S1 DATA OF A GROUP OF GROUPING POINTS
S2 BARYCENTRIC POSITION
S3 AZIMUTH OBTAINED FROM LIDAR
S4 TRACKING AND VELOCITY ESTIMATION
S5 DIRECTION OF VELOCITY
S6 MODEL SELECTION
S7 OBSERVATION MODEL
S8 KALMAN FILTER UPDATING PROCESS
S9 STATE ESTIMATION VALUE OF THE TARGET VEHICLE

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a state estimation device capable of estimating, with high accuracy, the state of an object to be observed. A state estimation device (1) estimates the state of a vehicle located in the periphery of the vehicle, to which the state estimation device (1) is mounted, by performing a Kalman filter updating process for computing the measurement data of a target vehicle obtained from a LIDAR (2), said Kalman filter updating process being performed by applying the aforementioned measurement data to a state estimation model. The state estimation device (1) changes the state estimation model used in the Kalman filter updating process on the basis of the state of the target vehicle or the positional relationship in relation to the target vehicle.

(57) 要約: 高精度に観測対象の状態を推定することができる状態推定装置を提供することを目的とする。状態推定装置 1 は、L I D A R 2 による対象車両の測定データを状態推定用モデルに当てはめて演算するカルマンフィルタ更新処理を行うことで、自車両の周辺に存在する車両の状態を推定するものである。そして、状態推定装置 1 は、対象車両との位置関係や対象車両の状態に基づいて、カルマンフィルタ更新処理に用いる状態推定用モデルを変更する。

WO 2012/117528 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：状態推定装置

技術分野

[0001] 本発明は、測定データを状態推定用モデルに当てはめることにより観測対象の状態を推定する推定装置に関する。

背景技術

[0002] 従来から、動的な観測対象の状態を推定する技術として、特開２００２－２５９９６６号公報に記載された装置が知られている。特開２００２－２５９９６６号公報に記載された装置は、複数の認識手段を備え、所定条件に従って認識手法を切り替えることで、推定の高精度化を図るものである。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開２００２－２５９９６６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特開２００２－２５９９６６号公報に記載された技術であっても、十分な推定精度を得ることができないため、更に高精度な推定手法が求められている。

[0005] そこで、近年は、カルマンフィルタ（Kalman Filter）などのフィルタを用いた状態推定手法が採用されるようになってきた。カルマンフィルタでは、まず、観測モデル、観測ノイズモデル、運動モデル及び運動ノイズモデルなどの状態推定用モデルを設定しておく。そして、カルマンフィルタでは、この設定した状態推定用モデルに観測対象の測定データを当てはめることにより、動的な観測対象の状態を高精度に推定する。

[0006] しかしながら、従来のカルマンフィルタを用いた状態推定手法では、観測対象の状態が時々刻々と変化するにもかかわらず、状態推定用モデルが固定されているため、必ずしも高精度に観測対象の状態を推定することができな

いという問題がある。

[0007] そこで、本発明は、より高精度に観測対象の状態を推定することができる状態推定装置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

[0008] 本発明に係る状態推定装置は、観測対象を測定する測定装置により測定した測定データを状態推定用モデルに当てはめて観測対象の状態を推定する状態推定装置であって、観測対象との位置関係又は観測対象の状態に基づいて、状態推定用モデルを変更する変更手段を有する。

[0009] 本発明に係る状態推定装置によれば、観測対象との位置関係又は観測対象の状態に基づいて状態推定用モデルを変更するため、動的な観測対象の状態をより高精度に推定することができる。

[0010] この場合、観測対象は、測定装置の周辺に存在する車両であり、変更手段は、測定装置に対する観測対象の中心位置の方向に基づいて、状態推定用モデルを変更することが好ましい。測定装置に対する観測対象の中心位置の方向が異なると、観測対象の測定可能面が異なる。このため、測定装置に対する観測対象の中心位置の方向に関わらず同一の状態推定用モデルを用いると、測定データと状態推定用モデルとの対応付けを適切に行うことができない。その結果、観測対象の状態を高精度に推定できなくなる。そこで、測定装置に対する観測対象の中心位置の方向に基づいて状態推定用モデルを変更することで、測定データと状態推定用モデルとを適切に対応付けることができる。これにより、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0011] また、観測対象は、測定装置の周辺に存在する車両であり、変更手段は、観測対象の向きに基づいて、状態推定用モデルを変更することが好ましい。観測対象の向きが異なると、観測対象の測定可能面が異なる。このため、観測対象の向きに関わらず同一の状態推定用モデルを用いると、測定データと状態推定用モデルとの対応付けを適切に行うことができない。その結果、観測対象の状態を高精度に推定することができない。そこで、観測対象の

向きに基づいて状態推定用モデルを変更することで、測定データと状態推定用モデルとを適切に対応付けることができるため、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0012] また、観測対象は、測定装置の周辺に存在する車両であり、変更手段は、測定装置に対する観測対象の中心位置の方向、及び、観測対象の向き、の双方に基づいて、状態推定用モデルを変更することが好ましい。測定装置に対する観測対象の中心位置の方向、及び、観測対象の向きの双方により、観測対象の自車両に対向する面を特定することができる。このため、これら双方の情報に基づいて状態推定用モデルを変更することで、測定データと状態推定用モデルとを適切に対応付けることができるため、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0013] また、変更手段は、前回の推定で用いた状態推定用モデルに基づいて、測定データを当てはめる状態推定用モデルを絞り込むことが好ましい。通常、観測対象の挙動変化は連続的であることから、前回の推定で用いた状態推定用モデルに基づいて状態推定用モデルを絞り込むことで、誤った状態推定用モデルが選択されるのを低減することができる。

[0014] また、変更手段は、前回推定した観測対象の状態に基づいて、測定装置に対する観測対象の中心位置の方向、又は、観測対象の向きを推定することが好ましい。このように、前回推定した情報を利用することで推定の連続性が保たれるため、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0015] また、変更手段は、観測対象が存在する位置の地図情報に基づいて、観測対象の向きを推定することが好ましい。観測対象が静止している場合や観測対象を検出した直後の場合などは、測定データによって観測対象の向きを求めることができない。そこで、観測対象が存在する位置の地図情報を利用することで、このような場合であっても、観測対象の向きを推定することができる。

[0016] また、変更手段は、測定データから観測対象のモデルを生成し、モデルを構成する辺の数に基づいて、状態推定用モデルを変更することが好ましい。

このように、測定データから生成されるモデルの辺の数に基づいて状態推定用モデルを変更することで、状態推定用モデルの変更基準が明確化されるため、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0017] また、状態推定用モデルは、測定装置の測定により生じる観測ノイズを分散値で表す観測ノイズモデルを含み、変更手段は、観測対象の面に対する向きに基づいて、観測ノイズモデルの分散値を変更することが好ましい。通常、観測対象の面に垂直な方向には測定データの観測ノイズが小さく、観測対象の面に水平な方向には測定データの観測ノイズが大きい。そこで、測定対象の面に対する向きに基づいて観測ノイズモデルの分散値を変更することで、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0018] また、変更手段は、観測対象までの距離に基づいて、観測ノイズモデルを変更することが好ましい。観測対象までの距離が近いと、観測対象の測定対象領域が大きいため、観測ノイズが小さくなる。一方、観測対象までの距離が遠いと、観測対象の測定対象領域が小さいため、観測ノイズが大きくなる。そこで、測定対象までの距離に応じて観測ノイズモデルを変更することで、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0019] また、観測対象は、測定装置の周辺に存在する車両であり、状態推定用モデルは、周辺車両の運動状態を表す運動モデルと、運動モデルにおけるステアリング角度の変化量を示す運動ノイズモデルと、を含み、変更手段は、観測対象の速度が高いと、観測対象の速度が低いときに比べて、運動ノイズモデルにおけるステアリング角度の変化量を小さくすることが好ましい。通常、車両の速度が速いと、ステアリングを大きく切る可能性が低い。そこで、観測対象の速度が高いと運動ノイズモデルにおけるステアリング角度の変化量を小さくすることで、観測対象の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0020] また、複数の異なる状態推定用モデルを用いて、観測対象の状態を推定するとともに、観測対象の状態の推定分散値を算出し、推定分散値が最も小さい観測対象の状態を出力することが好ましい。これにより、観測対象との位

置関係や観測対象の状態が不明な場合であっても、適切な状態推定用モデルを用いて推定した観測対象の状態を出力することができる。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、高精度に観測対象の状態を推定することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本実施形態に係る状態推定装置を示したブロック図である。

[図2]推定したい変数を示した図である。

[図3]第1の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図4]重心位置の方位角と重心位置の速度向きとを示す図である。

[図5]観測モデルの変更基準例を示す図である。

[図6]右斜後面観測モデルを説明するための図である。

[図7]後面観測モデルを説明するための図である。

[図8]第2の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図9]第3の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図10]第4の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図11]第5の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図12]図11のモデル選択処理を示した図である。

[図13]第6の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図14]対象車両とグルーピング点群データとの関係を示した図である。

[図15]観測ノイズモデルの概念を示した図である。

[図16]第7の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図17]第8の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[図18]第9の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照して、本発明に係る状態推定装置の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、全図中、同一又は相当部分には同一符号を付すこととする。

[0024] 図1は、本実施形態に係る状態推定装置を示したブロック図である。本実

施形態に係る状態推定装置 1 は、車両に搭載されており、L I D A R (Light Detection and Ranging) 2 と電氣的に接続されている。

[0025] L I D A R 2 は、レーザ光を利用して他車両を測定するレーダであり、測定装置として機能する。L I D A R 2 は、レーザ光を出射するとともに、この出射したレーザ光の反射光を受光することで、反射点の点列を検出する。そして、L I D A R 2 は、レーザ光の速度、レーザ光の出射時刻、及び、反射光の受光時刻から、この検出した点列の測定データを算出する。測定データには、例えば、自車両との相対距離、自車両に対する相対方向、自車両との相対距離と自車両に対する相対方向から算出される座標などが含まれる。そして、L I D A R 2 は、検出した点列の測定データを状態推定装置 1 に送信する。

[0026] 状態推定装置 1 は、カルマンフィルタを用いた推定処理により自車両の周辺に存在する他車両の状態を推定するものである。

[0027] 具体的に説明すると、状態推定装置 1 は、まず、自車両の周辺に存在する他車両を、観測対象である対象車両とし、この対象車両の状態を、推定したい変数として設定する。図 2 は、推定したい変数を示した図である。図 2 に示すように、推定したい変数は、例えば、中心位置 (x)、中心位置 (y)、速さ (v)、向き (θ)、タイヤ角 (ξ)、ホイールベース (b)、長さ (l)、幅 (w) となる。

[0028] そして、状態推定装置 1 は、L I D A R 2 から送信された測定データを所定の状態推定用モデルに当てはめて演算することで上記の各変数を推定し、この推定した変数を対象車両の状態推定値として出力する。なお、本実施形態では、このように変数を推定する処理を、カルマンフィルタ更新処理という。

[0029] 更に、状態推定装置 1 は、対象車両との位置関係や対象車両の状態に基づいて、カルマンフィルタ更新処理に用いる状態推定用モデルを変更する。このため、状態推定装置 1 は、状態推定用モデルを変更する変更手段としても機能する。なお、カルマンフィルタ更新処理に用いる状態推定用モデルは、

後述するように、観測モデル、観測ノイズモデル、運動モデル、運動ノイズモデルにより表される。

[0030] ここで、カルマンフィルタの概念について簡単に説明する。なお、カルマンフィルタ自体は周知の技術であるため、詳しい説明は省略する。

[0031] カルマンフィルタは、観測量（観測ベクトル） z_k のみが観測されるときに、観測対象の状態（状態ベクトル） x_k を推定するものである。このため、 x_k が、推定により求めたい変数となる。なお、本実施形態では、L I D A R 2により測定される測定データが観測量に対応する。

[0032] 時刻 k における観測量 z_k は、次の（１）式に示す観測モデルにより表される。

[数1]

$$z_k = Hx_k + v_k \quad \dots(1)$$

[0033] ここで、 v_k は、観測モデルに入り込む観測ノイズを表す観測ノイズモデルである。観測ノイズは、例えば、L I D A R 2 の特性により生じる誤差や、L I D A R 2 の読み取り誤差などの、観測により生じる誤差である。この観測ノイズモデル v_k は、平均 0 分散 R の正規分布に従い、次の（２）式又は（３）式で表される。

[数2]

$$p_{v_k}(v) \sim \exp\{-v^T R^{-1} v\} \quad \dots(2)$$

$$E(v_k \ v_k^T) = R \quad \dots(3)$$

[0034] 時刻 k における状態 x_k は、次の（４）式に示す運動モデルにより表される。

[数3]

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad \dots(4)$$

[0035] ここで、 u_k は、操作量である。また、 w_k は、運動モデルに入り込む運動ノイズを表す運動ノイズモデルである。運動ノイズは、運動モデルが想定している運動状態と異なる運動状態が行われることにより生じる誤差である。

例えば、等速直線運動を行う運動モデルであった場合に、加減速が行われることにより、観測対象の速度に生じる誤差や、ステアリングが切られることにより、観測対象の速度方向に生じる誤差などがある。この運動ノイズモデル w_k は、平均 0 分散 Q の正規分布に従い、次の (5) 式又は (6) 式で表される。

[数4]

$$p_{w_k}(w) = \exp\{-w^T Q^{-1} w\} \quad \dots(5)$$

$$E(w_k w_k^T) = Q \quad \dots(6)$$

[0036] そして、カルマンフィルタでは、確率 $p(x_k | z_1, \dots, z_k)$ がガウス分布であると仮定し、次の時刻の確率 $p(x_{k+1} | z_1, \dots, z_{k+1})$ を逐次演算していく。すると、状態 x_k の分布は、次の (7) 式及び (8) 式で表される。

[数5]

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad \dots(7)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad \dots(8)$$

$\hat{x}_k^-$: 平均値

P_k^- : 分散値

[0037] そして、観測量 z_k で更新した状態 x_k の分布は、次の (9) 式及び (10) で表される。

[数6]

$$\hat{x}_k = \left(H^T R^{-1} H + (P_k^-)^{-1} \right)^{-1} \left(H^T R^{-1} z_k + (P_k^-)^{-1} \hat{x}_k^- \right) \quad \dots(9)$$

$$P_k = \left(H^T R^{-1} H + (P_k^-)^{-1} \right)^{-1} \quad \dots(10)$$

[0038] 以下、第 1 ～ 第 9 の実施形態に係る状態推定装置について詳しく説明する。なお、各実施系形態に係る状態推定装置は、実施形態の番号に併せて 11 ～ 19 の符号を付す。

[0039] [第1の実施形態]

第1の実施形態に係る状態推定装置11の推定処理について説明する。図3は、第1の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。

[0040] 図3に示すように、第1の実施形態に係る状態推定装置11は、L I D A R 2に対する対象車両の中心位置の方向と対象車両の向きとに基づいて、カルマンフィルタ更新処理に用いる観測モデルを変更する。観測モデルとしては、対象車両の後面を対象とした後面観測モデル、対象車両の後面及び左面を対象とした左斜後面観測モデル、対象車両の左面を対象とした左面観測モデル、対象車両の前面及び左面を対象とした左斜前面観測モデル、対象車両の前面を対象とした前面観測モデル、対象車両の前面及び右面を対象とした右斜前面観測モデル、対象車両の右面を対象とした右面観測モデル、対象車両の後面及び右面を対象とした右斜後面観測モデル、の8つがある。そこで、状態推定装置11は、これら8つの観測モデルから、適切な観測モデルを選択する。

[0041] まず、状態推定装置11は、L I D A R 2から送信された点列の測定データからグルーピング点群データを生成する（S1）。詳しく説明すると、状態推定装置11は、L I D A R 2が反射点の点列を検出すると、所定距離内にある点列をグルーピングしたグルーピング点群データを生成する。このグルーピング点群データは、各車両に対応して生成されるため、自車両の周辺に複数の車両が存在する場合は、複数のグルーピング点群データが生成される。

[0042] 次に、状態推定装置11は、S1で生成したグルーピング点群データの重心位置を求める（S2）。グルーピング点群データの重心位置は、対象車両の中心位置に対応するものである。このため、グルーピング点群データの重心位置は、例えば、グルーピング点群データから車両のモデルを生成し、このモデルの重心位置を算出することにより求めることができる。

[0043] そして、状態推定装置11は、L I D A R 2から見たS2で求めた重心位置の方位角を算出する（S3）。すなわち、状態推定装置11は、S3にお

いて、L I D A R 2に対する対象車両の重心位置の方向を算出する。

[0044] 一方、状態推定装置 11 は、S 2 で求めた重心位置を過去複数回分にわたってトラッキングし、S 2 で求めた重心位置の速度を推定する (S 4)。そして、状態推定装置 11 は、S 4 のトラッキング及び速度の推定により、S 2 で求めた重心位置の速度向きを算出する (S 5)。すなわち、状態推定装置 11 は、S 5 において、対象車両の速度向きを算出する。

[0045] 次に、状態推定装置 11 は、S 3 で算出した重心位置の方位角と S 5 で算出した重心位置の速度向きとの差分から、観測モデルを選択する (S 6)。

[0046] ここで、図 4 及び図 5 を参照して、S 6 の処理について詳しく説明する。図 4 は、重心位置の方位角と重心位置の速度向きとを示す図である。図 5 は、観測モデルの変更基準例を示す図である。なお、図 4 において、O (X 0, Y 0) は、L I D A R 2 の原点を示しており、C (x, y) は、S 2 で求めた重心位置を示している。また、 θ は、S 5 で算出した重心位置 C の速度向きを示しており、 ψ は、原点 O に対する重心位置 C の方向であって、S 3 で算出した方向を示している。

[0047] 図 4 に示すように、状態推定装置 11 は、まず、S 5 で算出した速度向き θ から S 3 で算出した方向 ψ を引いた角度 ϕ を算出する。この角度 ϕ は、 $\phi = \theta - \psi$ で表され、 $0 \sim 2\pi$ (360°) の範囲となる。そして、図 5 に示すように、状態推定装置 11 は、この算出された角度 ϕ に基づいて、観測モデルを選択する。

[0048] 角度 ϕ が 20° 以下の場合は、L I D A R 2 から対象車両の後面のみが見えるため、状態推定装置 11 は、後面観測モデルを選択する。

[0049] 角度 ϕ が 20° より大きく 70° 以下の場合は、L I D A R 2 から対象車両の後面及び左面のみが見えるため、状態推定装置 11 は、左斜後面観測モデルを選択する。

[0050] 角度 ϕ が 70° より大きく 110° 以下の場合は、L I D A R 2 から対象車両の左面のみが見えるため、状態推定装置 11 は、左面観測モデルを選択する。

- [0051] 角度 ϕ が 110° より大きく 160° 以下の場合、L I D A R 2から対象車両の前面及び左面のみが見えるため、状態推定装置11は、左斜前面観測モデルを選択する。
- [0052] 角度 ϕ が 160° より大きく 200° 以下の場合、L I D A R 2から対象車両の前面のみが見えるため、状態推定装置11は、前面観測モデルを選択する。
- [0053] 角度 ϕ が 200° より大きく 250° 以下の場合、L I D A R 2から対象車両の前面及び右面のみが見えるため、状態推定装置11は、右斜前面観測モデルを選択する。
- [0054] 角度 ϕ が 250° より大きく 290° 以下の場合、L I D A R 2から対象車両の右面のみが見えるため、状態推定装置11は、右面観測モデルを選択する。
- [0055] 角度 ϕ が 290° より大きく 340° 以下の場合、L I D A R 2から対象車両の後面及び右面のみが見えるため、状態推定装置11は、右斜後面観測モデルを選択する。
- [0056] 角度 ϕ が 340° より大きい場合は、L I D A R 2から対象車両の後面のみが見えるため、状態推定装置11は、後面観測モデルを選択する。
- [0057] ここで、図6及び図7を参照して、観測モデルの一例を詳しく説明する。図6は、右斜後面観測モデルを説明するための図である。図7は、後面観測モデルを説明するための図である。
- [0058] 図6に示すように、L I D A R 2から対象車両の後面及び右面のみが見える場合を考える。この場合、S1で生成したグルーピング点群データに直線を当てはめると、このグルーピング点群データは、右側に配置される点列で構成される右グルーピングと、左側に配置される点列で構成される左グルーピングと、にグルーピングされる。なお、グルーピング点群データは、反射点の点列で構成されるため、グルーピング点群データに当てはめられる直線は、対象車両の前面、後面、右面、左面に対応する。
- [0059] 上述したように、推定したい変数は、中心位置(x)、中心位置(y)、

速さ（ v ）、向き（ θ ）、タイヤ角（ ξ ）、ホイールベース（ b ）、長さ（ l ）、幅（ w ）である（図2参照）。このため、右斜後面観測モデルにおける変数は、

右グルーピングの中心位置（ X_R ）

右グルーピングの中心位置（ Y_R ）

右グルーピングにおける長軸の長さ（ L_R ）

右グルーピングにおける長軸の方位（ Θ_R ）

左グルーピングの中心位置（ X_L ）

左グルーピングの中心位置（ Y_L ）

左グルーピングにおける長軸の長さ（ L_L ）

左グルーピングにおける長軸の方位（ Θ_L ）

となる。

[0060] また、右斜後面観測モデルは、

$$X_R = x - l / 2 \times \cos(\theta)$$

$$Y_R = y - l / 2 \times \sin(\theta)$$

$$L_R = w$$

$$\Theta_R = \text{mod}(\theta + \pi / 2, \pi)$$

$$X_L = x + w / 2 \times \sin(\theta)$$

$$Y_L = y - w / 2 \times \cos(\theta)$$

$$L_L = l$$

$$\Theta_L = \text{mod}(\theta, \pi)$$

となる。

[0061] 図7に示すように、L I D A R 2から対象車両の後面のみが見える場合を考える。この場合、S 1で生成したグルーピング点群データに直線を当てはめると、1つにグルーピングされる。

[0062] 上述したように、推定したい変数は、中心位置（ x ）、中心位置（ y ）、速さ（ v ）、向き（ θ ）、タイヤ角（ ξ ）、ホイールベース（ b ）、長さ（ l ）、幅（ w ）である（図2参照）。このため、右斜後面観測モデルに

おける変数は、
 グルーピングの中心位置（X）
 グルーピングの中心位置（Y）
 グルーピングにおける長軸の長さ（L）
 グルーピングにおける長軸の方位（ Θ ）
 となる。

[0063] そして、右斜後面観測観測モデルは、

$$X = x - l / 2 \times \cos(\theta)$$

$$Y = y - l / 2 \times \sin(\theta)$$

$$L = w$$

$$\Theta = \text{mod}(\theta + \pi / 2, \pi)$$

となる。

[0064] そして、状態推定装置 11 は、S 6 で選択された観測モデルを、今回の推定に用いる観測モデルとして決定する（S 7）。

[0065] 次に、状態推定装置 11 は、S 1 で生成したグルーピング点群データと、S 7 で決定した観測モデルとを用いて、カルマンフィルタ更新処理を行う（S 8）。このとき、状態推定装置 11 は、中心位置（x）、中心位置（y）、速さ（v）、向き（ θ ）、タイヤ角（ ξ ）、ホイールベース（b）、長さ（l）、幅（w）の変数を推定するとともに、推定した各変数の分散（以下「推定分散値」という）を算出する。推定分散値は、上述した（9）式で表される分散値 P_k に対応する。そして、状態推定装置 11 は、S 8 のカルマンフィルタ更新処理により算出された変数を、対象車両の状態推定値として出力する（S 9）。

[0066] このように、本実施形態に係る状態推定装置 11 によれば、対象車両との位置関係や対象車両の状態に基づいて状態推定用モデルを変更するため、動的な対象車両の状態をより高精度に推定することができる。

[0067] そして、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向と対象車両の向きとの差分に基づいて観測モデルを変更することで、測定データと観測モデ

ルとを適切に対応付けることができるため、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0068] [第2の実施形態]

次に、第2の実施形態に係る状態推定装置12の推定処理について説明する。第2の実施形態は、第1の実施形態と観測モデルの選択手法が異なるが、基本的に第1の実施形態と同様である。このため、以下では、第1の実施形態と相違する部分のみを説明し、第1の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0069] 図8は、第2の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。図8に示すように、第2の実施形態に係る状態推定装置12は、前回の推定処理で用いた観測モデルに基づいて、今回の推定処理で用いる観測モデルを絞り込むものである。

[0070] 通常、車両の挙動変化は連続的である。このため、時間の経過に伴い、対象車両との位置関係や対象車両の状態が変化して行ったとしても、L I D A R 2から見える車両の面は、後面、左斜後面、左面、左斜前面、前面、右斜前面、右面、右斜後面の順、又は、この逆の順にしか変化しない。

[0071] そこで、状態推定装置12は、今回の推定処理のS6で選択する観測モデルを、前回の推定処理のS7で決定した観測モデルに基づき絞り込む（S11）。

[0072] 詳しく説明すると、状態推定装置12は、まず、前回の推定処理のS7で決定した観測モデルを特定する。更に、状態推定装置12は、上記の順又は逆順においてこの観測モデルと隣接関係にある2つの観測モデルを特定する。そして、状態推定装置12は、今回の推定処理のS6で選択する観測モデルを、この特定した3つの観測モデルに絞り込む。例えば、前回の推定処理のS7で決定した観測モデルが後面観測モデルであった場合は、後面観測モデル、右斜後面モデル及び左斜後面モデルの3つの観測モデルで、今回の推定処理のS6で選択する観測モデルを絞り込む。

[0073] そして、状態推定装置12は、S6において、S3で算出した重心位置の

方位角と S 5 で算出した重心位置の速度向きとの差分から選択する観測モデルが、S 1 1 で絞り込まれた観測モデルである場合は、第 1 の実施形態と同様に処理を続ける。

[0074] 一方、状態推定装置 1 2 は、S 6 において、S 3 で算出した重心位置の方位角と S 5 で算出した重心位置の速度向きとの差分から選択する観測モデルが、S 1 1 で絞り込まれた観測モデルでない場合は、今回の観測モデルの選択に誤りがある可能性が高いと判断する。そして、状態推定装置 1 2 は、S 6 で選択する観測モデルを、前回の推定処理の S 7 で決定した観測モデルに変更し、又は、今回の推定処理により出力された観測対象の状態推定値は信頼性が欠けるものとして取り扱う。

[0075] このように、第 2 の実施形態に係る状態推定装置 1 2 によれば、前回の推定処理で用いた観測モデルに基づいて、今回の推定処理に用いる観測モデルを絞り込むため、誤った観測モデルが選択されるのを低減することができる。

[0076] [第 3 の実施形態]

次に、第 3 の実施形態に係る状態推定装置 1 3 の推定処理について説明する。第 3 の実施形態は、第 1 の実施形態と観測モデルの選択手法が異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0077] 図 9 は、第 3 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きを、S 1 で生成したグルーピング点群データに基づいて求めていた。これに対し、図 9 に示すように、第 3 の実施形態では、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きを、前回の推定処理で出力した対象車両の状態推定値に基づいて求める。

[0078] 詳しく説明すると、状態推定装置 1 3 は、前回の推定処理の S 9 において

出力した対象車両の状態推定値から対象車両の位置（ x ， y ）を抽出し、この抽出した対象車両の位置から、L I D A R 2に対する対象車両の中心位置の方向を算出する（S 1 3）。また、状態推定装置 1 3 は、前回の推定処理の S 9 において出力した対象車両の状態推定値から対象車両の速度向き（ θ ）を抽出する（S 1 4）。

[0079] そして、状態推定装置 1 3 は、S 1 3 で算出した L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向と、S 1 4 で抽出した対象車両の速度向きとの差分から、観測モデルを選択する（S 6）

[0080] このように、第 3 の実施形態に係る状態推定装置 1 3 によれば、前回の推定処理で出力した対象車両の状態推定値を利用することで、推定の連続性が保たれるため、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0081] [第 4 の実施形態]

次に、第 4 の実施形態に係る状態推定装置 1 4 の推定処理について説明する。第 4 の実施形態は、第 1 の実施形態と観測モデルの選択手法が異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0082] 図 1 0 は、第 4 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、対象車両の向きを、S 1 で生成したグルーピング点群データに基づいて求めている。これに対し、図 1 0 に示すように、第 4 の実施形態では、対象車両の向きを、地図情報に基づいて求める。

[0083] 詳しく説明すると、状態推定装置 1 4 は、まず、地図情報を取得する（S 1 6）。この地図情報は、例えば、ナビゲーションシステムなどのように車両に搭載された記憶装置に記憶されているものであってもよく、路車間通信などにより車外から取得するものであってもよい。

[0084] 次に、状態推定装置 1 4 は、S 1 6 で取得した地図情報に S 2 で算出した重心位置を重ね合わせることで、地図情報における対象車両が存在する位置

を特定する。そして、状態推定装置 14 は、この特定した位置の地図上の道路の向きを算出し、この算出した地図上の道路の向きが対象車両の速度向きであると推定する（S 17）。

[0085] なお、第 4 の実施形態では、S 2 において、グルーピング点群データの重心位置を算出するだけでなく、グルーピング点群データから対象車両の位置も推定し、S 17 において、この推定した対象車両の位置に基づいて、地図上における対象車両の存在する位置を特定するものとしてもよい。

[0086] このように、第 4 の実施形態に係る状態推定装置 14 によれば、対象車両が存在する位置に基づいて対象車両の向きを推定するため、例えば、対象車両が静止している場合や対象車両を検出した直後の場合などであっても、対象車両の向きを推定することができる。

[0087] [第 5 の実施形態]

次に、第 5 の実施形態に係る状態推定装置 15 の推定処理について説明する。第 5 の実施形態は、第 1 の実施形態と観測モデルの選択手法が異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0088] 図 11 は、第 5 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図であり、図 12 は、図 11 のモデル選択処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、グルーピング点群データから算出される L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きに基づいて、観測モデルを選択していた。これに対し、図 11 及び図 12 に示すように、第 5 の実施形態では、グルーピング点群データから算出される辺の数に基づいて、観測モデルを選択する。

[0089] 詳しく説明すると、図 10 に示すように、状態推定装置 15 は、S 1 においてグルーピング点群データを生成すると、次に説明するモデル選択処理を行う（S 19）。

[0090] 図 11 を参照して、S 19 のモデル選択処理について詳しく説明する。

- [0091] 状態推定装置 15 は、まず、S 1 で生成したグルーピング点群データの凸包を算出する (S 2 1)。この凸包算出では、まず、グルーピング点群データから、右端の点と左端の点を特定する。そして、右端 (又は左側) の点から、左側 (又は右側) に向けてグルーピング点群データの点を順次連結していき、左端 (又は右側) の点に到達すると、点の連結を終了する。なお、グルーピング点群データは、反射点の点列で構成されるため、凸包算出で連結された線は、対象車両の側面に対応した 1 本又は 2 本の直線となる。
- [0092] 次に、状態推定装置 15 は、S 2 1 で算出した凸包の辺を分割する (S 2 2)。上述したように、グルーピング点群データは、反射点の点列で構成されるため、S 2 1 の凸包算出で連結された線は、対象車両の側面に対応した 1 本又は 2 本の直線となる。このため、S 2 1 で凸包の辺を分割することで、L I D A R 2 から対象車両の面が、何面見えるのかを判断することができる。
- [0093] 次に、状態推定装置 15 は、辺の数が 1 であるか否かを判定する (S 2 3)。そして、状態推定装置 15 は、辺の数が 1 であると判定すると (S 2 3 : Y E S)、辺の長さが所定の閾値よりも短いか否かを判定し (S 2 4)、辺の数が 1 ではないと判定すると (S 2 3 : N O)、右辺よりも左辺の方が長いか否かを判定する (S 3 1)。なお、S 2 4 の閾値は、車両の前面及び後面と左面及び右面とを区別するための値である。このため、S 2 4 の閾値は、一般的な車両の、前面及び後面の幅と左面及び右面の長さとの間の値となる。
- [0094] S 2 4 に進んだ状態推定装置 15 は、辺の長さが所定の閾値よりも短いと判定すると (S 2 4 : Y E S)、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であるか否かを判定し (S 2 5)、辺の長さが所定の閾値よりも短くないと判定すると (S 2 4 : N O)、対象車両の速度向きが自車両から見て右向きであるか否かを判定する (S 2 8)。なお、対象車両の速度向きは、様々な手法により検出することができる。例えば、第 1 の実施形態のように、グルーピング点群データの重心位置をトラッキングすることにより求

めてもよく、また、第3の実施形態のように、前回の推定処理で出力した状態推定値から求めてもよい。

[0095] S 2 5に進んだ状態推定装置 1 5は、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であると判定すると（S 2 5 : Y E S）、後面観測モデルを選択し（S 2 6）、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向ではないと判定すると（S 2 5 : N O）、前面モデルを選択する（S 2 7）。

[0096] S 2 8に進んだ状態推定装置 1 5は、対象車両の速度向きが自車両から見て右向きであると判定すると（S 2 8 : Y E S）、右面観測モデルを選択し（S 2 9）、対象車両の速度向きが自車両から見て右向きではないと判定すると（S 2 8 : N O）、左面観測モデルを選択する。

[0097] S 3 1に進んだ状態推定装置 1 5は、上述したS 3 1の判定において、左辺は右辺よりも長いと判定すると（S 3 1 : Y E S）、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であるか否かを判定し（S 3 2）、左辺は右辺よりも長くないと判定すると（S 3 1 : N O）、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であるか否かを判定する（S 3 5）。

[0098] S 3 2に進んだ状態推定装置 1 5は、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であると判定すると（S 3 2 : Y E S）、左斜後面観測モデルを選択し（S 3 3）、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向ではないと判定すると（S 3 2 : N O）、右斜前面モデルを選択する（S 3 4）。

[0099] S 3 5に進んだ状態推定装置 1 5は、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であると判定すると（S 3 5 : Y E S）、右斜後面観測モデルを選択し（S 3 6）、対象車両の速度向きが自車両に対して離れていく方向であると判定すると（S 3 5 : N O）、左斜後面観測モデルを選択する（S 3 7）。

[0100] なお、S 3 5では、対象車両の速度向きが自車両から見て右向きであるか否かを判定してもよい。この場合、状態推定装置 1 5は、対象車両の速度向

きが自車両から見て右向きであると判定すると、右斜後面観測モデルを選択し（S 3 6）、対象車両の速度向きが自車両から見て右向きでないと判定すると、左斜後面観測モデルを選択する（S 3 7）。

することにしてもよい。

[0101] このようにして観測モデルが選択されると、図 1 0 に示すように、状態推定装置 1 5 は、S 1 9 で選択された観測モデルを、今回の推定に用いる観測モデルとして決定する（S 7）。

[0102] このように、第 5 の実施形態に係る状態推定装置 1 5 によれば、グルーピング点群データから求められる辺の数に基づいて観測モデルを変更することで、観測モデルの選択基準が明確化されるため、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0103] [第 6 の実施形態]

次に、第 6 の実施形態に係る状態推定装置 1 6 の推定処理について説明する。第 6 の実施形態は、観測モデルの観測ノイズモデルのみを変更する点で第 1 の実施形態と異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0104] 図 1 3 は、第 6 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、グルーピング点群データから算出される L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きに基づいて、観測モデルを選択していた。これに対し、図 1 3 に示すように、第 6 の実施形態では、グルーピング点群データから算出される辺の方位角に基づいて、観測ノイズモデルを変更する。

[0105] ここで、対象車両の面に対する向きと、観測誤差との関係について説明する。

[0106] 一般的に、L I D A R 2 は、1 0 c m 程度の分解能を有するため、点列 p 自体の測定誤差は小さい。一方、L I D A R 2 は、端部からは点列を検出しにくいという特性を有するため、L I D A R 2 で検出された点列の中心は、

対象車両の面の中心からずれた位置となる。このため、対象車両 3 の面に対して垂直な方向の観測ノイズは小さいが、対象車両 3 の面に対して水平な方向の観測ノイズは、対象車両 3 の面に対して垂直な方向の観測ノイズよりも大きくなる。

[0107] 図 1 4 は、対象車両とグルーピング点群データとの関係を示した図であり、図 1 5 は、観測ノイズモデルの概念を示した図である。なお、図 1 4 の矢印は、対象車両の進行方向を示している。

[0108] 図 1 4 に示すように、L I D A R 2 から対象車両 3 の前面 3_A 及び左面 3_B が見えており、対象車両 3 の前面 3_A 及び左面 3_B に、L I D A R 2 から出射したレーザ光の反射点の点列 p が検出された場合を考える。

[0109] この場合、前面 3_A の右部（図 1 4 において左上の部分）と左面 3_B の後部（図 1 4 において右上の部分）からは点列 p が検出されない。このため、前面 3_A における点列 p の中心 P_A' は、前面 3_A の中心 P_A よりも前面 3_A の左側（図 1 4 において右下側）にずれてしまう。また、左面 3_B における点列 p の中心 P_B' は、左面 3_B の中心 P_B よりも左面 3_B の前側（図 1 4 において左下側）にずれてしまう。

[0110] 上述したように、中心位置（ x 、 y ）は観測モデルの変数である。このため、L I D A R 2 で検出された点列 p に基づいて前面 3_A の中心位置を算出すると、対象車両 3 の前面 3_A に対して水平な方向の観測ノイズが、前面 3_A に対して垂直な方向の観測ノイズよりも大きくなる。また、L I D A R 2 で検出された点列 p に基づいて左面 3_B の中心位置を算出すると、対象車両 3 の左面 3_B に対して水平な方向の観測ノイズが、左面 3_B に対して垂直な方向の観測ノイズよりも大きくなる。

[0111] そこで、図 1 5 に示すように、通常は、観測ノイズモデルにおける中心位置の分散値 R' は真円で表されるが、第 6 の実施形態では、対象車両の面に対して垂直な方向の観測ノイズよりも、対象車両の面に対して水平な方向の観測ノイズが大きくなるように、観測ノイズモデルにおける中心位置の分散値 R を変更する。

[0112] 具体的に説明すると、対象車両の面に対して垂直な方向の誤差を σ_y 、対象車両の面に対して水平な方向の誤差を σ_x 、回転行列を R_θ とすると、観測ノイズモデルにおける中心位置の分散値 R は、次の(11)式で表される。なお、(11)式の算出方法を(12)式に記載した。

[数7]

$$R = R_\theta \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} R_\theta^T \quad \dots(11)$$

[数8]

$$R = E \left[\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} \right]$$

ここで、 $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = R_\theta \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$ とおくと、

$$\begin{aligned} R &= E \left[R_\theta \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X & Y \end{pmatrix} R_\theta^T \right] \\ &= R_\theta E \left[\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X & Y \end{pmatrix} \right] R_\theta^T \\ &= R_\theta R_0 R_\theta^T \end{aligned}$$

$$\text{なお、} \quad R_0 = E \left[\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X & Y \end{pmatrix} \right] = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad \dots(12)$$

[0113] 次に、図13を参照して、状態推定装置16の処理について説明する。

[0114] 状態推定装置16は、まず、S1で生成したグルーピング点群データの凸包を算出し(S41)、この算出した凸包の辺を分割する(S42)。なお、S41の凸包算出は、第5の実施形態に係る状態推定装置16が行うS21の凸包算出(図12参照)と同様である。

[0115] 次に、状態推定装置16は、S42で分割した辺を、1本又は2本の直線に当てはめ(S43)、この当てはめた直線の方位角を算出する(S44)。

[0116] そして、状態推定装置16は、上述した(11)式で表されるように、S44で算出した直線の方位角に基づいて、観測ノイズモデルにおける中心位

置の分散値Rを変更する（S 4 5）。

[0117] そして、状態推定装置 1 6 は、S 4 5 で分散値が変更された観測ノイズモデルを組み込んだ観測モデルを、今回の推定に用いる観測モデルとして決定する（S 4 6）。

[0118] このように、第 6 の実施形態に係る状態推定装置 1 6 によれば、対象車両の面に対する向きに基づいて観測ノイズモデルの分散値を変更するため、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0119] [第 7 の実施形態]

次に、第 7 の実施形態に係る状態推定装置 1 7 の推定処理について説明する。第 7 の実施形態は、観測モデルの観測ノイズモデルのみを変更する点で第 1 の実施形態と異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0120] 図 1 6 は、第 7 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、グルーピング点群データから算出される L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きに基づいて、観測モデルを選択していた。これに対し、図 1 6 に示すように、第 7 の実施形態では、対象車両との距離に基づいて、観測ノイズモデルを変更する。

[0121] 状態推定装置 1 7 は、まず、前回の推定処理の S 9 で出力した対象車両の状態推定値から、対象車両の位置を抽出する。このとき、状態推定装置 1 7 は、前回の推定処理の S 9 で出力した状態推定値の代わりに、第 1 の実施形態のように、今回の推定処理の S 1 で生成したグルーピング点群データから算出される重心位置を用いてもよい。次に、状態推定装置 1 7 は、この抽出した対象車両の位置から、自車両から対象車両までの距離を算出する。そして、状態推定装置 1 7 は、この算出した自車両から対象車両までの距離に基づいて、観測ノイズモデルにおける観測ノイズを変更する（S 4 8）。

[0122] 詳しく説明すると、自車両から対象車両までの距離が近いと、L I D A R

2による対象車両の測定対象領域が大きくなるため、観測ノイズが小さくなる。一方、自車両から対象車両までの距離が遠いと、L I D A R 2による対象車両の測定対象領域が小さくなるため、観測ノイズが大きくなる。そこで、状態推定装置 17 は、自車両から対象車両までの距離が長くなるほど、観測ノイズモデルにおける観測ノイズを大きくする。なお、観測ノイズモデルにおける観測ノイズは、例えば、自車両から対象車両までの距離に応じて連続的に変化させてもよく、自車両から対象車両までの距離に応じて 1 又は複数の段階に分けて変化させてもよい。後者の場合、例えば、1 又は複数の距離を設定しておき、自車両から対象車両までの距離がこの設定した距離を超える度に、観測ノイズモデルにおける観測ノイズを大きくすることができる。また、変更する観測ノイズは、対象車両の面の中心位置、対象車両の速さ、対象車両の向きなど、様々なノイズを用いることができる。

[0123] そして、状態推定装置 17 は、S 48 で変更された観測ノイズモデルを組み込んだ観測モデルを、今回の推定に用いる観測モデルとして決定する（S 49）。

[0124] このように、第 7 の実施形態に係る状態推定装置 17 によれば、対象車両までの距離に基づいて観測ノイズモデルにおける観測ノイズを変更することで、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0125] [第 8 の実施形態]

次に、第 8 の実施形態に係る状態推定装置 18 の推定処理について説明する。第 8 の実施形態は、運動ノイズモデルのみを変更する点で第 1 の実施形態と異なるが、基本的に第 1 の実施形態と同様である。このため、以下では、第 1 の実施形態と相違する部分のみを説明し、第 1 の実施形態と同様の部分の説明を省略する。

[0126] 図 17 は、第 8 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。上述したように、第 1 の実施形態では、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、及び、対象車両の向きに基づいて、観測モデルを変更していた。これに対し、図 17 に示すように、第 8 の実施形態では、対象車両

の速度に基づいて、運動モデルの運動ノイズモデルを変更する。

[0127] ここで、運動ノイズモデルについて詳しく説明する。上述したように、推定したい変数は、中心位置（ x ）、中心位置（ y ）、速さ（ v ）、向き（ θ ）、タイヤ角（ ξ ）、ホイールベース（ b ）、長さ（ l ）、幅（ w ）である（図2参照）。このため、運動モデルは、

$$x := x + v \times \cos(\theta)$$

$$y := y + v \times \sin(\theta)$$

$$v := v$$

$$\theta := \theta + v / b \times \tan(\xi)$$

$$\xi := \xi$$

$$b := b$$

$$l := l$$

$$w := w$$

で表される。

[0128] そして、運動モデルが等速直線運動である場合に、これら運動モデルに入り込む運動ノイズモデルは、例えば、

$$\sigma(x) = 0$$

$$\sigma(y) = 0$$

$$\sigma(v) = \text{加減速度}$$

$$\sigma(\theta) = 0$$

$$\sigma(\xi) = \text{ステアリング変化量 (ステアリング角度の変化量)}$$

$$\sigma(b) = 0$$

$$\sigma(l) = 0$$

$$\sigma(w) = 0$$

となる。

[0129] このように、運動モデルに入り込む運動ノイズモデルには、ステアリング変化量と加減速度が設定されるが、従来は、何れも固定的な値を運動ノイズモデルに設定していた。しかしながら、車両の速度が高くなるに従い、ステ

アリングを大きく切る可能性が低くなる傾向にある。

[0130] そこで、状態推定装置 18 は、まず、前回の推定処理の S 9 で出力した対象車両の状態推定値から、対象車両の速度を抽出する。そして、状態推定装置 18 は、この抽出した対象車両の速度に基づいて、運動ノイズモデルにおけるステアリング変化量 $\sigma(\xi)$ を変更する (S 51)。具体的に説明すると、状態推定装置 18 は、対象車両の速度が高いほど、運動ノイズモデルにおけるステアリング変化量 $\sigma(\xi)$ を小さくする。なお、ステアリング変化量 $\sigma(\xi)$ は、例えば、対象車両の速度に応じて連続的に変化させてもよく、対象車両の速度に応じて 1 又は複数の段階に分けて変化させてもよい。後者の場合、例えば、1 又は複数の速度を設定しておき、対象車両の速度が設定した速度を超える度に、ステアリング変化量 $\sigma(\xi)$ を小さくすることができる。

[0131] そして、状態推定装置 18 は、S 51 で変更された運動ノイズモデルを組み込んだ運動モデルを、今回の推定に用いる運動モデルとして決定する (S 52)。

[0132] このように、第 8 の実施形態に係る状態推定装置 18 によれば、対象車両の速度が高いと運動ノイズモデルにおけるステアリング変化量 $\sigma(\xi)$ を小さくすることで、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0133] [第 9 の実施形態]

次に、第 9 の実施形態に係る状態推定装置 19 の推定処理について説明する。第 1 の実施形態では、推定処理に用いる観測ノイズモデルを変更して、対象車両の状態を推定した。これに対し、第 9 の実施形態では、複数の異なる観測モデルで対象車両の状態を推定し、推定分散値が最も小さくなる観測モデルを用いて推定した観測対象の状態を出力する。

[0134] 図 18 は、第 9 の実施形態に係る状態推定装置の推定処理を示した図である。図 18 に示すように、状態推定装置 19 は、複数の異なる観測モデルを用意する (S 54)。S 54 で用意する観測モデルは、後面観測モデル、左

斜後面観測モデル、左面観測モデル、左斜前面観測モデル、前面観測モデル、右斜前面観測モデル、右面観測モデル及び右斜後面観測モデルの8の観測モデルである。なお、以下の説明では、S54で用意する観測モデルは上述した8つであるものとして説明するが、少なくとも2以上の観測モデルを用意すれば、特に用意する観測モデルの数は制限されない。

[0135] 次に、状態推定装置19は、S54で用意した8つの観測モデルに、それぞれS1で生成したグルーピング点群データを当てはめて、並列的にカルマンフィルタ更新処理を行う（S55）。S55のカルマンフィルタ更新処理は、第1の実施形態におけるS8のカルマンフィルタ更新処理と同様である。

[0136] そして、状態推定装置19は、S55の各カルマンフィルタ更新処理において推定された中心位置（ x ）、中心位置（ y ）、速さ（ v ）、向き（ θ ）、タイヤ角（ ξ ）、ホイールベース（ b ）、長さ（ l ）、幅（ w ）の各変数を入力する（S56）。

[0137] また、状態推定装置19は、S55の各カルマンフィルタ更新処理において算出した各変数の推定分散値を算出する（S57）。

[0138] そして、状態推定装置19は、S56で出力された8つのカルマンフィルタ出力の内、推定分散値の最も小さいカルマンフィルタ出力を最終出力とする（S59）。

[0139] このように、第9の実施形態に係る状態推定装置19によれば、対象車両との位置関係や対象車両の状態が不明な場合であっても、適切な観測モデルを用いて推定した対象車両の状態推定値を出力することができる。

[0140] 以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。

[0141] 例えば、上記実施形態では、対象車両の状態の推定手段として、カルマンフィルタを採用するものとして説明した。しかしながら、測定データをモデルに当てはめて対象車両の状態を推定するものであれば、如何なる手段、如何なるフィルタを採用してもよい。例えば、パーティクルフィルタ（Particl

e Filter) を採用してもよい。

[0142] また、上記実施形態では、観測対象として、自車両の周辺に存在する周辺車両を採用したが、バイクや自転車など、あらゆるものを観測対象としてもよい。

[0143] また、第 1 の実施形態では、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向と対象車両の向きとの差分に基づいて観測モデルを変更するものとして説明したが、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向のみに基づいて観測モデルを変更してもよく、又は、対象車両の向きのみに基づいて観測モデルを変更してもよい。

[0144] L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向が異なっても、対象車両の測定可能面が異なり、また、対象車両の向きが異なっても、対象車両の測定可能面が異なる。このため、L I D A R 2 に対する対象車両の中心位置の方向、又は、対象車両の向きの何れか一方にのみ基づいて観測モデルを変更することでも、測定データと観測モデルとを適切に対応付けることができる。これにより、対象車両の状態の推定精度を更に向上させることができる。

[0145] なお、上記の各実施形態は、適宜組み合わせることが可能である。例えば、第 1 の実施形態と第 6 の実施形態とを組み合わせ、観測モデルと観測ノイズモデルとを変更してもよく、第 1 の実施形態と第 8 の実施形態とを組み合わせ、観測モデルと運動モデルとを変更してもよい。

産業上の利用可能性

[0146] 本発明は、周辺車両の状態を推定する状態推定装置として利用可能である。

符号の説明

[0147] 1 (1 1 ~ 1 9) …状態推定装置、2…L I D A R (測定装置)、3…対象車両。

請求の範囲

- [請求項1] 観測対象を測定する測定装置により測定した測定データを状態推定用モデルに当てはめて前記観測対象の状態を推定する状態推定装置であって、
- 前記観測対象との位置関係又は前記観測対象の状態に基づいて、前記状態推定用モデルを変更する変更手段を有する、状態推定装置。
- [請求項2] 前記観測対象は、前記測定装置の周辺に存在する車両であり、
- 前記変更手段は、前記測定装置に対する前記観測対象の中心位置の方向に基づいて、前記状態推定用モデルを変更する、請求項1に記載の状態推定装置。
- [請求項3] 前記観測対象は、前記測定装置の周辺に存在する車両であり、
- 前記変更手段は、前記観測対象の向きに基づいて、前記状態推定用モデルを変更する、請求項1に記載の状態推定装置。
- [請求項4] 前記観測対象は、前記測定装置の周辺に存在する車両であり、
- 前記変更手段は、前記測定装置に対する前記観測対象の中心位置の方向、及び、前記観測対象の向き、の双方に基づいて、前記状態推定用モデルを変更する、請求項1に記載の状態推定装置。
- [請求項5] 前記変更手段は、前回の推定で用いた状態推定用モデルに基づいて、前記測定データを当てはめる状態推定用モデルを絞り込む、請求項1～4の何れか一項に記載の状態推定装置。
- [請求項6] 前記変更手段は、前回推定した前記観測対象の状態に基づいて、前記測定装置に対する前記観測対象の中心位置の方向、又は、前記観測対象の向きを推定する、請求項2～5の何れか一項に記載の状態推定装置。
- [請求項7] 前記変更手段は、前記観測対象が存在する位置の地図情報に基づいて、前記観測対象の向きを推定する、請求項3又は4に記載の状態推定装置。
- [請求項8] 前記変更手段は、測定データから前記観測対象のモデルを生成し、

前記モデルを構成する辺の数に基づいて、前記状態推定用モデルを変更する、請求項 1 ～ 7 の何れか一項に記載の状態推定装置。

[請求項9] 前記状態推定用モデルは、前記測定装置の測定により生じる観測ノイズを分散値で表す観測ノイズモデルを含み、

前記変更手段は、前記観測対象の面に対する向きに基づいて、前記観測ノイズモデルの分散値を変更する、請求項 1 ～ 8 の何れか一項に記載の状態推定装置。

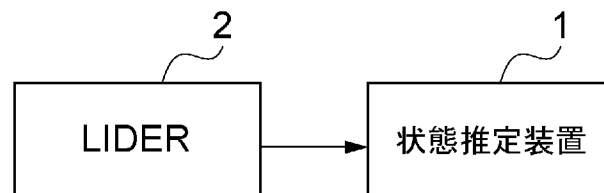
[請求項10] 前記変更手段は、前記観測対象までの距離に基づいて、前記観測ノイズモデルを変更する、請求項 9 に記載の状態推定装置。

[請求項11] 前記観測対象は、前記測定装置の周辺に存在する車両であり、
前記状態推定用モデルは、前記周辺車両の運動状態を表す運動モデルと、前記運動モデルにおけるステアリング角度の変化量を示す運動ノイズモデルと、を含み、

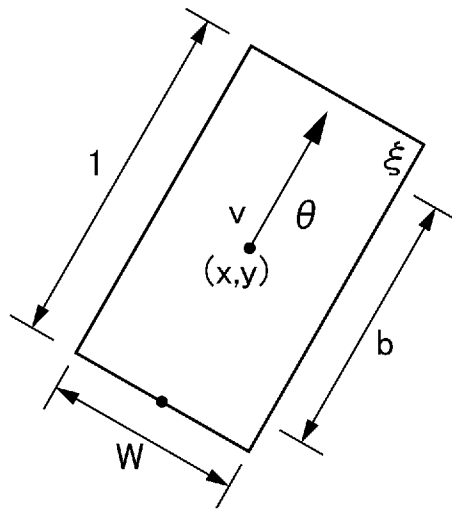
前記変更手段は、前記観測対象の速度が高いと、前記観測対象の速度が低いときに比べて、前記運動ノイズモデルにおけるステアリング角度の変化量を小さくする、請求項 1 ～ 10 の何れか一項に記載の状態推定装置。

[請求項12] 複数の異なる前記状態推定用モデルを用いて、前記観測対象の状態を推定するとともに、前記観測対象の状態の推定分散値を算出し、前記推定分散値が最も小さい前記観測対象の状態を出力する、請求項 1 ～ 11 の何れか一項に記載の状態推定装置。

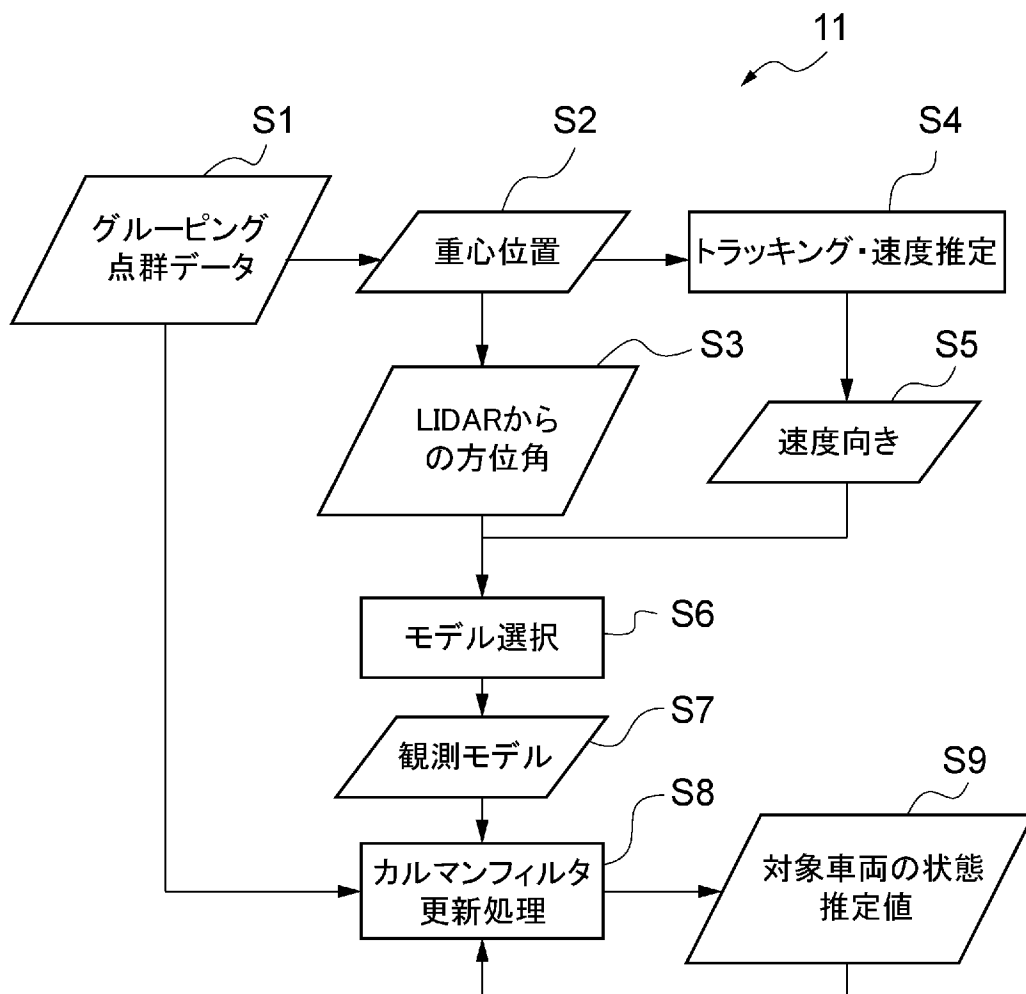
[図1]



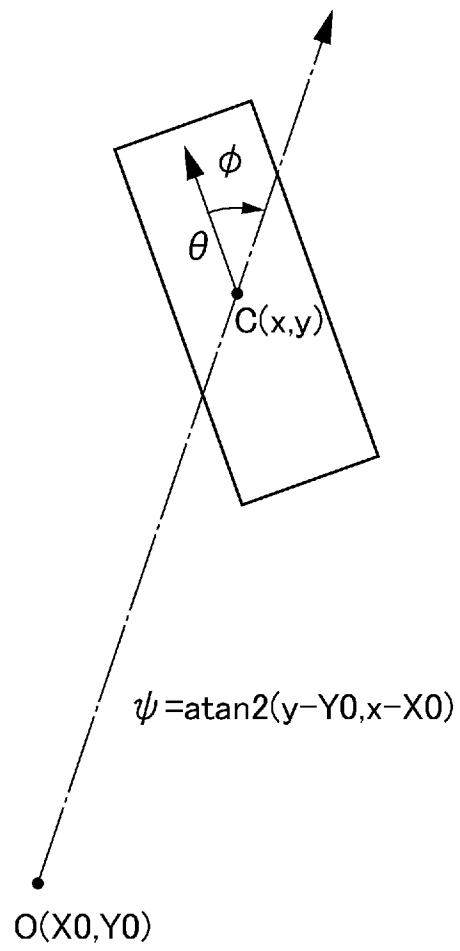
[図2]



[図3]



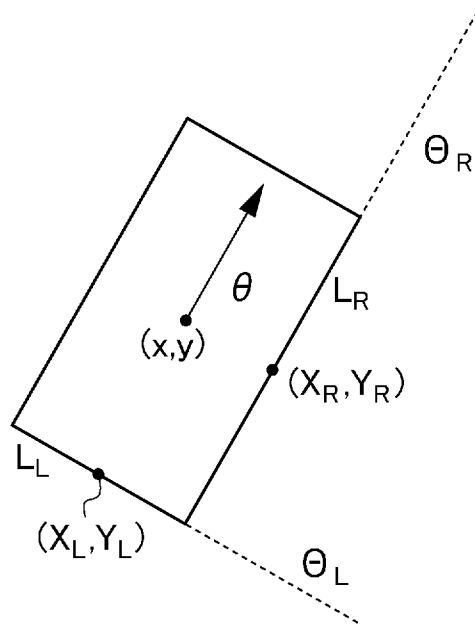
[図4]



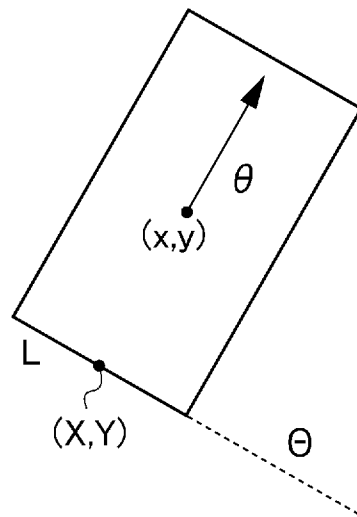
[図5]

角度 ϕ の範囲	LIDARから見える面	選択する観測モデル
$\phi \leq 20^\circ$	後面	後面観測モデル
$20^\circ < \phi \leq 70^\circ$	後面＋左面	左斜後面観測モデル
$70^\circ < \phi \leq 110^\circ$	左面	左面観測モデル
$110^\circ < \phi \leq 160^\circ$	前面＋左面	左斜前面観測モデル
$160^\circ < \phi \leq 200^\circ$	前面	前面観測モデル
$200^\circ < \phi \leq 250^\circ$	前面＋右面	右斜前面観測モデル
$250^\circ < \phi \leq 290^\circ$	右面	右面観測モデル
$290^\circ < \phi \leq 340^\circ$	後面＋右面	右斜後面観測モデル
$340^\circ < \phi$	後面	後面観測モデル

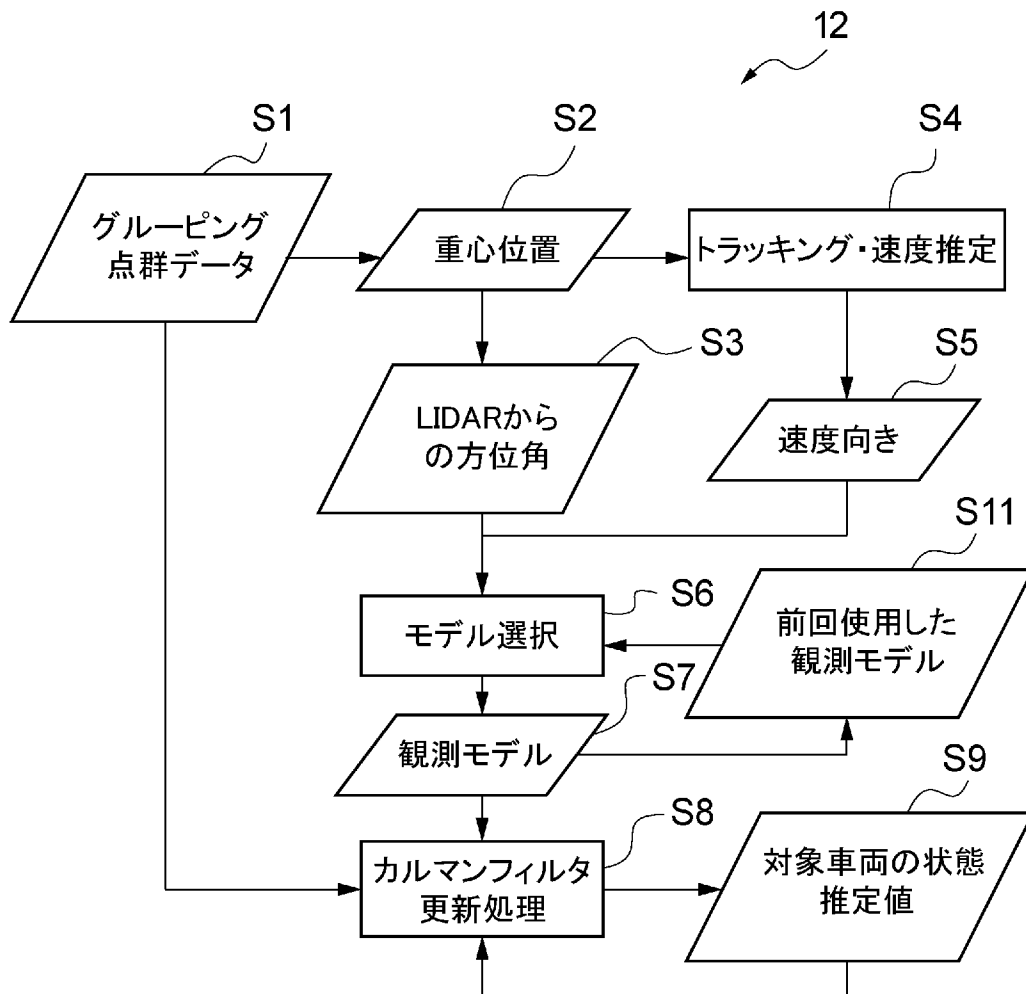
[図6]



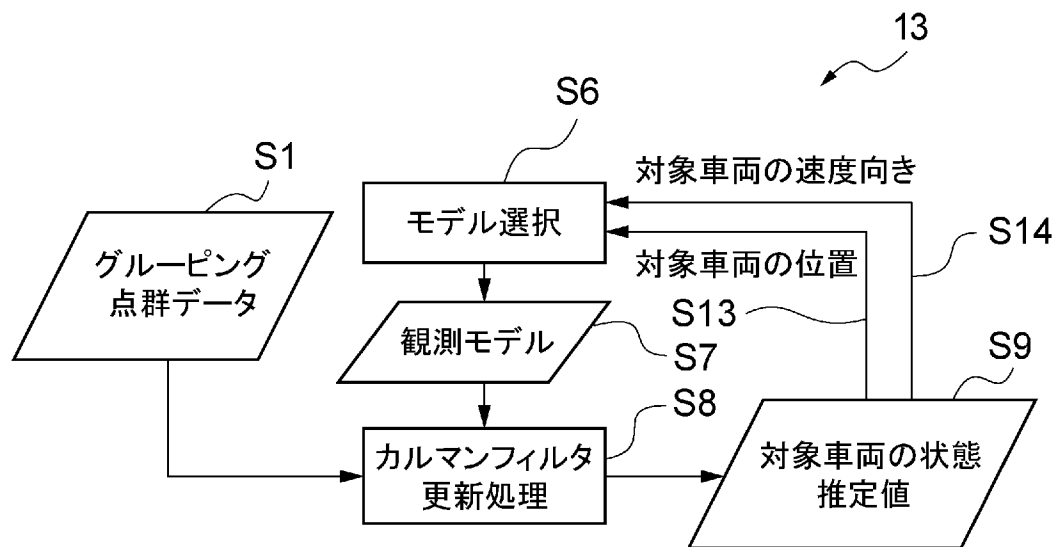
[図7]



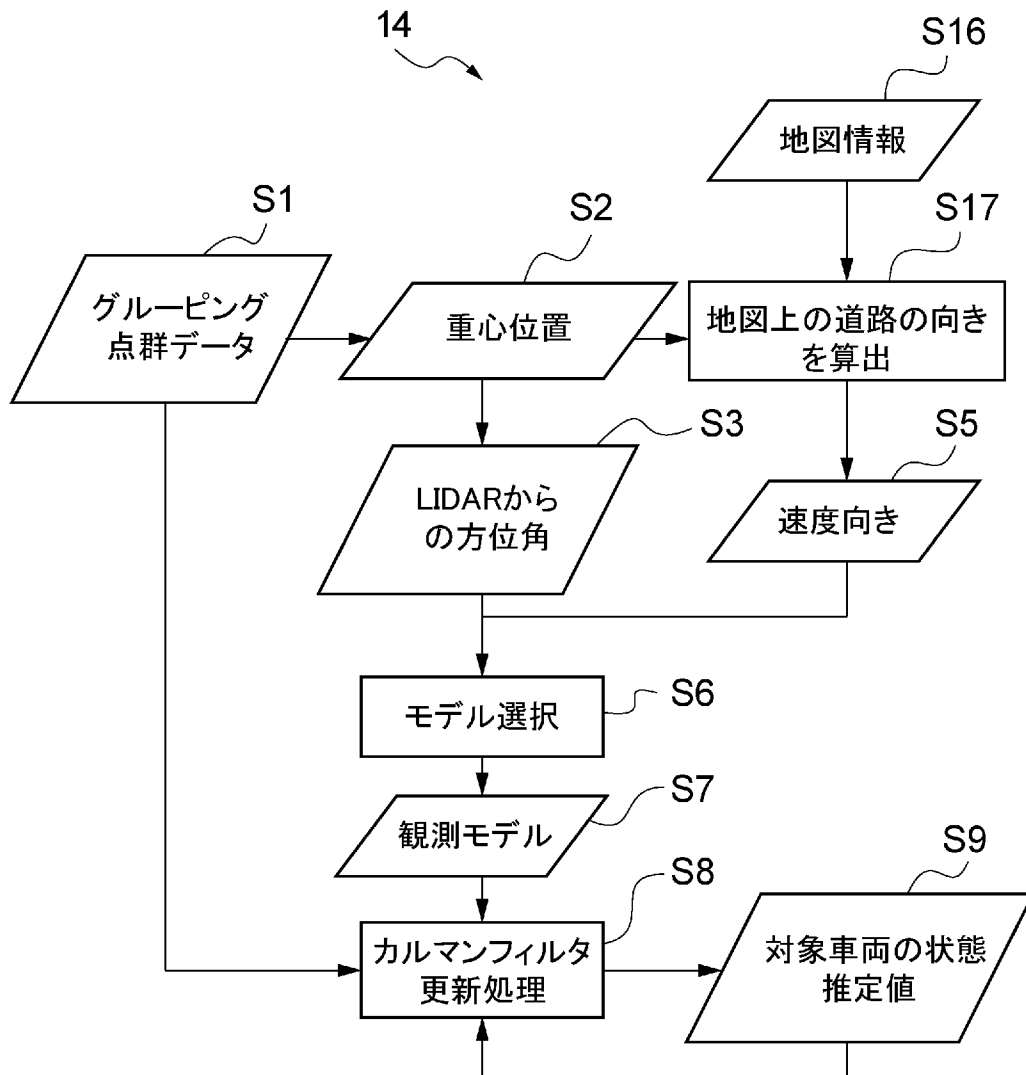
[図8]



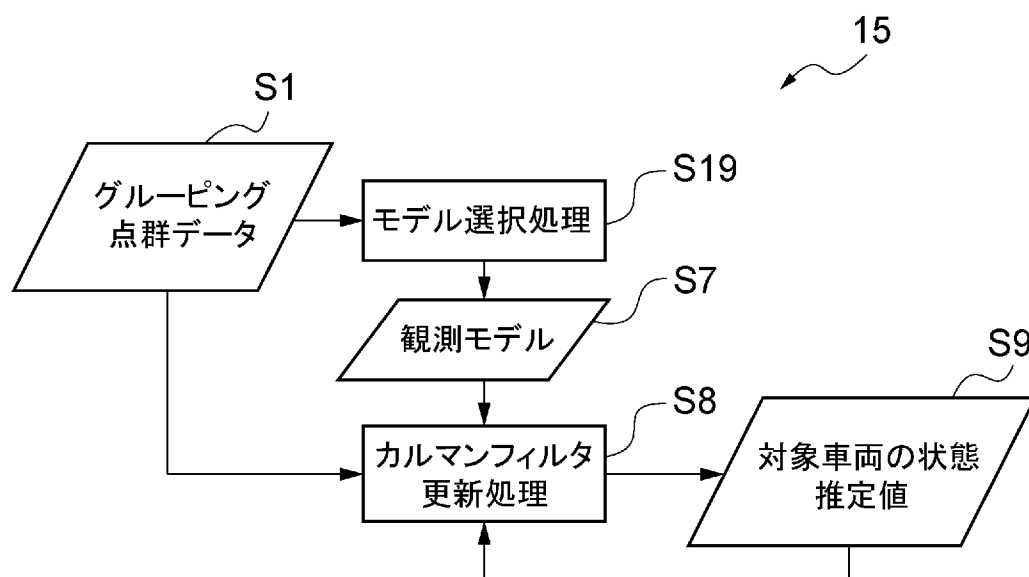
[図9]



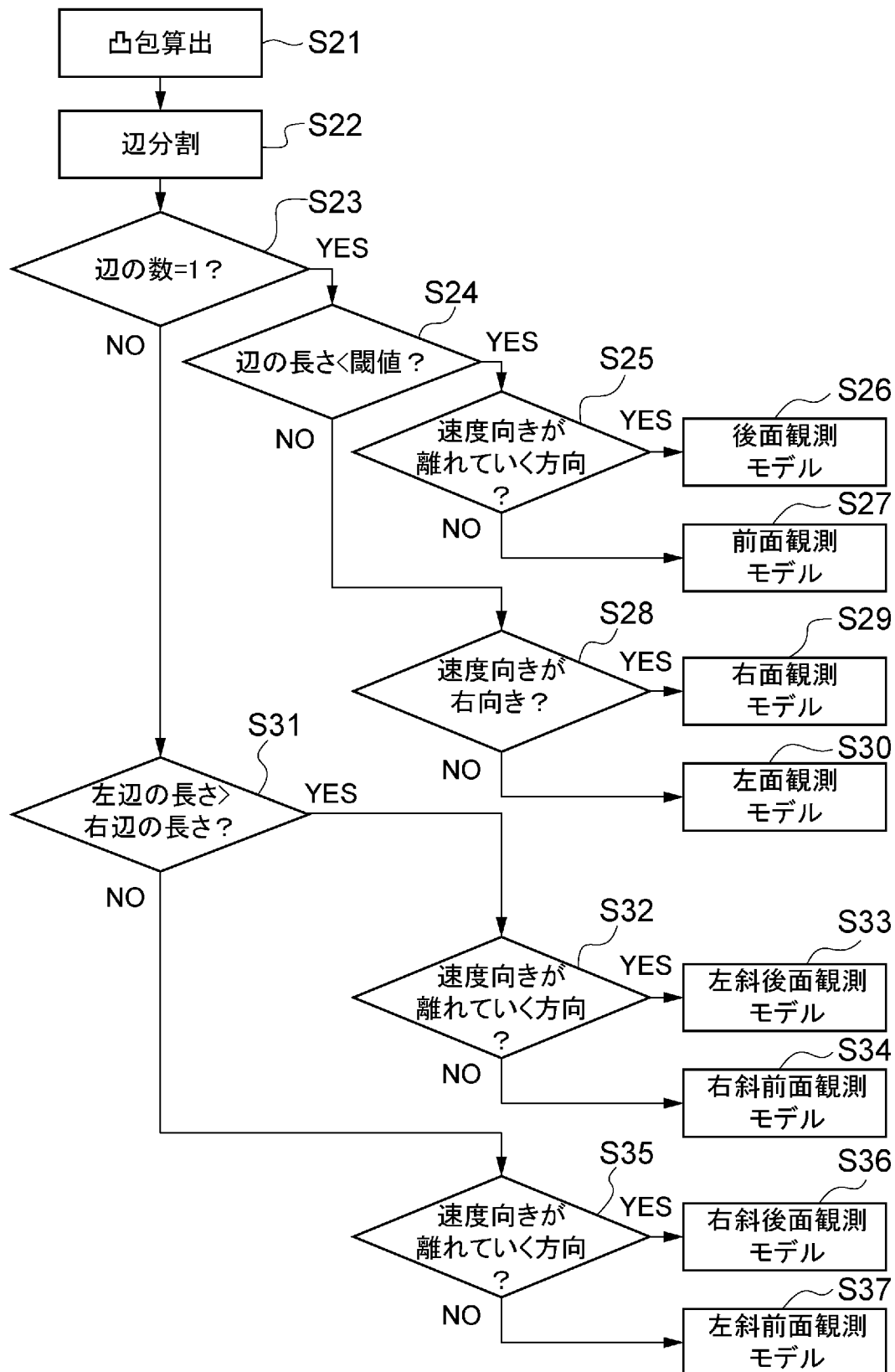
[図10]



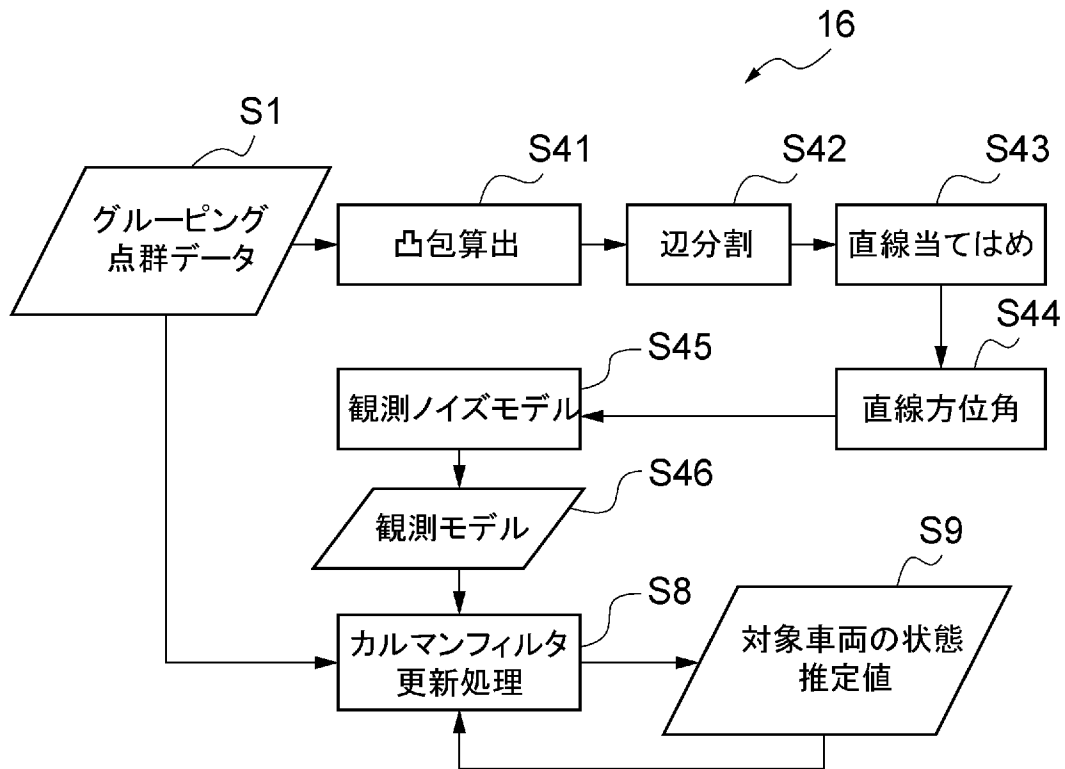
[図11]



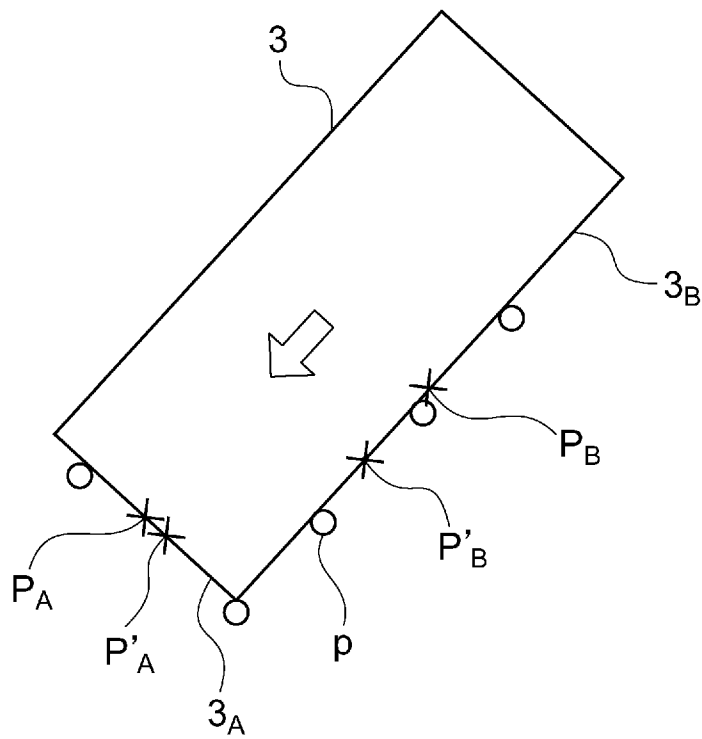
[図12]



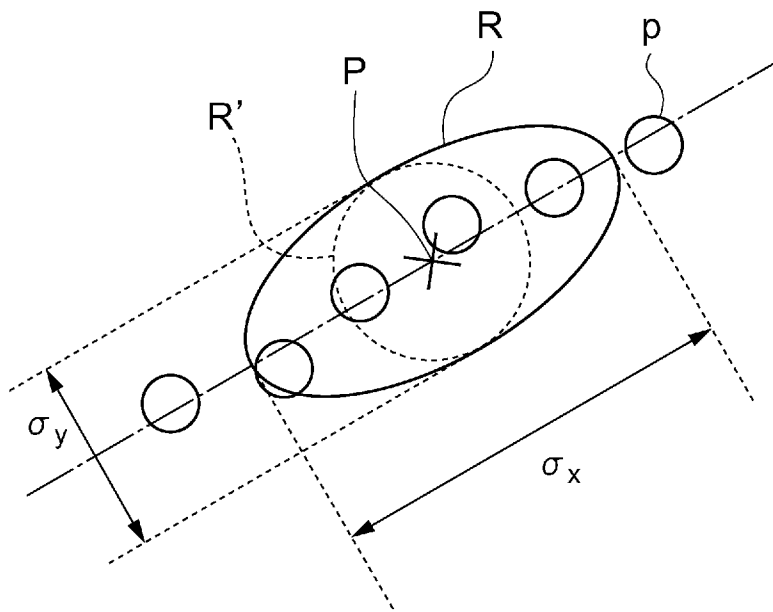
[図13]



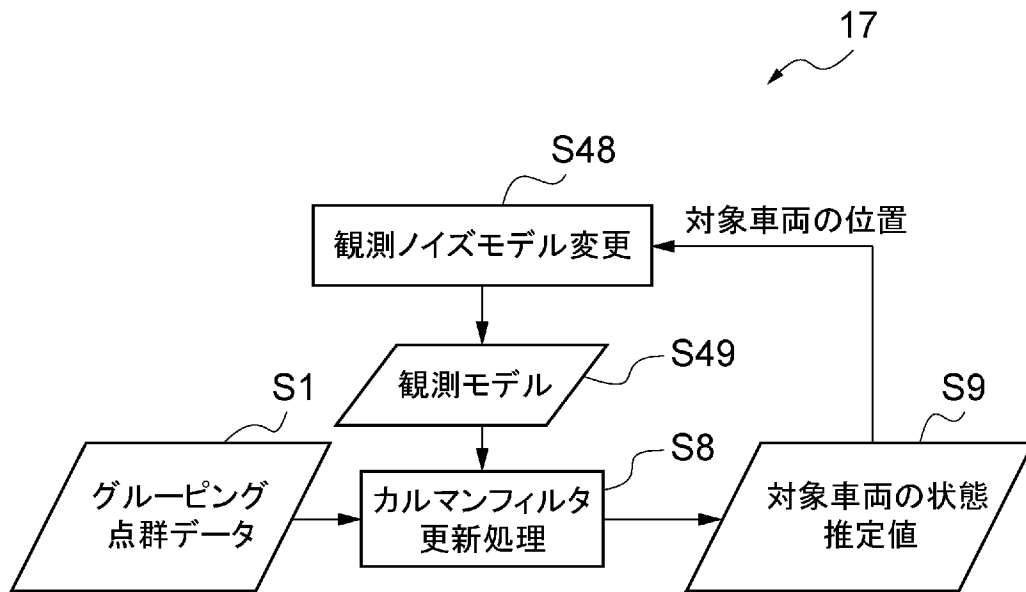
[図14]



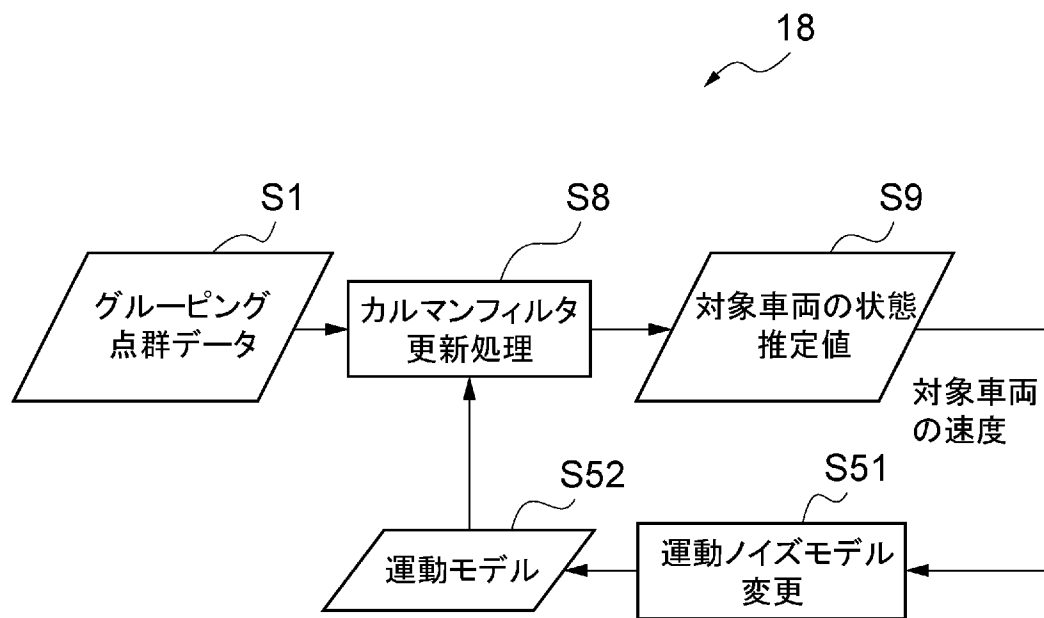
[図15]

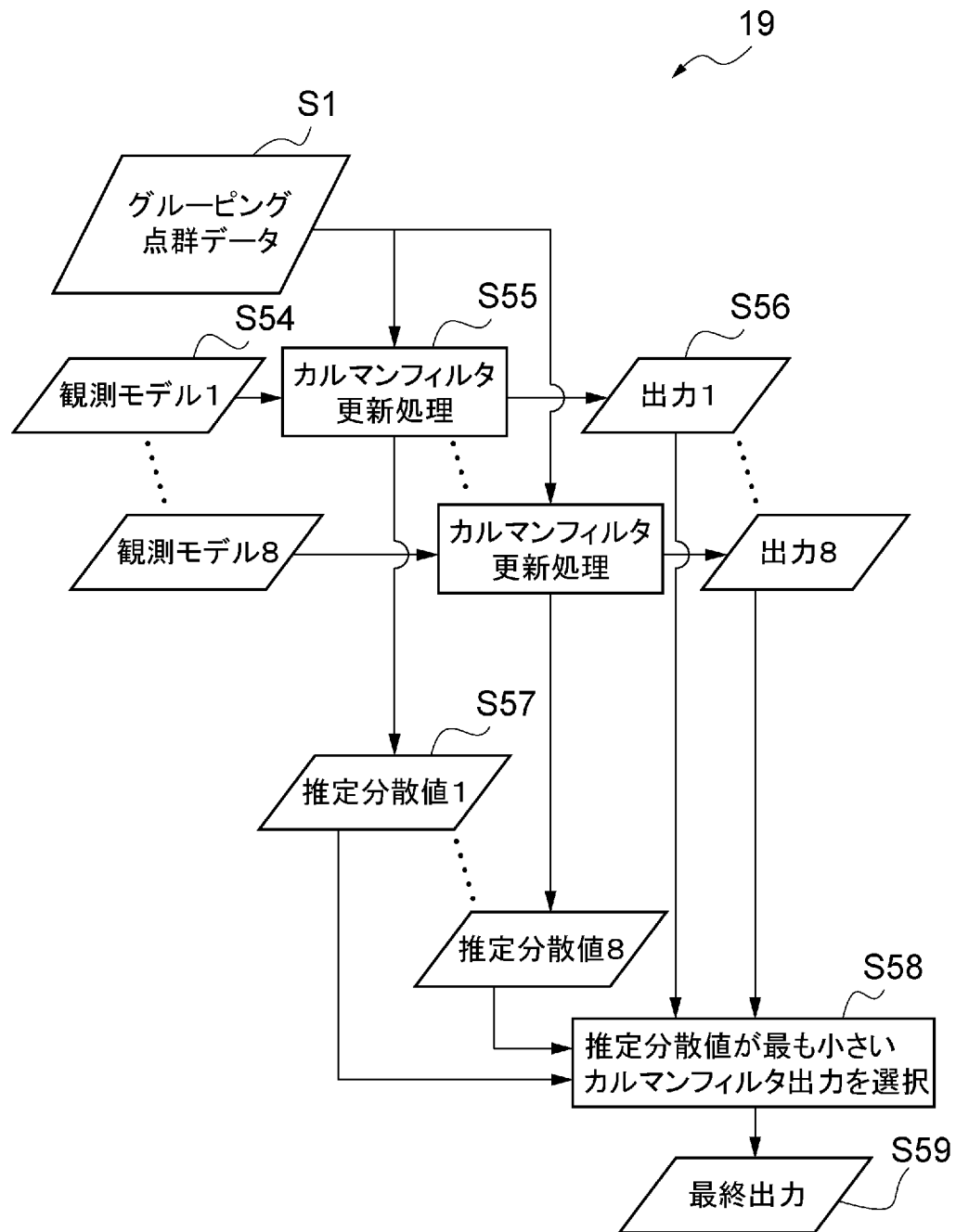


[図16]



[図17]





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054651

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S17/66(2006.01)i, G01S17/93(2006.01)i, G08G1/16(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)

G01S17/66, G01S17/93, G08G1/16

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
X Y	JP 2009-128298 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0002] to [0019], [0025] to [0040]; fig. 1 to 2, 14 to 16 (Family: none)	1-7 8-12
Y	JP 2009-42181 A (Denso Corp.), 26 February 2009 (26.02.2009), paragraphs [0008] to [0183]; fig. 1 to 17 & US 2009/0040095 A1 & DE 102008037014 A1	8-12
Y	JP 2005-274300 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 October 2005 (06.10.2005), paragraphs [0005] to [0007]; fig. 1 (Family: none)	12

☐ 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

“T” 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
29 March, 2011 (29.03.11)

Date of mailing of the international search report
12 April, 2011 (12.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01S17/66(2006.01)i, G01S17/93(2006.01)i, G08G1/16(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（I P C））

Int.Cl. G01S17/66, G01S17/93, G08G1/16

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
X Y	JP 2009-128298 A（三菱電機株式会社）2009.06.11, 段落 0002-0019, 0025-0040, 図 1-2, 14-16（ファミリーなし）	1 - 7 8 - 1 2
Y	JP 2009-42181 A（株式会社デンソー）2009.02.26, 段落 0008-0183, 図 1-17 & US 2009/0040095 A1 & DE 102008037014 A1	8 - 1 2
Y	JP 2005-274300 A（三菱電機株式会社）2005.10.06, 段落 0005-0007, 図 1（ファミリーなし）	1 2

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

2 9 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

中村 説志

2 S

3 2 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8