

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2007年9月13日 (13.09.2007)

PCT

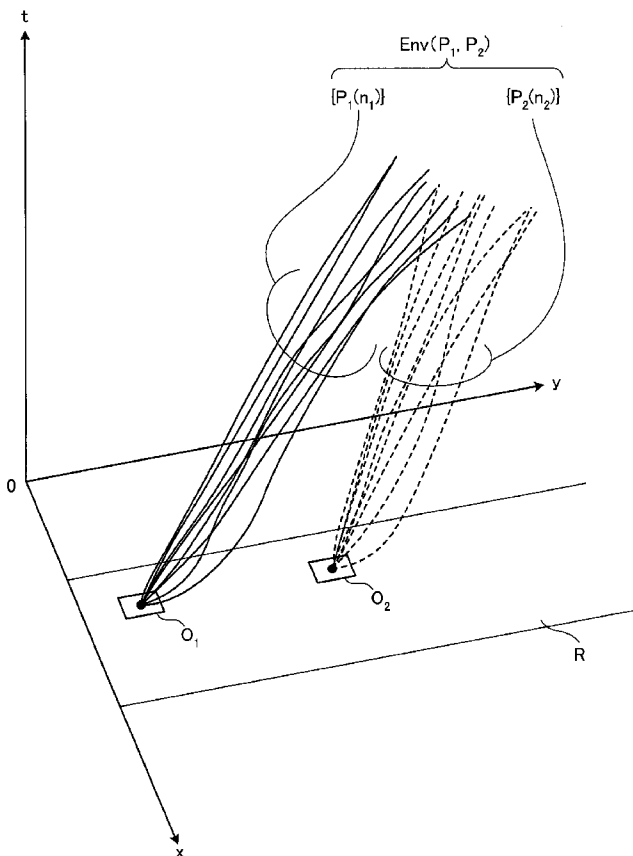
(10) 国際公開番号
WO 2007/102367 A1

- (51) 国際特許分類:
G08G 1/16 (2006.01) G08G 1/09 (2006.01)
B60W 30/08 (2006.01) B60R 21/00 (2006.01)
B60W 40/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/053760
- (22) 国際出願日: 2007年2月28日 (28.02.2007)
- (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2006-053878 2006年2月28日 (28.02.2006) JP
特願2006-053879 2006年2月28日 (28.02.2006) JP
特願2006-056874 2006年3月2日 (02.03.2006) JP
- (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): 麻生 和昭 (ASO, Kazuaki) [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). 金道 敏樹 (KINDO, Toshiki) [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: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006019 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: OBJECT COURSE PREDICTION METHOD, DEVICE, PROGRAM, AND AUTOMATIC DRIVING SYSTEM

(54) 発明の名称: 物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システム



(57) Abstract: An object course prediction method capable of ensuring safety under circumstances that may occur as reality, a device, a program, and an automatic driving system. For this purpose, a computer that is provided a storing means for storing the position of an object and internal states including the object's speed reads the position of the object and internal states from the storing means, creates, as a track in a time/space constituted of time and space, changes in position that the object can assume with elapse of time based on the read position of the object and internal states, and stochastically predicts the course of the object by using this created track.

(57) 要約: 現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることができる物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システムを提供する。この目的のため、物体の位置および当該物体の速度を含む内部状態を記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行う。

WO 2007/102367 A1



(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, 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 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:
— 国際調査報告書

明 細 書

物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システム

技術分野

[0001] 本発明は、物体の位置および内部状態に基づいてその物体の進路を予測する物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システムに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、四輪自動車等の移動体の自動運転を実現するために、さまざまな試みがなされてきている。移動体の自動運転を実現するためには、周囲に存在する車両、歩行者、または障害物などの物体の正確な検知と、この検知結果に基づいた走行中の危険の回避とが重要である。このうち、周囲の物体を精度よく検知するための技術として、各種センサや各種レーダを用いた物体検知技術が知られている。

[0003] 移動体の自動運転技術は、目的地を入力すれば自動的に出発地から目的地へと移動体を動かす技術である。この技術は、移動範囲が狭い場合には、移動範囲の地図を事前に作成し、動的な障害物の影響を事前予測することによって経路探索技術に帰着させることができる。しかしながら、移動体が自動車である場合のように、移動体の移動範囲が広範囲である場合には、自動運転技術を経路探索技術に帰着させることはできない。ここでいう広範囲とは、動的障害物を回避する上で必要な時間 t と全工程を走行するために必要な時間 τ とが著しく異なるような範囲のことであり、例えば t が数秒程度であるのに対して、 τ が数時間程度であるような場合である。

[0004] 移動体の移動範囲が広範囲である場合、自動運転技術を経路探索技術に帰着させることはできないのには、主に二つの理由がある。まず、第1の理由を述べる。移動体が出発地を出発してから、例えば $10t$ 程度時間が経過した後の状況を考える。この場合には、動的な障害物の影響は道路全体に広がり、衝突しない経路を定義することができない。すなわち、移動体の移動範囲が広範囲である場合、出発地から目的地までの経路を事前に算出することは不可能となる。

[0005] 次に、第2の理由を述べる。移動体の移動範囲が広範囲である場合には、上述したように、全工程を走行するために必要な時間 τ は t と比べて非常に長い。このため、

自動車に搭載されるコンピュータが、現実の衝突回避を実現可能な実用的な時間の内に必要な計算を終了することは不可能である。

[0006] このように、自動車などの広範囲を移動する移動体の自動運転技術においては、少なくとも他の動的障害物の影響を考慮しないか、またはその影響を実用上必要とせずに行う経路探索技術に加えて、動的障害物との衝突回避に必要な計算を実用的な時間で終了し、走行中の危険を回避するための進路を算出する進路算出技術が必要となる。

[0007] 上述した進路算出技術のうち、走行中の危険を回避するための技術として、複数の物体と自車とから成るシステムにおいて、自車の位置および速度に関する情報と、自車以外の複数の物体の位置および速度に関する情報とを用いることにより、自車を含む各物体の進路を生成し、システムを構成する物体のうちいずれか二つの物体が衝突する可能性を予測する技術が知られている(例えば、非特許文献1を参照)。この技術では、システムを構成する全ての物体が取りうる進路を、確率概念を用いた同じ枠組みの操作系列によって予測して出力する。その後、得られた予測結果に基づいて、自車を含むシステム全体にとって最も安全な状況を実現する進路を求めて出力する。

[0008] 非特許文献1:A. Broadhurst, S. Baker, and T. Kanade, "Monte Carlo Road Safety Reasoning", IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV2005), IEEE, (2005年6月)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、上記非特許文献1に開示されている技術では、システムを構成する全ての物体が安全となるような進路を予測することを主眼としているため、そのような予測によって得られた進路が、特定の物体(例えば自車)にとっての安全性を十分に確保するものであるか否かは定かではなかった。

[0010] この点についてより具体的に説明する。現実の道路状況においては、他車の運転者または歩行者が道路状況の認知ミスを起こし、本人が意識しないうちに自車を含む周囲の物体にとって好ましくない挙動を示す可能性がある。これに対して、上述し

た非特許文献1では、全ての物体は安全性を優先した挙動を示すということが暗黙裡に仮定されているため、ある物体が周囲の物体にとって好ましくない挙動を示す場合のように、現実として起こりうる状況下においても十分な安全性を確保することができるか否かは不明であった。

[0011] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることができる物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システム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

[0012] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る物体進路予測方法は、物体の位置と当該物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記物体の進路を予測する物体進路予測方法であって、前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成ステップと、前記軌跡生成ステップで生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行う予測ステップと、を有することを特徴とする。

[0013] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記軌跡生成ステップは、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、を含み、前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする。

[0014] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記操作選択ステップは、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、前記判定ステップで判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択

ステップに戻ることを特徴とする。

[0015] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする。

[0016] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記軌跡生成ステップで生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする。

[0017] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記判定ステップで判定した結果、前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて再帰呼出を行うことにより、選択可能な全ての操作を動作させることを特徴とする。

[0018] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記記憶手段は、複数の物体の位置および内部状態を記憶し、前記軌跡生成ステップは、前記複数の物体の前記時空間における軌跡をそれぞれ生成することを特徴とする。

[0019] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記予測ステップは、前記複数の物体の中から一つの物体を特定し、この特定した物体以外の物体の前記時空間における存在確率を算出することを特徴とする。

[0020] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記予測ステップにおける予測結果を含む情報を出力する出力ステップをさらに有することを特徴とする。

[0021] 本発明に係る物体進路予測方法は、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の進路を予測する物体進路予測方法であって、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成する軌跡生成ステップと、前記軌跡生成ステップで生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行う予測ステップと、前記予測ステップで予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出ステップと、を有

することを特徴とする。

[0022] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体の各々々が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする。

[0023] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体の前記時空間上での衝突確率に比例して増加させることを特徴とする。

[0024] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに比例して増加させることを特徴とする。

[0025] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記記憶手段は、異なる物体間の衝突時の相対速度の大きさと当該衝突によって生じる被害の規模を評価する被害規模評価値または当該衝突によって生じる被害損失額とを対応付けて記憶し、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに応じた前記被害規模評価値または前記被害損失額を前記記憶手段から読み出し、当該両物体間の前記干渉度を前記被害規模評価値または前記被害損失額に比例して増加させることを特徴とする。

[0026] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づくまでに各物体の初期位置から要した時間が当該両物体間の前記干渉度の値よりも小さい場合には、前記初期位置から要した時間を前記干渉度の値とすることを特徴とする。

[0027] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ス

テップは、前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることを特徴とする。

[0028] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記軌跡生成ステップは、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、を含み、前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする。

[0029] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記操作選択ステップは、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、前記判定ステップで判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択ステップに戻ることを特徴とする。

[0030] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする。

[0031] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記軌跡生成ステップで生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする。

[0032] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップで算出した干渉度に応じた情報を出力する出力ステップをさらに有することを特徴とする。

[0033] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップで算出した干渉度に応じて、前記複数の物体に含まれる特定の物体が取るべき進路を選択する進路選択ステップをさらに有することを特徴とする。

[0034] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど小さい値を有し、前記進路選択ステップは、前記干渉度が最小の進路を

選択することを特徴とする。

[0035] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記進路選択ステップは、前記干渉度が最小の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする。

[0036] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど大きい値を有し、前記進路選択ステップは、前記干渉度が最大の進路を選択することを特徴とする。

[0037] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記進路選択ステップは、前記干渉度が最大の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする。

[0038] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記進路選択ステップで選択した進路の位置の履歴および当該進路を実現する操作系列に応じた操作信号を生成し、この生成した操作信号を外部に送信する操作信号送信ステップをさらに有することを特徴とする。

[0039] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体の各々とは互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする。

[0040] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることを特徴とする。

[0041] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記軌跡生成ステップは、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に

関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、を含み、前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする。

[0042] また、本発明に係る物体進路予測方法は、上記発明において、前記進路選択ステップで選択した進路に関する情報を出力する出力ステップをさらに有することを特徴とする。

[0043] 本発明に係る物体進路予測装置は、物体の位置と当該物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段と、前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成手段と、前記軌跡生成手段で生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行う予測手段と、を備えたことを特徴とする。

[0044] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記軌跡生成手段は、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、前記物体操作手段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、を含み、前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする。

[0045] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記操作選択手段は、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、前記判定手段で判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択手段による操作選択処理に戻ることを特徴とする。

[0046] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする。

- [0047] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記軌跡生成手段で生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする。
- [0048] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記判定手段で判定した結果、前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて再帰呼出を行うことにより、選択可能な全ての操作を動作させることを特徴とする。
- [0049] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記記憶手段は、複数の物体の位置および内部状態を記憶し、前記軌跡生成手段は、前記複数の物体の前記時空間における軌跡をそれぞれ生成することを特徴とする。
- [0050] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記予測手段は、前記複数の物体の中から一つの物体を特定し、この特定した物体以外の物体の前記時空間における存在確率を算出することを特徴とする。
- [0051] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記予測手段による予測結果を含む情報を出力する出力手段をさらに備えたことを特徴とする。
- [0052] 本発明に係る物体進路予測装置は、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段と、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成する軌跡生成手段と、前記軌跡生成手段で生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行う予測手段と、前記予測手段で予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出手段と、を備えたことを特徴とする。
- [0053] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体の各々が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする。

る。

- [0054] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体の前記時空間上での衝突確率に比例して増加させることを特徴とする。
- [0055] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに比例して増加させることを特徴とする。
- [0056] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記記憶手段は、異なる物体間の衝突時の相対速度の大きさと当該衝突によって生じる被害の規模を評価する被害規模評価値または当該衝突によって生じる被害損失額とを対応付けて記憶し、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに応じた前記被害規模評価値または前記被害損失額を前記記憶手段から読み出し、当該両物体間の前記干渉度を前記被害規模評価値または前記被害損失額に比例して増加させることを特徴とする。
- [0057] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づくまでに各物体の初期位置から要した時間が当該両物体間の前記干渉度の値よりも小さい場合には、前記初期位置から要した時間を前記干渉度の値とすることを特徴とする。
- [0058] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることを特徴とする。
- [0059] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記軌跡生成手段は、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、前記物体操作手

段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、を含み、前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする。

[0060] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記操作選択手段は、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、前記判定手段で判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択手段による操作選択処理に戻ることを特徴とする。

[0061] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする。

[0062] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記軌跡生成手段で生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする。

[0063] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段で算出した干渉度に応じた情報を出力する出力手段をさらに備えたことを特徴とする。

[0064] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段で算出した干渉度に応じて前記特定の物体が取るべき進路を選択する進路選択手段をさらに備えたことを特徴とする。

[0065] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど小さい値を有し、前記進路選択手段は、前記干渉度が最小の進路を選択することを特徴とする。

[0066] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記進路選択手段は、前記干渉度が最小の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする。

[0067] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度は、前

記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど大きい値を有し、前記進路選択手段は、前記干渉度が最大の進路を選択することを特徴とする。

[0068] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記進路選択手段は、前記干渉度が最大の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする。

[0069] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記進路選択手段で選択した進路の位置の履歴および当該進路を実現する操作系列に応じた操作信号を生成し、この生成した操作信号を外部に送信する操作信号送信手段をさらに備えたことを特徴とする。

[0070] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体の各々々が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする。

[0071] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることを特徴とする。

[0072] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記軌跡生成手段は、前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、前記物体操作手段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、を含み、前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返すことを特徴とする。

[0073] また、本発明に係る物体進路予測装置は、上記発明において、前記進路選択手段で選択した進路に関する情報を出力する出力手段をさらに有することを特徴とする。

[0074] 本発明に係る物体進路予測プログラムは、上記いずれかの発明に係る物体進路予測方法を前記コンピュータに実行させることを特徴とする。

[0075] 本発明に係る自動運転システムは、車両に搭載されて当該車両を自動的に運転する自動運転システムであって、上記いずれかの発明に係る物体進路予測装置と、前記物体進路予測装置が備える前記進路選択手段で選択された進路を実現する操作信号に応じて当該車両を操作するアクチュエータ装置と、を備えたことを特徴とする。

発明の効果

[0076] 本発明に係る物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システムによれば、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0077] [図1]図1は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測装置の機能構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測方法の概要を示すフローチャートである。

[図3]図3は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測方法における軌跡生成処理の概要を示すフローチャートである。

[図4]図4は、3次元時空間に生成された軌跡を模式的に示す図である。

[図5]図5は、一つの物体に対して3次元時空間に生成された軌跡集合を模式的に示す図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測方法によって形成された時空間環境の構成を模式的に示す説明図である。

[図7]図7は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測装置における予測結果の表示出力例を示す図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測装置における予測結果の表示出力例(第2例)を示す図である。

[図9]図9は、自車の操作を維持するモデルを採用した場合に形成された時空間環境の構成を模式的に示す図である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態2に係る物体進路予測方法における軌跡生成

処理の概要を示すフローチャートである。

[図11]図11は、本発明の実施の形態2に係る物体進路予測方法における軌跡生成処理の詳細を示すフローチャートである。

[図12]図12は、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測装置の機能構成を示すブロック図である。

[図13]図13は、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測方法の概要を示すフローチャートである。

[図14]図14は、従来の進路予測演算の問題点を模式的に示す図である。

[図15]図15は、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測方法における進路予測演算の利点を模式的に示す図である。

[図16]図16は、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測方法における干渉度算出処理の詳細を示すフローチャートである。

[図17]図17は、自車の1本の軌跡と他車の1本の軌跡との時空間上での関係を模式的に示す図である。

[図18]図18は、物体間の干渉の時間依存性を与える関数の例を示す図である。

[図19]図19は、本発明の実施の形態4に係る物体進路予測方法における干渉度算出処理の詳細を示すフローチャートである。

[図20]図20は、本発明の実施の形態5に係る物体進路予測方法における干渉度算出処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21]図21は、時空間環境の別な構成を模式的に示す説明図である。

[図22]図22は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測装置を含む自動運転システムの機能構成を示すブロック図である。

[図23]図23は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測方法の概要を示すフローチャートである。

[図24]図24は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測方法における進路選択処理の詳細を示すフローチャートである。

[図25]図25は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測装置における進路設定結果の表示出力例を示す図である。

[図26]図26は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測装置における進路設定結果の表示出力例(第2例)を示す図である。

[図27]図27は、本発明の実施の形態7に係る物体進路予測方法における干渉度算出処理の詳細を示すフローチャートである。

[図28]図28は、本発明の実施の形態7に係る物体進路予測方法における進路選択処理の詳細を示すフローチャートである。

符号の説明

- [0078] 1, 101, 201 物体進路予測装置
- 2 入力部
 - 3 センサ部
 - 4 軌跡生成部(軌跡生成手段)
 - 5, 105 予測部(予測手段)
 - 6, 107, 209 出力部(出力手段)
 - 7, 108, 210 記憶部(記憶手段)
 - 41 操作選択部(操作選択手段)
 - 42 物体操作部(物体操作手段)
 - 43 判定部(判定手段)
 - 51 予測演算部
 - 52 画像生成部
 - 61, 171, 291 表示部
 - 106 干渉度算出部(干渉度算出手段)
 - 172, 292 警告音発生部
 - 207 進路選択部(進路選択手段)
 - 208 操作信号送信部(操作信号送信手段)
 - 211 アクチュエータ装置
 - 1000 自動運転システム
 - B_1, B_2, B_3 進路
 - CN 表示画面

D_a, D_b 領域

$Env(P_1, P_2), Env'(P_1, P_2), Env(P_1, P_2, P_3)$ 時空間環境

F フロントガラス

H 矢印

O_1, O_2, O_i 物体

R, Rd 道路

ST ステアリング

発明を実施するための最良の形態

[0079] 以下、添付図面を参照して本発明を実施するための最良の形態(以後、「実施の形態」と称する)を説明する。

[0080] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測装置の機能構成を示すブロック図である。同図に示す物体進路予測装置1は、四輪自動車等の移動体に搭載され、自車の周囲の所定範囲に存在する物体を検知し、この検知した物体および自車の進路を予測する装置である。

[0081] 物体進路予測装置1は、各種情報が外部から入力される入力部2と、所定の範囲に存在する物体の位置や内部状態を検知するセンサ部3と、センサ部3が検知した結果に基づいて、物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成部4と、軌跡生成部4で生成した軌跡を用いて物体の進路の確率的な予測を行う予測部5と、少なくとも予測部5で行われた予測結果を含む各種情報を出力する出力部6と、軌跡生成部4で生成された時空間上の軌跡や予測部5における予測結果を含む情報を記憶する記憶部7と、を備える。

[0082] 入力部2は、物体の進路を予測する際の各種設定情報等の入力を行う機能を有し、リモコン、キーボード(画面上での入力操作が可能なタッチパネル形式を含む)、ポインティングデバイス(マウス、トラックパッド等)などを用いて実現される。また、入力部2として、音声による情報の入力が可能なマイクロフォンを設けてもよい。なお、予め各種設定情報が定められる場合は、それらを格納したROM(Read Only Memory

)等を有する記憶部7によって入力部2の機能を代替してもよい。

- [0083] センサ部3は、ミリ波レーダ、レーザレーダ、画像センサ等を用いることによって実現される。また、センサ部3は、速度センサ、加速度センサ、舵角センサ、角速度センサ等の各種センサを備えており、自車の移動状況を検知することもできる。なお、センサ部3が検知する物体の内部状態とは、物体の予測に用いることができるような有益な状態のことであり、好ましくは物体の速度(速さと向きを有する)や角速度(大きさと向きを有する)等の物理量である。なお、それらの物理量の値が0の場合(物体が停止している状態)も含まれることは勿論である。
- [0084] 軌跡生成部4は、所定の時間が経過するまでに物体が取りうる軌跡を予測生成するものであり、物体をシミュレーション上で仮想的に動作させるための操作を複数の操作から選択する操作選択部41と、操作選択部41で選択した操作を所定の時間行う物体操作部42と、物体操作部42で操作した後の物体の位置および内部状態が所定の条件を満たしているか否かを判定する判定部43とを有する。
- [0085] 予測部5は、軌跡生成部4から出力される物体ごとの軌跡を用いることによって物体進路の確率的な予測演算を行う予測演算部51と、予測演算部51における予測演算結果に応じて出力部6で表示出力する画像を生成する画像生成部52とを有する。
- [0086] 出力部6は、予測部5の画像生成部52で生成された画像を表示出力する表示部61を有する。表示部61は、液晶、プラズマ、または有機EL(Electroluminescence)等のディスプレイを用いて実現される。本実施の形態1においては、表示部61として運転席の後方上部にプロジェクタを設置している。このプロジェクタは、四輪自動車のフロントガラスへの重畳表示を行う機能を有している。なお、出力部6として、音声情報を外部に出力するスピーカーを設けてもよい。
- [0087] 記憶部7は、センサ部3での検知結果に加えて、軌跡生成部4で生成された軌跡、予測部5における予測結果、および軌跡生成部4の操作選択部41で選択する操作などを記憶する。この記憶部7は、所定のOS(Operation System)を起動するプログラムや本実施の形態1に係る物体進路予測プログラム等が予め記憶されたROM、および各処理の演算パラメータやデータ等を記憶するRAM(Random Access Memory)を用いて実現される。また、記憶部7は、物体進路予測装置1に対してコンピュータ

読み取り可能な記録媒体を搭載可能なインタフェースを設け、このインタフェースに対応する記録媒体を搭載することによって実現することもできる。

[0088] 以上の機能構成を有する物体進路予測装置1は、演算および制御機能を有するCPU(Central Processing Unit)を備えた電子的な装置(コンピュータ)である。物体進路予測装置1が備えるCPUは、記憶部7が記憶、格納する情報および上述した物体進路予測プログラムを含む各種プログラムを記憶部7から読み出すことによって本実施の形態1に係る物体進路予測方法に関する演算処理を実行する。

[0089] なお、本実施の形態1に係る物体進路予測プログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、フラッシュメモリ、MOディスク等のコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して広く流通させることも可能である。

[0090] 次に、本発明の実施の形態1に係る物体進路予測方法について説明する。図2は、本実施の形態1に係る物体進路予測方法の処理の概要を示すフローチャートである。以下の説明においては、予測対象の物体は全て2次元平面上を移動するものと仮定して説明を行う。

[0091] まず、センサ部3において、所定の範囲にある物体の自車に対する位置および内部状態を検知し、検知した情報を記憶部7に格納する(ステップS1)。以後、物体の位置は物体の中心の値であるとし、物体の内部状態は速度(速さ v 、向き θ)によって特定されるものとする。なお、このステップS1において、自車の内部状態も検知し、記憶部7に格納することは勿論である。

[0092] 次に、センサ部3によって入力された検知結果を用いることにより、軌跡生成部4が物体ごとに軌跡を生成する(ステップS2)。図3は、軌跡生成部4における軌跡生成処理の詳細を示すフローチャートである。同図においては、センサ部3で検知した物体の総数(自車を含む)を K とし、一つの物体 O_k ($1 \leq k \leq K$, k は自然数)に対して軌跡を生成する演算を N_k 回行うものとする(この意味で、 K および N_k はともに自然数)。また、軌跡を生成する時間(軌跡生成時間)を $T(>0)$ とする。

[0093] 本実施の形態1では、軌跡生成時間 T (および後述する操作時間 Δt)を適切に定めることにより、実用的な計算時間で他車の進路など外界の変化の予測を行うことが可能となる。この点については、本発明の他の実施の形態に対しても共通していえる

ことである。

- [0094] 最初に、物体を識別するカウンタ k の値を1とするとともに、同じ物体 O_k に対する軌跡生成回数を示すカウンタ n_k の値を1とする初期化を行う(ステップS201)。なお、以下の説明は、一般の物体 O_k に対する処理として説明する。
- [0095] 次に、軌跡生成部4では、センサ部3で検知した結果を記憶部7から読み出し、この読み出した検知結果を初期状態とする(ステップS202)。具体的には、時間 t を0とし、初期位置 $(x_k(0), y_k(0))$ および初期内部状態 $(v_k(0), \theta_k(0))$ を、それぞれセンサ部3からの入力情報 (x_{k0}, y_{k0}) および (v_{k0}, θ_{k0}) とする。
- [0096] 続いて、操作選択部41が、その後の時間 Δt の間に行う操作 $u_k(t)$ を、選択可能な複数の操作の中から、各操作に予め付与された操作選択確率にしたがって一つの操作を選択する(ステップS203)。操作 u_{kc} を選択する操作選択確率 $p(u_{kc})$ は、例えば $u_k(t)$ として選択可能な操作の集合 $\{u_{kc}\}$ の要素と所定の乱数とを対応付けることによって定義される。この意味で、操作 u_{kc} ごとに異なる操作選択確率 $p(u_{kc})$ を付与してもよいし、操作集合 $\{u_{kc}\}$ の全要素に対して等しい確率を付与してもよい。後者の場合には、 $p(u_{kc}) = 1 / (\text{選択可能な全操作数})$ となる。なお、操作選択確率 $p(u_{kc})$ を、自車の位置および内部状態、ならびに周囲の道路環境に依存する関数として定義することも可能である。
- [0097] 一般に、操作 u_{kc} は複数の要素から構成され、物体 O_k の種類によって選択可能な操作の内容が異なる。例えば、物体 O_k が四輪自動車の場合、その四輪自動車の加速度や角速度はステアリングの切り具合やアクセルの踏み具合等によって決まる。このことに鑑みて、四輪自動車である物体 O_k に対して施される操作 u_{kc} は、加速度や角速度を含む要素によって決定される。これに対して、物体 O_k が人である場合には、速度によって操作 u_{kc} を指定することができる。
- [0098] より具体的な操作 u_{kc} の設定例を挙げる。物体 O_k が自動車の場合には、加速度を $-10 \sim +30$ (km/h/sec)、操舵角を $-7 \sim +7$ (deg/sec)の範囲で取り(いずれも符号で向きを指定)、物体 O_k が人の場合には、速さを $0 \sim 36$ (km/h)、向きを $0 \sim 360$ (deg)の範囲で取る。なお、ここで記載した量は全て連続量である。このような場合には、適当な離散化を施すことによって各操作の要素数を有限とし、操作の集合 $\{$

u_{kc} }を構成すればよい。

[0099] この後、物体操作部42が、ステップS203で選択した操作 u_{kc} を時間 Δt の間動作させる(ステップS204)。この時間 Δt は、精度の上では小さい方がより好ましいが、実用上は0.1~0.5(sec)程度の値とすればよい。なお、以下の説明において、軌跡生成時間Tは Δt の整数倍であるとするが、Tの値は物体 O_k の速度に応じて可変としてもよく、 Δt の整数倍でなくてもよい。

[0100] 続いて、判定部43では、ステップS204で操作 u_{kc} を動作させた後の物体 O_k の内部状態が所定の制御条件を満たしているか否かを判定する(ステップS205)とともに、操作 u_{kc} を動作させた後の物体 O_k の位置が移動可能領域内にあるか否かを判定する(ステップS206)。このうち、ステップS205で判定する制御条件は、物体 O_k の種類に応じて定められ、例えば物体 O_k が四輪自動車である場合には、ステップS204の動作後の速度の範囲や、ステップS204の動作後の加速度の最高車両G等によって定められる。他方、ステップS206で判定する移動可能領域とは、道路(車道、歩道を含む)等の領域を指す。以後、物体が移動可能領域に位置する場合を、「移動条件を満たす」と表現する。

[0101] 上述した判定部43における判定の結果、一つでも満足しない条件がある場合(ステップS205でNoまたはステップS206でNo)には、ステップS202に戻る。これに対して、判定部43における判定の結果、ステップS204における操作 u_{kc} 終了後の物体 O_k の位置および内部状態が全ての条件を満足している場合(ステップS205でYesおよびステップS206でYes)には、時間を Δt だけ進め($t \leftarrow t + \Delta t$)、ステップS204の動作後の位置を($x_k(t)$, $y_k(t)$)、内部状態を($v_k(t)$, $\theta_k(t)$)とする(ステップS207)。

[0102] 以上説明したステップS202~S207の処理は、軌跡生成時間Tに達するまで繰り返される。すなわち、ステップS207で新たに定義された時間tがTに達していない場合(ステップS208でNo)、ステップS203に戻って処理を繰り返す。他方、ステップS207で新たに定義された時間tがTに達した場合(ステップS208でYes)、物体 O_k に対する軌跡を出力し、記憶部7に格納する(ステップS209)。

[0103] 図4は、物体 O_k に対して時間 $t=0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, T$ でステップS203からステッ

プS207に至る一連の処理を繰り返すことによって生成された物体 O_k の軌跡を模式的に示す図である。同図に示す軌跡 $P_k(m)$ ($1 \leq m \leq N_k$, m は自然数)は、空間2次元(x, y), 時間1次元(t)の3次元時空間(x, y, t)を通過する。この軌跡 $P_k(m)$ を $x-y$ 平面上に射影すれば、2次元空間(x, y)における物体 O_k の予測進路を得ることができる。

- [0104] ステップS209の後、カウンタ n_k の値が N_k に達していなければ(ステップS210でNo)、カウンタ n_k の値を1増やし(ステップS211)、ステップS202に戻って上述したステップS202～S208の処理を軌跡生成時間 T に達するまで繰り返し行う。
- [0105] ステップS210でカウンタ n_k が N_k に達した場合(ステップS210でYes)、物体 O_k に対する全ての軌跡の生成が完了する。図5は、一つの物体 O_k に対して生成された N_k 個の軌跡 $P_k(1), P_k(2), \dots, P_k(N_k)$ から成る軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ を3次元時空間上で模式的に示す説明図である。軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の要素をなす各軌跡の始点すなわち初期位置 $(x_{k0}, y_{k0}, 0)$ は同じである(ステップS202を参照)。なお、図5はあくまでも模式図であり、 N_k の値としては、例えば数百～数万程度の値をとることが可能である。
- [0106] ステップS210でカウンタ n_k が N_k に達した場合、物体識別用のカウンタ k が物体の総数 K に達していなければ(ステップS212でNo)、そのカウンタ k の値を1増やすとともに軌跡生成回数のカウンタ n_k の値を1に初期化し(ステップS213)、ステップS202に戻って処理を繰り返す。これに対して物体のカウンタ k が K に達した場合(ステップS212でYes)、全ての物体に対する軌跡生成が完了したことになるので、ステップS2の軌跡生成処理を終了し、続くステップS3に進む。
- [0107] このようにして、センサ部3で検知した全ての物体に対して所定の回数の軌跡生成処理を行うことにより、3次元時空間の所定の範囲内に存在する複数の物体が取りうる軌跡の集合から成る時空間環境が形成される。図6は、時空間環境の構成例を模式的に示す説明図である。同図に示す時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ は、物体 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ (図6では実線で表示)および物体 O_2 の軌跡集合 $\{P_2(n_2)\}$ (図6では破線で表示)から成る。より具体的には、時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ は、二つの物体 O_1 および O_2 が、高速道路のような平坦かつ直線状の道路 R を $+y$ 軸方向に向かって移

動している場合の時空間環境を示すものである。本実施の形態1においては、物体同士の相関は考慮せずに物体ごとに独立に軌跡生成を行っているため、異なる物体の軌跡同士が時空間上で交差することもある。

[0108] 図6において、時空間の各領域における軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ ($k=1, 2$)の単位体積当たりの密度は、その時空間の各領域における物体 O_k の存在確率の密度(以後、「時空間確率密度」と称する)を与えている。したがって、ステップS2における軌跡生成処理によって構成された時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ を用いることにより、物体 O_k が3次元時空間上の所定の領域を通過する確率を求めることが可能となる。なお、上述した時空間確率密度は、あくまでも時空間上における確率概念であるため、一つの物体に対して時空間上でその値の総和を取ったときに1になるとは限らない。

[0109] ところで、軌跡生成時間 T の具体的な値は、予め固定値として設定する場合には、その値 T を超えたところまで軌跡を生成すると時空間上の確率密度分布が一様になってしまう、計算しても意味がないような値とするのが好ましい。例えば、物体が四輪自動車であって、その四輪自動車が通常の走行を行っている場合には、たかだか $T=5$ (sec)程度とすればよい。この場合、ステップS204における操作時間 Δt を0.1~0.5(sec)程度とすると、1本の軌跡 $P_k(m)$ を生成するために、ステップS203からステップS207に至る一連の処理を10~50回繰り返すことになる。

[0110] なお、高速道路、一般道、2車線道路などの道路の種類ごとに異なる軌跡生成時間 T を設定し、位置データを用いて現在走行中の道路の種類を地図データから読み取る方法や、画像認識等を応用した道路認識装置によって道路の種類を読み取る方法などによって切替を行うことは好ましい。

[0111] また、軌跡生成時間 T まで算出した軌跡を用いることによって時空間上の確率密度分布を統計的に評価し、分布が一定となっている場合には軌跡生成時間 T を減らし、分布が一定となっていない場合には生成時間を増やすような適応制御を行うことも好ましい。

[0112] さらには、自車の取り得る複数の進路を予め用意しておき、自車の進路と他の物体の進路との交差する確率が一定となる時間を軌跡生成時間 T として予測を行うことも可能である。この場合、予測時間を Δt だけ増やしたときに自車の取り得る進路ごとの

リスクの増分が一定となる場合をもって打ち切り条件としてもよい。かかる構成においては、安全を確保するために現在取るべき進路の判断材料を得るため、自車の取り得る進路の未来側の端点が空間的に広く分布するように設定されていることはいうまでもない。

[0113] 以上説明した物体ごとの軌跡生成処理の後、予測部5は、各物体が取りうる進路の確率的な予測を行う(ステップS3)。以下では、予測部5の予測演算部51における具体的な予測演算処理として、物体 O_k に対して生成された軌跡集合 $\{P_k(n)\}$ の中で特定の軌跡 $P_k(m)$ が選ばれる確率を求める場合について説明するが、この予測演算が一例に過ぎないことは勿論である。

[0114] 物体 O_k の軌跡が N_k 本生成されたとき、そのうちの1本の軌跡 $P_k(m)$ が実際の軌跡となる確率 $p(P_k(m))$ は、次のように算出される。まず、物体 O_k の軌跡 $P_k(m)$ を実現するための操作列 $\{u_{km}(t)\}$ が $\{u_{km}(0), u_{km}(\Delta t), u_{km}(2\Delta t), \dots, u_{km}(T)\}$ であったとすると、時間 t において操作 $u_{km}(t)$ が選択される確率は $p(u_{km}(t))$ であったので、 $t=0\sim T$ で操作列 $\{u_{km}(t)\}$ が実行される確率は、

[数1]

$$p(u_{km}(0)) \cdot p(u_{km}(\Delta t)) \cdot p(u_{km}(2\Delta t)) \cdots p(u_{km}(T)) = \prod_{t=0}^T p(u_{km}(t)) \quad (1)$$

と求められる。したがって、物体 O_k に N_k 本の軌跡集合 $\{P_k(n)\}$ が与えられたとき、物体 O_k が取りうる一つの軌跡 $P_k(m)$ が選ばれる確率 $p(P_k(m))$ は、

[数2]

$$p(P_k(m)) = \frac{\prod_{t=0}^T p(u_{km}(t))}{\sum_{n=1}^{N_k} \left(\prod_{t=0}^T p(u_{kn}(t)) \right)} \quad (2)$$

となる。

[0115] 全ての操作 $u_{km}(t)$ が等確率 p_0 (ただし、 $0 < p_0 < 1$)で選択される場合、式(1)は、

[数3]

$$\prod_{t=0}^T p(u_{km}(t)) = p_0^s \quad (3)$$

となる。ここで、 s は $t=0$ から T までの操作時間 Δt の総数すなわち操作回数である。したがって、物体 O_k が取りうる N_k 本の軌跡に含まれる軌跡 $P_k(m)$ の確率の総和は $N_k p_0^s$ となり、そのうちの1本の軌跡 $P_k(m)$ が選ばれる確率 $p(P_k(m))$ は、式(3)を式(2)に代入することによって、

[数4]

$$p(P_k(m)) = \frac{1}{N_k} \quad (4)$$

となる。すなわち、確率 $p(P_k(m))$ は軌跡 $P_k(m)$ に依存しない。

[0116] なお、式(4)において、全ての物体に対して生成する軌跡の数が同じ(N 本)であるとする、 $N_1 = N_2 = \dots = N_K = N$ (定数)なので、 $p(P_k(m)) = 1/N$ となり、物体 O_k によらず一定となる。この場合には、確率 $p(P_k(m))$ の値を1に規格化することによって予測演算部51における予測演算を簡素化し、より迅速に所定の予測演算を実行することが可能となる。なお、操作 $u_{km}(t)$ が選択される確率 $p(u_{km}(t))$ は、入力部2からの入力によって適宜設定または変更することができるようにしてもよい。

[0117] 予測演算部51は、物体 O_k ($k=1, 2, \dots, K$)ごとに算出した確率 $p(P_k(m))$ に基づいて、3次元時空間の各領域における単位体積当たりの物体 O_k の存在確率を求める。この存在確率は、軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の3次元時空間上の時空間確率密度に対応しており、通過している軌跡の密度が高い領域は、存在確率が概ね大きい。

[0118] ここまで説明してきた予測演算部51における演算の後、画像生成部52は、得られた演算結果に応じて出力部6の表示部61で表示する画像に関する画像情報を生成し、出力部6へ送出する。

[0119] 以上説明したステップS3に続いて、予測演算部51での演算結果に応じた情報すなわち予測結果を表示出力する(ステップS4)。図7は、表示部61における予測結果の表示出力例を示す図であり、二つの物体 O_1 (自車)および O_2 によって構成された時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ (図6を参照)を用いて予測を行った場合の予測結果の表

示出力例を模式的に示す図である。より具体的には、図7では、他の物体 O_2 の所定時間後の存在確率が予め定めた閾値を超えるような領域を物体 O_1 （自車）のフロントガラスFに半透明に重畳表示した場合を図示している。なお、半透明に表示されている二つの領域 D_a と領域 D_b とは照度が異なっている（領域 D_a の方が照度が高い）。このような照度の違いは、予測演算部51における予測結果を反映したものであり、求めた存在確率の値に応じて異なる照度を有する半透明領域がフロントガラスFに重畳表示される。

[0120] 上述した重畳表示は、物体 O_1 の運転席の後方上部に設置されたプロジェクタ（出力部6の一部をなす、図示せず）から画像生成部52で生成された画像をフロントガラスFに投影することによって実現される。これにより、物体 O_1 の運転者は、自車の前方を目視して運転しながら、近い将来に危険が生じる可能性のある領域を即座に認識することができる。したがって、その認識結果を運転に反映させることによって適確に危険を回避することが可能となる。

[0121] なお、出力部6における表示出力例はこれに限られるわけではなく、例えばカーナビゲーションシステムの表示画面CN（図7を参照）に表示部61の機能を具備させることによって予測部5における予測結果を表示してもよい。この場合には、図8に示す領域 D_a および D_b のように、表示画面CNに表示される2次元平面上で領域ごとに色の濃淡をつけて表示することも可能である。また、出力部6からマイクロフォンを介して音声を発生させることにより、周辺の道路状況に応じた情報や警報音または音声を出力するようにしてもよい。

[0122] 以上説明した本発明の実施の形態1によれば、物体の位置および当該物体の速度を含む内部状態を記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行うことにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0123] また、本実施の形態1によれば、時間と空間から構成される時空間上に形成された

時空間環境を用いて物体の進路予測を行うことにより、静的物体だけでなく動的物体の進路予測も精度よく行うことができる。

[0124] さらに、本実施の形態1によれば、検知した物体の軌跡を互いに独立に生成しているため、特定の物体(例えば自車)と他の物体とを区別することができる。この結果、特定の物体とその他の物体との間で生じる危険度を容易にかつ適確に、実用的な時間の内に予測することが可能となる。

[0125] 加えて、本実施の形態1によれば、時空間環境を用いて予測した結果を出力することによって危険度を含む情報の提示を行うことができるため、その情報の提示を受けた自車の運転者は、運転中の近い将来に起こりうる危険を迅速かつ適確に回避しながら運転することが可能となる。

[0126] なお、本実施の形態1は、上述したように4次元時空間(空間3次元、時間1次元)においても適用可能である。この場合には、高低差のある道路を走行中の自動車に適用できるのは勿論のこと、他にも飛行機やヘリコプターのように、空中を移動する移動体が同じく空中を移動する他の移動体の進路予測を行う場合にも適用可能である。

[0127] ここで、上記背景技術で引用した非特許文献1と本実施の形態1との差異について説明する。これら二つの技術は、ともに確率概念を用いた物体の進路予測を行っているが、非特許文献1では、所定の範囲内にある物体の進路を独立に予測しているわけではなく、相互の相関に基づいた確率計算を行っている。このため、複数の物体のうちいずれか二つの物体が衝突した場合、その二つの物体の進路予測は衝突した時点で終了する。これは、3次元時空間上で考えると、二つの異なる物体の軌跡は、交差した時点以後の衝突判定処理が行われないことを意味している。

[0128] これに対して、本実施の形態1では、物体の軌跡は物体ごとに独立に生成されるため、3次元時空間上において異なる物体の軌跡が交差しても、衝突判定処理は所定時間経過するまで継続される。このように、非特許文献1で生成される時空間環境と本実施の形態1で生成される時空間環境とは全く異質なものである。また、本実施の形態1では、物体の相関を考慮することなく、物体ごとに独立な進路探索を行っているため、計算量も非特許文献1より少なくて済む。

[0129] 加えて、非特許文献1では、衝突という事象が予測できたとしても、それがいつの時

点で起こるかまで把握することはできない。これは、非特許文献1が、時間の流れの中で物体が衝突する確率を求めているのではなく、各時間における状態ごとに衝突の有無を探索することを主眼としているためである。換言すれば、非特許文献1では、時空間環境といったものを明示的に用いていない上、時空間確率密度という概念には到達していない。

[0130] このように、本実施の形態1と非特許文献1とは、ともに確率概念を用いた進路予測を行っているため、一見すると類似した技術であるかのような印象を与えかねないが、その技術的な思想の本質は全く異なっており、非特許文献1から本実施の形態1を想到することは、当業者といえども困難を極めるものである。

[0131] (実施の形態1の変形例)

軌跡生成部4の操作選択部41では、自転車に関してのみ現時点での操作を維持するものとしてもよい。この場合、自転車では予測時点での内部状態が維持され、唯一つの操作が行われ続けることになるため、その操作を選択する操作選択確率は1であり、自転車の軌跡集合として、時空間上には1本の軌跡のみが生成される。

[0132] 図9は、上記の如く自転車の操作を維持した場合に生成された時空間環境を示すものであり、図6に対応する図である。図9に示す時空間環境 $Env'(P_1, P_2)$ においては、3次元時空間における物体 O_1 (自転車)の軌跡集合は、直線状の1本の軌跡 P_1 のみによって構成されている(物体 O_2 に関しては図6と同様)。このように、自転車 O_1 の操作を維持するモデルを適用すれば、周囲の物体が多い場合などにおいて状況を単純化して予測を行うことが可能となり、軌跡生成部および予測部における計算量を少なくすることができる。

[0133] (実施の形態2)

本発明の実施の形態2は、物体ごとの軌跡生成を行う際に、選択可能な全ての操作を動作させることによって軌跡を生成することを特徴とする。なお、本実施の形態2に係る物体進路予測装置の機能構成は、上述した実施の形態1に係る物体進路予測装置1の機能構成(図1を参照)と同じである。また、本実施の形態2に係る物体進路予測方法は、物体ごとの軌跡生成処理を除いて、上記実施の形態1に係る物体進路予測方法と同じである。

- [0134] 図10は、本実施の形態2に係る物体進路予測方法における軌跡生成処理(図2のステップS2に相当)の概要を示すフローチャートである。同図に示す軌跡生成処理では、まず物体を識別するカウンタ k の値を1とする初期化を行う(ステップS21)。本実施の形態2においても、軌跡生成を行うべき物体の総数を K とする。
- [0135] 次に、軌跡生成部4は、センサ部3で検知した結果を記憶部7から読み出し、この読み出した検知結果を初期状態とする(ステップS22)。具体的には、時間 t を0とし、初期位置 $(x_k(0), y_k(0))$ および初期内部状態 $(v_k(0), \theta_k(0))$ を、それぞれセンサ部3からの入力情報 (x_{k0}, y_{k0}) および (v_{k0}, θ_{k0}) とする。
- [0136] 続いて、物体 O_k の3次元時空間 (x, y, t) における軌跡を生成する(ステップS23)。図11は、ステップS23の軌跡生成処理の詳細を示すフローチャートである。以下の説明においては、軌跡生成時間 T は、各操作を行う操作時間 Δt を用いて $T=J\Delta t$ (J は自然数)と表されるものとする。
- [0137] まず、時間 $t=0$ におけるループ処理(Loop1)を開始する(ステップS231-1)。このLoop1では、 $t=0$ における操作 $u_k(0)$ を Δt の間実行する。この際、操作 $u_k(0)$ の具体的な内容は、上記実施の形態1と同様、物体 O_k の種類に応じて決まる(車両の場合には、加速度や角速度によって指定される一方、人の場合には速度によって指定される)。操作の集合 $\{u_{kc}\}$ は有限個の要素から成り、選択可能な操作が連続量の場合には、適当な間隔で離散化することによって集合 $\{u_{kc}\}$ の要素が構成される。
- [0138] ステップS231-1のより具体的な処理を説明する。最初に、操作選択部41で一つの操作 $u_{kc}(0)$ を選択し、この選択した操作 $u_{kc}(0)$ を物体操作部42で Δt の間動作させる。この動作後、判定部43は、物体 O_k の位置や内部状態が、上記実施の形態1と同様の制御条件および移動条件を満たしているか否かを判定し、それらの条件を全て満たしている場合(OK)には、次の時間 $t=\Delta t$ におけるループ処理(Loop2)に進む。これに対して、制御条件および移動条件のうちで一つでも満足しない条件がある場合(NG)には、ステップS233-1に進み、その直前に行った操作 $u_{kc}(0)$ をキャンセルする。なお、本実施の形態2においては、操作選択部41で全ての操作を選択するため、各操作の選択順は任意である。この点については、以後のループ処理(Loop2, Loop3, ..., LoopJ)においても同様である。

- [0139] 以下、1本の軌跡が生成されるまでの処理を先に説明する。Loop2では、上述したLoop1と同様に、操作選択部41で操作を選択し、 Δt の間だけ操作 $u_{kc}(\Delta t)$ を行う。そして、操作後の物体 O_k の位置が上記同様の制御条件および移動条件を満たしていれば(OK)、時刻 $2\Delta t$ におけるループ処理(Loop3)に移行する。他方、制御条件および移動条件のうち一つでも満足しない条件があれば(NG)、ステップS233-2に進み、その直前に行った操作 $u_{kc}(\Delta t)$ をキャンセルする。
- [0140] 以後、上述したLoop1およびLoop2の各処理と同様の処理を繰り返すことによってJ個のループ処理を連続して行う。すなわち、各時間 $3\Delta t, 4\Delta t, \dots$ における操作を動作させた後の物体 O_k が制御条件および移動条件を満たしている限り、Loop4, Loop5, \dots と順次進んでいく。そして、物体 O_k が最後のLoopJに至るまで制御条件および移動条件を満たしている場合には、続くステップS232に進む。ステップS232では、 $t=0$ から $t=T(=J\Delta t)$ に至る1本の軌跡が出力され、記憶部7に記憶、格納される。この軌跡は、図4に示す軌跡 $P_k(m)$ と同様に3次元時空間を通過する。
- [0141] ステップS232に続くステップS233-Jでは、最も遅い時間に動作させた操作 $u_{kc}(T-\Delta t)=u_{kc}((J-1)\Delta t)$ をキャンセルし、LoopJを継続する場合(LoopJ継続)には、再びステップS231-Jに戻る。他方、LoopJを終了する場合(LoopJ終了)には、続くステップS233-(J-1)に進む。
- [0142] ステップS233-(J-1)では、Loop(J-1)で実行した操作 $u_{kc}(T-2\Delta t)$ をキャンセルし、Loop(J-1)を継続する場合(Loop(J-1)継続)、すなわち操作 $u_{kc}(T-2\Delta t)$ として実行すべき要素が残っている場合には、ステップS231-(J-1)に戻って処理を繰り返す。他方、Loop(J-1)を終了する場合(Loop(J-1)終了)、すなわち操作 $u_{kc}(T-2\Delta t)$ として実行すべき要素が残っていない場合には、続くステップS233-(J-2)に進む。
- [0143] 以後、Loop(J-2), \dots , Loop2, Loop1の順で上述したLoopJやLoop(J-1)における処理と同様の処理を繰り返し行う。この結果、最後にステップS233-1でLoop1を終了してステップS24の処理へ進む際には、物体 O_k がとり得る全ての可能な軌跡が生成される。すなわち、図5に示すのと同様の軌跡集合 $\{P_k(n)\}$ が生成される。
- [0144] 次に、ステップS231-1で制御条件および移動条件のいずれか一つが満たされな

い場合(NG)について説明する。この場合には、ステップS233-1に進み、その直前に行った操作 $u_{kc}(0)$ をキャンセルする。この後、Loop1を継続する場合にはステップS231-1に戻り、Loop1を終了する場合には、続くステップS24に進む。

[0145] ステップS231-2, 231-3, ..., S231-Jで選択された操作を動作させた後、物体 O_k が制御条件および移動条件のいずれかを満足しない場合にも、上述したステップS231-1の処理と同様の処理を行う。すなわち、一般にステップS231-j(j=2, 3, ..., J)で物体 O_k が制御条件および移動条件のいずれかを満足しない場合には、ステップS233-jに進み、その直前に行った操作をキャンセルすればよい。このことによつて、ある時間 t_k で条件を満足しない場合には、 t_k 以降の軌跡生成処理を省くことができ、計算量の削減を実現することができる。

[0146] 以上説明した軌跡生成処理のアルゴリズムは、縦型探索に基づいた再帰呼出を用いることによつて全ての可能な操作を探索する際のアルゴリズムに等しい。したがつてこの場合には、一つの物体 O_k に対して最終的に生成される軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の要素数すなわち軌跡の本数は、その物体 O_k に対する軌跡生成処理が終了するまで分からない。

[0147] なお、上述した軌跡生成処理を行う代わりとして、横型探索を用いることによつて全ての可能な操作を探索してもよい。このように、実行可能な操作を全探索することによつて各物体が取りうる軌跡を生成する場合には、操作時間 Δt における操作 $u_{kc}(t)$ の要素の数(操作 $u_{kc}(t)$ が連続量の場合には離散化の度合い)に応じて最適な計算量を有する探索方法を選択すればよい。

[0148] 以上説明したステップS23の軌跡生成処理の後、物体識別用のカウンタ k が K に達していなければ(ステップS24でNo)、そのカウンタの値を1増やし(ステップS25)、ステップS22に戻つてセンサ部3の検知結果に基づく初期化を行い、上述した軌跡生成処理(ステップS23)を別の物体 O_{k+1} に対して行う。他方、物体識別用のカウンタ k が K に達した場合(ステップS24でYes)、所定の範囲に存在する全ての物体に対する軌跡生成処理が終了したことになるので、軌跡生成処理(図2のステップS2に相当)を終了する。この結果、図6に示すのと同様の時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ が形成され、記憶部7において記憶、格納される。

- [0149] この後の処理、すなわち予測部5における物体の進路の確率的な予測(図2のステップS3に相当)および出力部6における予測結果の出力(図2のステップS4に相当)は、上記実施の形態1と同様である。
- [0150] 以上説明した本発明の実施の形態2によれば、物体の位置および当該物体の速度を含む内部状態を記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行うことにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。
- [0151] また、本実施の形態2によれば、時間と空間から構成される時空間上に形成された時空間環境を用いて物体の進路予測を行うことにより、静的物体だけでなく動的物体の進路予測も精度よく行うことができる。
- [0152] ところで、本発明の実施の形態2では、再帰呼出を用いた物体の時空間上での軌跡生成処理を行ったが、上述した実施の形態1における軌跡生成処理と比較した場合、どちらの計算量が少なく済むかは一概にはいえない。換言すれば、如何なるアルゴリズムを用いることによって物体の時空間上の軌跡を生成するかは、操作時間 Δt 、軌跡生成時間T、操作集合の要素数等を含むさまざまな条件に応じて変化する。このため、予測を行う条件に応じて、最も効率がよいアルゴリズムを採用すればよい。
- [0153] (実施の形態3)
- 図12は、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測装置の機能構成を示すブロック図である。同図に示す物体進路予測装置101は、四輪自動車等の移動体に搭載され、特定の物体である自車の周囲の所定範囲に存在する物体を検知し、この検知した物体および自車の進路を予測し、この予測結果に基づいて、特定の物体である自車が取りうる進路と他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に評価する装置である。
- [0154] 物体進路予測装置101は、各種情報が外部から入力される入力部2と、所定の範囲に存在する物体の位置や内部状態を検知するセンサ部3と、センサ部3が検知し

た結果に基づいて、物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成部4と、軌跡生成部4で生成した軌跡を用いて物体の進路の確率的な予測を行う予測部105と、予測部105で予測した結果に基づいて自車を取りうる進路と他の物体を取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出部106と、干渉度算出部106による評価結果を含む各種情報を出力する出力部107と、センサ部3で検知した物体の位置や内部状態を含む各種情報を記憶する記憶部108と、を備える。図12において、上記実施の形態1に係る物体進路予測装置1と同じ機能構成を有する部位については、図1と同じ符号を付してある。

- [0155] 出力部107は、干渉度算出部106による評価結果に応じた画像を表示出力する表示部171と、その評価結果に応じた警告音を発生する警告音発生部172とを有する。このうち、警告音発生部172はスピーカ等を用いて実現される。
- [0156] 記憶部108は、センサ部3での検知結果に加えて、軌跡生成部4で生成された軌跡、予測部105における予測結果、および干渉度算出部106における干渉度算出結果、軌跡生成部4の操作選択部41で選択する操作などを記憶する。
- [0157] 次に、本発明の実施の形態3に係る物体進路予測方法について説明する。図13は、本実施の形態3に係る物体進路予測方法の処理の概要を示すフローチャートである。本実施の形態3においても、予測対象の物体は全て2次元平面上を移動するものと仮定して説明を行う。
- [0158] 本実施の形態3において、物体ごとの位置および内部状態の検知処理(ステップS31)、時空間上での物体ごとの軌跡生成処理(ステップS32)、および軌跡を用いた物体進路の確率的な予測処理(ステップS33)は、上記実施の形態1で説明したステップS1、ステップS2、およびステップS3とそれぞれ同じである。以下の説明において、ステップS32の軌跡生成処理は、上記実施の形態1で説明した操作選択確率に基づく方法で行うものとするが、上記実施の形態2で説明した方法すなわち選択可能な全ての操作を動作させることによって軌跡を生成する方法を採用することも可能である。
- [0159] ところで、ステップS32において時空間上での物体ごとの軌跡生成処理を行う際、

自車が予め設定された場所(目的地もしくは目的地に類する中間的な場所)に到達したか否かではなく、軌跡生成時間Tで予測演算を打ち切る構成とすることは技術思想上重要である。一般に道路上では、事前に安全が保障されている場所はない。例えば、図14に示すように、3車線の道路Rdを走行する自車 O_1 が、予め設定された場所 Q_1, Q_2, Q_3 へ順次到達するとして予測を行うとき、その設定された場所に向けて自車 O_1 が同じ車線をほぼ直進していく場合を考慮に入れると、他車 O_2 は、他車 O_3 が進路 B_3 を取ることによって生じる危険を回避するために、進路 B_2 をとって自車 O_1 が走行している車線に進入してくる恐れがある。このように、従来の進路予測演算では、自車 O_1 が予め設定された場所へ走行するのが安全であるということまでは事前に保証されない。

[0160] 本実施の形態3においては、自車 O_1 が到達すべき目的地等の場所を予め定めることなく、その都度最適な進路を判断しているため、図14と同じ状況下で、例えば図15に示すような進路 B_1 を自車 O_1 の進路として選択することができ、自車 O_1 が走行する際の危険を適確に回避して、安全性を確保することが可能となる。

[0161] なお、軌跡生成時間Tの代わりに、生成すべき軌跡の長さを示す軌跡生成長によって予測計算の打ち切り条件を定めてもよい。この場合、物体の速度(自車の速度でもよい)によって軌跡生成長を適応的に変化させることは好ましい。

[0162] 以下、ステップS34以降の処理について詳述する。ステップS34では、干渉度算出部106で自車と他車との間の干渉度を算出する(ステップS34)。図16は、干渉度算出処理の詳細を示すフローチャートである。本実施の形態3においては、物体 O_1 を自車とする。また、説明の便宜上、その他の物体 O_k ($k=2, 3, \dots, K$)もすべて四輪自動車であるとし、他車 O_k と称する。図16に示す干渉度算出処理は、4つのループ処理から構成されており、ステップS33で求めた自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ の全要素に対して、他車 O_k の全ての軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ との間の干渉度を個別に算出する。

[0163] ステップS34で干渉度算出部106が受け取る入力は、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ 、他車 O_k の全ての軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ 、および自車 O_1 と他車 O_k の干渉度を評価する干渉度評価関数である。なお、本実施の形態3では、干渉度算出部106が干渉度評価関数を内蔵しているものとして説明を行うが、この干渉度評価関数を外部から入力

する構成としてもよい。また、干渉度評価関数を道路の種類や自車 O_1 の速度によって適応的に変化させる構成としてもよい。

[0164] このようにして、他車の軌跡集合と互いの端点異なる自車の軌跡集合との干渉度を評価することにより、図15を用いて説明した場合のように、自車が到達すべき目的地等の場所を予め定めることなく、その都度最適な進路を判断し、自車走行中の危険を適確に回避して、安全性を確保することが可能となる。その結果、図14に示す場合のように、道路上では予め設定された場所に向かって自車が走行しても安全が保障されないという致命的な問題を解決することができる。

[0165] 図16において、干渉度算出部106は、まず、自車 O_1 の全ての軌跡に対する繰り返し処理(Loop1)を開始する(ステップS401)。この際には、軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ の一つの軌跡を選択し、その選択した軌跡に対して後に続く処理を実行する。

[0166] 次に、干渉度算出部106は、他車 O_k に対する繰り返し処理(Loop2)を開始する(ステップS402)。このLoop2では、他車識別用のカウンタ $k=2$ と初期化して、1回ごとの繰り返し処理が終了するたびに k の値を増やしていく。

[0167] Loop2の中では、他車 O_k に対し、ステップS3で生成した軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の全要素に対する繰り返し処理(Loop3)が行われる(ステップS403)。この繰り返し処理においては、Loop1の繰り返しすなわち自車 O_1 に対して生成された軌跡を識別するカウンタ n_1 と他車識別用のカウンタ k とによって定められる干渉度を $r_1(n_1, k)$ とし、この $r_1(n_1, k)$ の値を0とおく(ステップS404)。

[0168] 続いて、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の軌跡 $P_k(n_k)$ との干渉を評価するための繰り返し処理(Loop4)を開始する(ステップS405)。このLoop4では、二つの軌跡 $P_1(n_1)$ と軌跡 $P_k(n_k)$ との同時間における距離を、時間 $t=0, \Delta t, \dots, T$ において順次求める。各軌跡の2次元空間上の位置は、各車両の中心として定義されているため、二つの軌跡の空間的な距離が所定値(例えば車両の標準的な幅や長さ)よりも小さくなった場合、自車 O_1 と他車 O_k は衝突したとみなすことができる。この意味で、二つの車両の座標値が一致しなくても二つの物体が衝突したと判定される場合がある。以後、二つの車両が衝突したとみなし得る距離の最大値(互いに干渉しあう空間的な距離)のことを干渉距離と呼ぶ。

[0169] 図17は、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の軌跡 $P_k(n_k)$ との時空間上での関係を模式的に示す図である。同図に示す場合、軌跡 $P_1(n_1)$ と軌跡 $P_k(n_k)$ とは、2点 C_1 および C_2 で交差している。したがって、この2点 C_1 および C_2 の近傍には、二つの軌跡間の同時間における距離が干渉距離よりも小さい領域 A_1 および A_2 が存在する。すなわち、二つの軌跡 $P_1(n_1)$ および軌跡 $P_k(n_k)$ が領域 A_1 および A_2 内にそれぞれ含まれる時間では、自車 O_1 と他車 O_k とが衝突したという判定がなされる。換言すれば、時間 $t=0, \Delta t, \dots, T$ のうちで、領域 A_1 および A_2 内を通過する数が自車 O_1 と他車 O_k との衝突回数である。

[0170] 図17からも明らかなように、本実施の形態3において形成される時空間環境は、二つの軌跡が一度衝突してもその後の軌跡が生成される。これは、物体ごとの軌跡を独立に生成しているからである。

[0171] 自車 O_1 と他車 O_k の距離を求めた結果、上述した意味において自車 O_1 と他車 O_k が衝突したと判定された場合(ステップS406でYes)、干渉度算出部106は、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値を、
[数5]

$$r_1(n_1, k) \leftarrow r_1(n_1, k) + c_{1k} \cdot p(P_k(n_k)) \cdot F(t) \quad (5)$$

とする(ステップS407)。ここで、第2項目 $c_{1k} \cdot p(P_k(n_k)) \cdot F(t)$ について説明する。係数 c_{1k} は正の定数であり、例えば $c_{1k} = 1$ とおくことができる。また、 $p(P_k(n_k))$ は式(2)で定義される量であり、他車 O_k で1本の軌跡 $P_k(n_k)$ が選ばれる確率である。最後の $F(t)$ は、1回の衝突における物体間の干渉の時間依存性を与える量である。したがって、物体間の干渉に時間依存性を持たせない場合には、 $F(t)$ の値を一定とすればよい。これに対して、物体間の干渉に時間依存性を持たせる場合には、例えば図18に示すように、時間が経過するとともに値が徐々に小さくなっていくような関数として $F(t)$ を定義してもよい。図18に示す $F(t)$ は、より直近の衝突を重要視する場合に適用される。

[0172] ステップS407の後、時間 t が T に達していない場合、干渉度算出部106は、Loop4を繰り返す(ステップS408でNo)。この場合には、 t の値を Δt 増加させ(ステップS4

09)、ステップS405に戻ってLoop4を繰り返す。他方、ステップS407の後、時間 t が T に達している場合には、Loop4を終了する(ステップS408でYes)。なお、ある時間 t で自車 O_1 と他車 O_k が衝突しない場合には、Loop4を繰り返すか否かの判断処理(ステップS408)に直接進む。

[0173] 以上説明したLoop4の繰り返し処理により、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値は、衝突回数が多いほど大きい値となる。このLoop4が終了した後、ステップS410ではLoop3を繰り返すか否かの判断処理を行う。すなわち、他車 O_k に対して生成した軌跡のうち自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ との干渉評価が行われていないものがあれば(ステップS410でNo)、 n_k を $n_k + 1$ とし(ステップS411)、ステップS403に戻ってLoop3を繰り返す。

[0174] これに対して、他車 O_k に対して生成した軌跡のうち自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ との干渉評価が全て行われた場合(ステップS410でYes)には、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の全軌跡との間の干渉を評価する最終的な干渉度 $r_1(n_1, k)$ を付与し(ステップS412)、この付与した値を出力して記憶部108に格納する(ステップS413)。

[0175] ステップS413で干渉度算出部106から出力される最終的な干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値は、他車 O_k の全軌跡中、1本の軌跡 $P_k(n_k)$ が選ばれる確率 $p(P_k(n_k))$ に依存している。このため、式(5)において、係数 c_{1k} を k によらずに一定(例えば $c_{1k} = 1$)とし、 $F(t)$ を定数(例えば1)とおき、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の軌跡 $P_k(n_k)$ との衝突回数を $M_{1k}(n_1, n_k)$ とすると、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値は、軌跡 $P_k(n_k)$ ごとの確率 $p(P_k(n_k))$ を $M_{1k}(n_1, n_k)$ 倍した値を全ての軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の要素について和を取ったものになる。この和は、自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k が取りうる軌跡とが衝突する衝突確率に他ならない。したがって、干渉度 $r_1(n_1, k)$ として最終的に得られる値は、自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k との衝突確率に比例して増加する。

[0176] ステップS413に続いて、干渉度算出部106は、Loop2を繰り返すか否かの判断処理を行う。自車 O_1 との干渉評価を行うべき他車 O_k が残っている場合(ステップS414でNo)、干渉度算出部106は k の値を1増加させ(ステップS415)、ステップS402に戻ってLoop2を繰り返す。他方、自車 O_1 との干渉評価を行うべき他車 O_k が残っていない場合(ステップS414でYes)には、続くステップS416に進む。

- [0177] ステップS416では、Loop1を繰り返すか否かの判断処理が行われる。具体的には、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っている場合(ステップS416でNo)、 n_1 の値を1増加させ(ステップS417)、ステップS401に戻ってLoop1を繰り返す。他方、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っていない場合(ステップS416でYes)、Loop1を終了して干渉度算出処理(ステップS34)を終了する。
- [0178] この後、出力部107は、ステップS34で算出した干渉度に応じた情報を評価結果として出力する(ステップS35)。以下、出力部107の表示部171が、自車 O_1 のフロントガラスFに対して、図7に示すような半透明の重畳表示を行った場合について説明する。この場合の図7は、自車 O_1 および他車 O_2 によって構成された時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ において、自車 O_1 と他車 O_2 との干渉度 $r_1(n_1, 2)$ に応じて、自車 O_1 が2次元平面上で取りうる進路のうち、その干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が予め定めた閾値を超えるような領域を重畳表示した状況を示す図として解釈される。
- [0179] 表示部171は、干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値に応じて照度を変える機能を有している。例えば、干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が大きいほど照度を大きくするように設定したとして、図7に示す二つの領域 D_a と領域 D_b のうち、領域 D_a の照度の方が大きかったとする。この場合、自車 O_1 の運転者は、前方を目視して運転しながらフロントガラスFの重畳表示を参照することにより、干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が相対的に小さい領域 D_b の方に進路を取った方が危険を回避した運転ができることを即座に認識することができる。この認識結果を運転動作に反映させることにより、運転者は、近い将来において自車 O_1 に起こりうる危険を適確に回避することが可能となる。
- [0180] なお、表示部171で表示する以外にも、現在の操作に応じた予想される進路に対応して得られる干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が所定の閾値を超える場合には、警告音発生部172が警告音(音声を含む)を発生してもよい。
- [0181] また、上記実施の形態1と同様、カーナビゲーションシステムの表示画面CN(図8を参照)に表示部171の機能を具備させることにより、干渉度算出部106における干渉評価結果を表示してもよい。
- [0182] 以上説明した本発明の実施の形態3によれば、複数の物体の位置と各物体の速度

を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行い、この予測した結果に基づいて、前記時空間上で前記特定の物体が取りうる軌跡と前記その他の物体が取りうる軌跡との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出することにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0183] また、本実施の形態3によれば、時空間上での衝突確率を用いて定義される干渉度を適用することにより、他の物体との衝突の可能性を実用的な時間の内に適確に判定することができる。

[0184] さらに、本実施の形態3によれば、時間と空間から構成される時空間上に形成された時空間環境を用いて物体の進路予測を行うことにより、静的物体だけでなく動的物体の進路予測も精度よく行うことができる。

[0185] 加えて、本実施の形態3によれば、検知した物体の軌跡を互いに独立に生成しているため、特定の物体(例えば自転車)とその他の物体とを区別することができる。この結果、特定の物体とその他の物体との間で生じうる危険度を容易にかつ適確に予測することが可能となる。

[0186] なお、干渉度 $r_{1_1}(n_1, k)$ の値を増加させる際の式(5)の係数 c_{1k} は定数とは限らない。例えば、係数 c_{1k} を自転車 O_1 と他車 O_k との衝突時点の相対速度の大きさとしてもよい。一般に、相対速度の大きさが大きければ、衝突の際の衝撃は大きくなる。したがって、係数 c_{1k} を車両間の衝突時点での相対速度の大きさとした場合には、干渉度 $r_{1_1}(n_1, k)$ には車両間の衝突の衝撃度が加味されたことになる。

[0187] また、係数 c_{1k} に対して被害の深刻さを示す値を代入してもよい。この場合には、例えば衝突時の車両間の相対速度の大きさを、衝突によって生じる被害規模を数値化して評価する被害規模評価値または衝突によって生じる被害損失額と対応付けて記憶部108で記憶しておき、この記憶した値を記憶部108から読み出して係数 c_{1k} を付

与すればよい。なお、センサ部3が物体の種別までを検知する機能を有している場合には、物体の種別に応じて被害規模評価値または被害損失額を定めておいてもよい。この場合、例えば衝突する相手の物体が人間の場合と車両の場合とでは、人間に衝突したときの係数 c_{1k} の値を他の物体に衝突したときの係数 c_{1k} の値よりも顕著に大きく取っておくなどして、人間と衝突する可能性を極力低くするようにすればより好ましい。

[0188] ところで、本実施の形態3においても、自車 O_1 の操作を維持したとして干渉度を算出してもよい。その場合、出力部107の表示部171では、自車 O_1 の予想進路を表示するとともに、所定の範囲を走行中の他車の危険度を、干渉度の算出結果に応じて表示することも可能である。

[0189] このように、自車 O_1 の操作を維持するモデルを適用すれば、周囲の物体が多い場合などにおいて状況を単純化して予測を行うことが可能となり、軌跡生成部、予測部、および干渉度算出部における計算量を少なくすることができる。

[0190] ここで、上記背景技術で引用した非特許文献1と本実施の形態3との差異について説明する。本実施の形態3では、物体の相関を考慮することなく、物体ごとに独立な進路探索を行っているため、計算量も非特許文献1より少なくて済む。特に、本実施の形態3において、軌跡ごとの干渉度の算出回数は

[数6]

$$n_1 \times \sum_{k=2}^K n_k$$

であり、時空間環境を構成する物体の総数によらず、軌跡の本数の2乗のオーダー程度の計算量で済む。これに対して、非特許文献1において干渉評価を行う場合には、特定の物体(自車)とその他の物体(他車)とを区別していないため、互いの干渉評価を行う際の計算量(本実施の形態1における干渉度の算出回数に相当)が

[数7]

$$n_1 \times \prod_{k=2}^K n_k$$

であり、軌跡の本数のK乗のオーダー程度の計算量が必要になる。この結果、時空間

環境を構成する物体の数が多いほど本実施の形態3の計算量との違いが顕著に大きくなっていく。

[0191] ここで説明した以外の非特許文献1と本実施の形態3との差異は、上記実施の形態1で説明したのと同じである。したがって、非特許文献1から本実施の形態3を想到することは、上記実施の形態1の場合と同様に、たとえ当業者といえども困難を極めるものである。

[0192] (実施の形態4)

本発明の実施の形態4は、干渉評価を行う際の干渉度を、自車と他車との最短衝突時間を用いて定義することを特徴とする。なお、本実施の形態4に係る物体進路予測装置の機能構成は、上述した実施の形態3に係る物体進路予測装置101の機能構成(図12を参照)と同様である。また、本実施の形態4に係る物体進路予測方法は、干渉度算出処理を除いて、上記実施の形態3に係る物体進路予測方法と同じである。

[0193] 図19は、本実施の形態4に係る物体進路予測方法の干渉度算出処理(図13のステップS34に相当)の詳細を示すフローチャートである。本実施の形態4においても、物体 O_1 を自車とする。また、説明の便宜上、その他の物体 O_k ($k=2, 3, \dots, K$)もすべて四輪自動車であるとし、他車 O_k と称する。

[0194] 干渉度算出部106は、まず、自車 O_1 の全ての軌跡に対する繰り返し処理(Loop1)を開始する(ステップS421)。この際には、軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ の一つの軌跡を選択し、その選択した軌跡に対して後に続く処理を実行する。

[0195] 次に、干渉度算出部106は、他車 O_k に対する繰り返し処理(Loop2)を開始する(ステップS422)。このLoop2では、他車識別用のカウンタ $k=2$ と初期化して、1回ごとの繰り返し処理が終了するたびに k の値を増やしていく。

[0196] 干渉度算出部106は、他車 O_k に対しても、ステップS33で生成した軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の全要素に対する繰り返し処理(Loop3)を行う(ステップS423)。この繰り返し処理においては、Loop1の繰り返しすなわち自車 O_1 に対して生成された軌跡を識別するカウンタ n_1 と他車識別用のカウンタ k とによって定められる干渉度を上記実施の形態3と同様に $r_1(n_1, k)$ とおき、この $r_1(n_1, k)$ の値を軌跡生成時間 T とおく(ステップS4

24)。

[0197] 続いて、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の軌跡 $P_k(n_k)$ との干渉を評価するための繰り返し処理(Loop4)を開始する(ステップS425)。このLoop4では、二つの軌跡 $P_1(n_1)$ と軌跡 $P_k(n_k)$ との同時間における距離を、時間 $t=0, \Delta t, \dots, T$ において順次求め、自車 O_1 と他車 O_k の衝突の有無を判定する。この判定を行う際の衝突の定義は、上記実施の形態3と同じであり、自車 O_1 と他車 O_k との距離が干渉距離よりも近づいた場合を衝突と判定する。

[0198] 干渉度算出部106が自車 O_1 と他車 O_k の距離を求めた結果、自車 O_1 と他車 O_k が衝突したと判定した場合(ステップS426でYes)、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値がその時点での時間 t (初期位置から衝突までに要した時間)よりも大きいとき(ステップS427でYes)には、 $r_1(n_1, k)$ の値を t とした後、 t を T とする(ステップS428)。したがって、この場合には、Loop4が終了となる(ステップS429でYes)。

[0199] これに対して、自車 O_1 と他車 O_k は衝突し(ステップS426でYes)、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値がその時点での時間 t 以下である場合(ステップS427でNo)、干渉度算出部106は、ステップS429に進んでLoop4を終了するかどうかを判定する。なお、自車 O_1 と他車 O_k は衝突しない場合(ステップS426でNo)にも、ステップS429に進む。

[0200] ステップS429では、時間 t が T に達していない場合、Loop4が繰り返される(ステップS429でNo)。この場合、干渉度算出部106は、 t の値を Δt 増加させ(ステップS430)、ステップS425に戻ってLoop4を繰り返す。他方、ステップS429で時間 t が T に達している場合、干渉度算出部106は、Loop4を終了する(ステップS429でYes)。

[0201] 以上説明したLoop4の繰り返し処理により、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値は、自車 O_1 と他車 O_k との間で起こる衝突のうち、初期位置から衝突するまでに要する時間が最も短い最短衝突時間となる。

[0202] Loop4が終了した後、干渉度算出部106は、Loop3を繰り返すか否かの判断処理を行う。すなわち、他車 O_k に対して生成した軌跡のうち自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ との干渉評価が行われていないものがあれば(ステップS431でNo)、 n_k を $n_k + 1$ とし(ステップS432)、ステップS423に戻ってLoop3を繰り返す。

[0203] 他方、他車 O_k に対して生成した軌跡のうち自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ との干渉評

価が全て行われた場合(ステップS431でYes)には、他車 O_k の一つの軌跡 $P_k(n_k)$ に対する干渉評価が終了したことになる。したがってこの場合、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の全軌跡との間の干渉を評価する最終的な干渉度 $r_1(n_1, k)$ を付与し(ステップS433)、この付与した値を出力して記憶部108に格納する(ステップS434)。

[0204] 以降のステップS435～S438は、Loop2およびLoop1に対する繰り返しの判定処理に関するものであり、上記実施の形態3で説明した干渉度算出処理におけるステップS414～S417と同じである。

[0205] 以上説明した本発明の実施の形態4によれば、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行い、この予測した結果に基づいて、前記時空間上で前記特定の物体が取りうる軌跡と前記その他の物体が取りうる軌跡との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出することにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0206] また、本実施の形態4によれば、最短衝突時間を用いて定義される干渉度を適用することにより、他の物体との衝突の可能性を実用的な時間の内に適確に判定することができる。

[0207] (実施の形態5)

本発明の実施の形態5は、上記実施の形態3と同様にして得られた自車と他車との干渉度算出結果をまとめることにより、自車と周囲の時空間環境との間の干渉を評価することを特徴とする。なお、本実施の形態5に係る物体進路予測装置の機能構成は、上述した実施の形態3に係る物体進路予測装置101の機能構成(図12を参照)と同様である。また、本実施の形態5に係る物体進路予測方法は、干渉度算出処理を除いて、上記実施の形態3に係る物体進路予測方法と同じである。

[0208] 図20は、本実施の形態5に係る物体進路予測方法の干渉度算出処理(図13のステップS34に相当)の詳細を示すフローチャートである。まず、干渉度算出部106は、自車 O_1 の全ての軌跡に対する繰り返し処理(Loop1)を開始する(ステップS441)。この際には、軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ の一つの軌跡を選択し、その選択した軌跡に対して後に続く処理を実行する。

[0209] 本実施の形態5において、他車 O_k に対する繰り返し処理(Loop2)、他車 O_k の軌跡集合 $\{P_k(n_k)\}$ の全要素に対する繰り返し処理(Loop3)、および自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の軌跡 $P_k(n_k)$ との干渉を評価するための繰り返し処理(Loop4)は、上記実施の形態3と同じである。すなわち、図20に示すステップS442～S455の処理は、上記実施の形態3の干渉度算出処理で説明したステップS402～S415の処理(図16を参照)と同じである。

[0210] 干渉度算出部106は、Loop2の繰り返し処理が終了した後、Loop2～Loop4によって得られた干渉度 $r_1(n_1, k)$ に対して他車 O_k に応じた重み $\alpha(k) (>0)$ を付与し、これらの総和として全体干渉度

[数8]

$$R_1(n_1) = \sum_{k=2}^K \alpha(k) r_1(n_1, k) \quad (6)$$

を算出し、その算出結果を出力して記憶部108に格納する(ステップS456)。ここでの重み $\alpha(k)$ の値は、全て等しく定数(例えば1)としてもよいし、他車 O_k の種別等の条件に応じた値を付与してもよい。この結果、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ が全ての他車 O_2, \dots, O_K を含む周囲の環境全体との間での干渉を評価することが可能となる。

[0211] なお、全体干渉度 $R_1(n_1)$ を、

[数9]

$$R_1(n_1) = \max_k (\alpha(k) r_1(n_1, k)) \quad (7)$$

と定義してもよい。この場合には、最も危険な物体 O_k の危険度を全体干渉度として扱うことになる。式(6)の定義にしたがう場合、自車 O_1 が少数の物体と干渉するが、残り多数の物体とは干渉しないようなシーンの全体干渉度を低く計算してしまう恐れがあ

るため、例えば少数の他車が自車 O_1 が近傍を走行して人の直観では非常に危険に思える状況でも、そのような直観に反して安全と判断されて可能性もある。他方、式(7)のような定義に基づいた干渉評価を行えば、前述したように直観に反して安全と判断してしまう可能性を低減することができる。

[0212] 続いて、干渉度算出部106は、Loop1を繰り返すか否かの判断処理を行う。すなわち、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っている場合(ステップS457でNo)、干渉度算出部106は、 n_1 の値を1増加させ(ステップS458)、ステップS441に戻ってLoop1を繰り返す。他方、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っていない場合(ステップS457でYes)、干渉度算出部106は、Loop1を終了して干渉度算出処理(ステップS34)を終了する。

[0213] 図21は、本実施の形態5に係る物体進路予測方法が適用される時空間環境の構成を模式的に示す図である。同図に示す時空間環境 $Env(P_1, P_2, P_3)$ は、自車 O_1 に対して所定の範囲内に他車が2台存在している場合を示しており、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ を実線で示すとともに、他車 O_2 の軌跡 $P_2(n_2)$ を破線で示し、他車 O_3 の軌跡 $P_3(n_3)$ を太線で示している。このとき、他車 O_2 との干渉度 $r_1(n_1, 2)$ および他車 O_3 との干渉度 $r_1(n_1, 3)$ を個別に扱うのではなく、時空間環境 $Env(P_1, P_2, P_3)$ との間の全体干渉度 $R_1(n_1)$ を用いて干渉評価を行うことにより、自車 O_1 の危険を周囲の環境に応じて回避することができる。

[0214] 以上説明した本発明の実施の形態5によれば、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行い、この予測した結果に基づいて、前記時空間上で前記特定の物体が取りうる軌跡と前記その他の物体が取りうる軌跡との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出することにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0215] また、本実施の形態5によれば、全体干渉度を用いることにより、時空間環境を構成する物体の数が多い場合であっても精度よく干渉評価を行うことができる。

[0216] なお、本実施の形態5においても、衝突によって干渉度 $r_1(n_1, k)$ を増加させる際の係数 c_{1k} や $F(t)$ の値として、上記実施の形態3と同様にさまざまな定義の仕方のいずれかを採用することが可能である。また、干渉度 $r_1(n_1, k)$ を、上記実施の形態4と同様に最短衝突時間によって定義することも可能である。

[0217] 加えて、本実施の形態5において干渉評価を行う際には、全体干渉度 $R_1(n_1)$ と個別の干渉度 $r_1(n_1, k)$ との双方を加味した干渉評価を行うようにしてもよい。

[0218] (実施の形態6)

図22は、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測装置を用いて構成される自動運転システムの機能構成を示すブロック図である。同図に示す自動運転システム1000は、四輪自動車等の移動体に搭載され、特定の物体である自車を取りうる進路とその他の物体(車両、人、障害物等を含む)を取りうる進路とを予測することによって自車が取べき進路を設定する物体進路予測装置201と、物体進路予測装置201で設定された進路を実現する操作信号に応じて自車を操作するアクチュエータ装置211とを備える。

[0219] 物体進路予測装置201は、各種情報が外部から入力される入力部2と、所定の範囲に存在する物体の位置や内部状態を検知するセンサ部3と、センサ部3が検知した結果に基づいて、物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成部4と、軌跡生成部4で生成した軌跡を用いて物体の進路の確率的な予測を行う予測部105と、予測部105で予測した結果に基づいて自車を取りうる進路と他の物体を取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出部106と、干渉度算出部106で算出された干渉度に応じて自車が取べき進路を選択する進路選択部207と、進路選択部207の選択結果に対応する操作信号を生成してアクチュエータ装置211へ送信する操作信号送信部208と、物体進路予測装置201で行われる処理に関する各種情報を出力する出力部209と、センサ部3で検知した物体の位置や内部状態を含む各種情報を記憶する記憶部210と、を備える。図22において、上記実施の形態

3に係る物体進路予測装置101と同じ機能構成を有する部位については、図12と同じ符号を付してある。

[0220] 出力部209は、予測部105、干渉度算出部106、および進路選択部207でそれぞれ行われた処理に関する情報を、画像を含む情報として表示出力する表示部291と、予測部105における予測結果や干渉度算出部106における算出結果等に応じて警告音を発生する警告音発生部292とを有する。

[0221] 記憶部210は、センサ部3での検知結果に加えて、軌跡生成部4で生成された軌跡、予測部105における予測結果、干渉度算出部106における干渉度算出結果、進路選択部207における進路選択結果、および軌跡生成部4の操作選択部41で選択する操作などを記憶する。

[0222] 次に、本発明の実施の形態6に係る物体進路予測方法について説明する。図23は、本実施の形態6に係る物体進路予測方法の処理の概要を示すフローチャートである。本実施の形態6においても、予測対象の物体は全て2次元平面上を移動するものと仮定して説明を行う。

[0223] 本実施の形態6において、物体ごとの位置および内部状態の検知処理(ステップS61)、時空間上での物体ごとの軌跡生成処理(ステップS62)、軌跡を用いた物体進路の確率的な予測処理(ステップS63)、および予測結果に基づく自車と他車との干渉度算出処理(ステップS64)は、上記実施の形態3で説明したステップS31、ステップS32、ステップS33、およびステップS34とそれぞれ同じである。

[0224] 以下、ステップS65以降の処理について詳述する。ステップS65では、ステップS64の干渉度算出処理で算出した干渉度に応じた進路選択処理を行う(ステップS65)。上述したように、自動車等の広範囲を移動する移動体の自動運転技術においては、少なくとも他の動的障害物の影響を考慮しないか、またはその影響を実用上必要とせずに行う経路探索技術に加えて、動的障害物との衝突回避に係る計算を実用的な時間で実現し、走行中の危険を回避するために行う進路算出技術が必要となる。本実施の形態6では、危険を回避するための進路選択処理において二つの評価値を用いる。第1の評価値は、干渉度算出処理で算出した干渉度であり、この干渉度を用いて1回目の進路選択処理を行う。1回目の進路選択処理で複数の進路が選択さ

れた場合には、記憶部210に格納された第2の評価値を用いて2回目の進路選択処理を行う構成をとる。この2回目の進路選択処理では、第2の評価値として、進路が目的地に至る経路に沿った成分を有するという選択基準に加えて、進路をさらに絞るための付加選択基準(後述)を適宜組み合わせることが好ましい。

[0225] このようにして、他車の軌跡集合と互いの端点異なる自車の軌跡集合との干渉度を評価し、この評価した干渉度に応じた進路選択を行うことにより、自車が到達すべき目的地等の場所を予め定めることなく、その都度最適な進路を判断し、自車走行中の危険を適確に回避して、安全性を確保することが可能となる(図15を参照)。その結果、図14に示すような問題、すなわち道路上では予め設定された場所に向かって自車が走行しても安全が保障されないという致命的な問題を解決することができる。

[0226] 図24は、進路選択処理の詳細を示すフローチャートである。図24において、進路選択部207は、干渉度算出処理で算出した干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値が最小の軌跡を選択する(ステップS501)。

[0227] 干渉度 $r_1(n_1, k)$ が最小の軌跡を選択した結果、一つの軌跡のみが残った場合(ステップS502でNo)、進路選択部207は、その選択した軌跡に対応する位置 $(x(t), y(t))$ の履歴、および $t=0\sim T$ の操作系列 $\{u(t)\}$ を記憶部210から読み出し、操作信号送信部208へ出力する(ステップS504)。これに対して、干渉度 $r_1(n_1, k)$ が最小の軌跡を選択した結果、複数の軌跡が残った場合(ステップS502でYes)には、ステップS503に進む。

[0228] ステップS503において、進路選択部207は、進路が目的地にいたる経路に沿った成分を有すること、および予め設定されて記憶部210で記憶されている付加選択基準を用いることにより、ステップS501で選択された複数の軌跡のうち、付加選択基準に最も適合する軌跡を選択する(ステップS503)。付加選択基準としては、軌跡間で重複した値を有する可能性がほとんどないような条件を設定すればよい。

[0229] 以下、付加選択基準の例を挙げる。

(1) 操作後(Δt 後)の自車 O_1 の位置のうち、路幅方向の位置(図4等の x 座標)が走行中の車線の中央に最も近い。この場合、路上で最も好ましい位置を走行する軌跡

が選択される。なお、 $t=0\sim T$ の間最も安定した位置取りを行う軌跡を選択する場合には、 $t=0\sim T$ の各操作後の路幅方向の位置の和が最小となるものを選択するようにしてもよい。

[0230] (2)操作後 (Δt 後)の自車 O_1 の位置のうち、進行方向(図4等のy座標正の方向)の位置が最大。この場合、最速となる軌跡が選択される。なお、 $t=T$ における進行方向の位置が最大である軌跡を選択してもよい。

[0231] (3)初期時刻($t=0$)における加速度の大きさが最小。この場合、加減速が最も滑らかな軌跡が選択される。なお、 $t=0\sim T$ の操作系列において加減速が最も滑らかな軌跡を選択する場合には、 $t=0\sim T$ の各操作後の加速度の大きさの和が最小となるものを選択するようにしてもよい。

[0232] (4)初期時刻($t=0$)における角速度の大きさが最小。この場合、操舵が最も滑らかな軌跡が選択される。なお、 $t=0\sim T$ の操作系列において操舵が最も滑らかな軌跡を選択する場合には、(3)と同様に、 $t=0\sim T$ の各操作後の角速度の大きさの和が最大のものを選択するようにしてもよい。

[0233] 以上説明した進路選択処理によれば、時空間上の軌跡として自車 O_1 の危険を回避する可能性が最も高い軌跡を選択することにより、結果的に自車 O_1 が現実の2次元平面上で取るべき進路を選択したことになる。

[0234] ステップS503でただ一つの軌跡が残った場合、進路選択部207は、上述したステップS504に進む。なお、付加選択基準でも複数の軌跡が残った場合には、例えばカウンタ n_1 や k の値が最小または最大となるものが自動的に選択されるように設定しておけばよい。

[0235] 以上説明した進路選択処理に続いて、操作信号送信部208は、ステップS65の選択結果に応じて出力された軌跡に対応する位置($x(t)$, $y(t)$)の履歴、および $t=0\sim T$ の操作集合 $\{u(t)\}$ に応じた操作信号を生成し、アクチュエータ装置211に対して送信する(ステップS66)。

[0236] ステップS66で操作信号送信部208が生成、送信する操作信号は、アクチュエータ装置211の構成によって異なる。例えば、アクチュエータ装置211がステアリング、アクセル、ブレーキ等の機械的な装置である場合、操作信号送信部208は、進路選択

部207から受信した位置 $(x(t), y(t))$ の履歴、操作 $\{u(t)\}$ をそのまま操作信号として出力すればよい。

[0237] これに対して、アクチュエータ装置211がステアリング、アクセル、ブレーキ等の機械的な装置に操作トルクを加える装置である場合には、上記同様に進路選択部207から受信した位置 $(x(t), y(t))$ の履歴、操作集合 $\{u(t)\}$ をそのまま操作信号として送信してもよいし、それらの機械的な装置に対して操作時に加える操作トルクを算出し、この算出した結果を送信してもよい。前者の場合には、アクチュエータ装置211側で操作トルクが算出されることとなる。

[0238] アクチュエータ装置211が操作トルクを加える装置である場合には、運転者がアクチュエータ装置211よりも大きな操作トルクを加えれば手動運転に切り替えることが可能な構成、すなわち運転者がオーバーライド可能な構成としておけば、自動運転システム1000を運転操作補助装置として適用することもでき、進路選択を行いつつも、運転者の意思を反映した操作を実現することが可能となる。

[0239] なお、センサ部3で自車 O_1 が走行する路面状況も検知し、アクチュエータ装置211に対して路面状況に応じたフィードバック制御を行うようにしてもよい。

[0240] 図25は、出力部209の表示部291における進路選択結果等の表示出力例を示す図であり、二つの自車 O_1 および他車 O_2 によって構成された時空間環境 $Env(P_1, P_2)$ (図6を参照)における進路選択を行った場合の表示出力例を模式的に示す図である。より具体的には、図25では、設定進路を半透明の矢印HによってフロントガラスFに重畳表示するとともに、自車 O_1 と他車 O_2 の干渉度 $r_1(n_1, 2)$ に応じて、自車 O_1 が2次元平面上で取りうる進路のうち、その干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が予め定めた閾値を超えるような領域を物体 O_1 (自車)のフロントガラスFに半透明に重畳表示した場合を図示している。図25に示す場合には、アクチュエータ装置211がステアリングSTに操作トルクを発生させ、設定された進路に進むようにステアリングSTを時計回りに回転させる操作トルクを発生した状況を模式的に示している。

[0241] 図25においても、半透明に表示されている二つの領域 D_a と領域 D_b とは照度が異なっている(ここでは、領域 D_a の照度の方が大きいとする)。かかる照度の違いは干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値の差に対応しており、照度が領域 D_a 付近へ走行する進路を選択し

た方が干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が大きいことを意味している。この意味で、図25は、干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が相対的に小さい領域 D_b の方に進路を取った方が危険を回避した運転ができることを視覚的に表現している。

[0242] なお、表示部291で表示する以外にも、現在の操作に応じた予想される進路に対応して得られる干渉度 $r_1(n_1, 2)$ の値が所定の閾値を超える場合には、警告音発生部292が警告音(音声を含む)を発生してもよい。

[0243] また、出力部209における表示出力例はこれに限られるわけではなく、例えばカーナビゲーションシステムの表示画面CN(図26を参照)に表示部291の機能を具備させることによって設定された進路および干渉評価結果を表示してもよい。この場合には、図26に示すように、設定進路を矢印Hで表示するとともに、表示画面CNに表示される2次元平面上で領域ごとに色の濃淡をつけることによって二つの領域 D_a および D_b の干渉度の違いを表示する。

[0244] 以上説明した本発明の実施の形態6によれば、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行い、この予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出し、この算出した干渉度に応じて前記特定の物体が取るべき進路を実用的な時間の内に選択することにより、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0245] また、本実施の形態6によれば、特定の物体とその他の物体との時空間上での衝突確率を用いて定義される干渉度を適用し、この干渉度が最小であるような時空間上での軌跡を選択することにより、特定の物体が取りうる進路のうち、その他の物体との衝突の可能性が最も低い進路を精度よく設定することができる。

[0246] さらに、本実施の形態6によれば、時間と空間から構成される時空間上に形成され

た時空間環境を用いて物体の進路予測を行うことにより、静的物体だけでなく動的物体の進路予測も精度よく行うことができる。

[0247] 加えて、本実施の形態6によれば、検知した物体の軌跡を互いに独立に生成しているため、特定の物体(例えば自転車)とその他の物体とを区別することができる。この結果、特定の物体とその他の物体との間で生じうる危険度を容易にかつ適確に予測することが可能となる。

[0248] なお、本実施の形態6においても、干渉度 $r_1(n_1, k)$ の値を増加させる際の式(5)の係数 c_{1k} は定数とは限らず、例えば、係数 c_{1k} を自転車 O_1 と他車 O_k との衝突時点の相対速度の大きさとしてもよい。また、係数 c_{1k} に対して被害の深刻さを示す値を代入してもよい。

[0249] また、本実施の形態6においても、自転車 O_1 の操作を維持したとして干渉度を算出してもよい。これにより、周囲の物体が多い場合などにおいて状況を単純化して予測を行うことが可能となり、軌跡生成部、予測部、干渉度算出部、および進路選択部における計算量を少なくすることができる。

[0250] (実施の形態7)

本発明の実施の形態7は、上記実施の形態6と同様にして得られた自転車(特定の物体)と他車との干渉度算出結果をまとめることにより、自転車と周囲の時空間環境との間の干渉を評価し、この評価結果に基づいて自転車が取べき進路を選択することを特徴とする。なお、本実施の形態7に係る物体進路予測装置の機能構成は、上述した実施の形態6に係る物体進路予測装置201の機能構成(図22を参照)と同様である。また、本実施の形態7に係る物体進路予測方法は、干渉度算出処理および進路選択処理を除いて、上記実施の形態6に係る物体進路予測方法と同じである。

[0251] 図27は、本実施の形態7に係る進路設定方法の干渉度算出処理(図23のステップS64に相当)の詳細を示すフローチャートである。まず、干渉度算出部106は、自転車 O_1 の全ての軌跡に対する繰り返し処理(Loop1)を開始する(ステップS461)。この際には、軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ の一つの軌跡を選択し、その選択した軌跡に対して後に続く処理を実行する。

[0252] この後、干渉度算出部106が行うステップS462～S472の処理は、上記実施の形

態4で説明したステップS422～S432の処理と同じである。そこで、以下では、ステップS473以降の処理を説明する。

- [0253] ステップS473は、Loop3の繰り返しが終了した場合(ステップS471でYes)、すなわち、他車 O_k に対して生成した軌跡のうち自車 O_1 の一つの軌跡 $P_1(n_1)$ との干渉評価が全て行われた場合に行われる。このステップS473において、干渉度算出部106は、他車 O_k の一つの軌跡 $P_k(n_k)$ に対する干渉評価が終了したことになる。したがってこの場合、干渉度算出部106は、自車 O_1 の軌跡 $P_1(n_1)$ と他車 O_k の全軌跡との間の干渉を評価する干渉度 $r_1(n_1, k)$ を付与し(ステップS473)、この付与した値を出力して記憶部210に格納する(ステップS474)。
- [0254] この後、干渉度算出部106は、Loop2を繰り返すか否かの判断処理を行う。自車 O_1 との干渉評価を行うべき他車 O_k が残っている場合(ステップS475でNo)には、 k の値を1増加させ(ステップS476)、ステップS462に戻ってLoop2を繰り返す。他方、自車 O_1 との干渉評価を行うべき他車 O_k が残っていない場合(ステップS475でYes)、干渉度算出部106は、Loop2の繰り返しが終了してステップS477に進む。
- [0255] ステップS477において、干渉度算出部106は、Loop2～Loop4によって得られた干渉度 $r_1(n_1, k)$ を用いることにより、式(6)で与えられる全体干渉度 $R_1(n_1)$ を算出し、その算出結果を出力して記憶部210に格納する(ステップS477)。なお、全体干渉度 $R_1(n_1)$ として、式(7)の定義を採用してもよい。
- [0256] 続いて、干渉度算出部106は、Loop1を繰り返すか否かの判断処理を行う。すなわち、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っている場合(ステップS478でNo)、干渉度算出部106は、 n_1 の値を1増加させ(ステップS479)、ステップS461に戻ってLoop1を繰り返す。他方、自車 O_1 の軌跡集合 $\{P_1(n_1)\}$ のうちで干渉評価を行うべき軌跡が残っていない場合(ステップS478でYes)、干渉度算出部106は、Loop1を終了して干渉度算出処理(ステップS64)を終了する。
- [0257] 次に、進路選択処理(図23のステップS65に相当)について説明する。図28は、本実施の形態7に係る物体進路予測方法の進路選択処理の詳細を示すフローチャートである。図28において、進路選択部207は、干渉度算出処理で算出した全体干渉度 $R_1(n_1)$ の値が最大の軌跡を選択する(ステップS511)。

- [0258] 干渉度が最大の軌跡を選択した結果、一つの軌跡のみが残った場合(ステップS512でNo)、進路選択部207は、その選択した軌跡に対応する位置(x(t), y(t))の履歴、およびt=0~Tの操作系列{u(t)}を記憶部210から読み出し、操作信号送信部208へ出力する(ステップS514)。これに対して、干渉度が最大の軌跡を選択した結果、複数の軌跡が残った場合(ステップS512でYes)には、ステップS513に進む。
- [0259] ステップS513において、進路選択部207は、予め設定されて記憶部210で記憶されている付加選択基準を用いることにより、ステップS511で選択された複数の軌跡のうち、付加選択基準に最も適合する軌跡を選択する(ステップS513)。付加選択基準としては、上記実施の形態6と同様の条件を適用すればよい。
- [0260] ステップS513でただ一つの軌跡が残った場合、進路選択部207は、上述したステップS514に進む。なお、付加選択基準でも複数の軌跡が残った場合には、例えばカウンタ n_1 やkの値が最小または最大となるものが自動的に選択されるようにしておけばよい。
- [0261] 以上説明した進路選択処理によれば、時空間上の軌跡として自車 O_1 の危険を回避する可能性が最も高い軌跡を選択することにより、結果的に自車 O_1 が現実の2次元平面上で取るべき進路を選択したことになる。
- [0262] ステップS65の進路選択処理に続く操作信号送信部208の処理(ステップS66)は、上述した実施の形態6と同じである。また、操作信号送信部208から操作信号を受信したアクチュエータ装置211の処理についても、上記実施の形態6と同様である。
- [0263] 以上説明した本発明の実施の形態7によれば、複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成し、この生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行い、この予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度

を算出し、この算出した干渉度に応じて前記特定の物体が取るべき進路を実用的な時間の内に選択することにより、上記実施の形態6と同様に、現実として起こりうる状況下においても安全性の確保を図ることが可能となる。

[0264] また、本実施の形態7によれば、最短衝突時間を用いて定義される干渉度を物体ごとに重み付けして和を取った全体干渉度を適用し、この全体干渉度が最大である時空間上での軌跡を選択することにより、時空間環境を構成する物体の数が多い場合であっても、他の物体との衝突の可能性が最も低い進路を精度よく設定することができる。

[0265] なお、本実施の形態7において、干渉度 $r_1(n_1, k)$ を実施の形態6と同様に定義してもよく、衝突によって干渉度 $r_1(n_1, k)$ を増加させる際の係数 c_{1k} や $F(t)$ の値として、上記実施の形態3と同様にさまざまな定義の仕方のいずれかを採用することが可能である。この場合には、進路選択処理の際に $R_1(n_1)$ が最小となる軌跡を選択すればよい。

[0266] 加えて、本実施の形態7において干渉評価を行う際にも、全体干渉度 $R_1(n_1)$ と個別の干渉度 $r_1(n_1, k)$ との双方を加味した干渉評価を行うようにしてもよい。

[0267] (その他の実施の形態)

ここまで、本発明を実施するための最良の形態として、実施の形態1～7を詳述してきたが、本発明はそれらの実施の形態によってのみ限定されるべきものではない。例えば、本発明に係る物体進路予測方法においては、センサ部で検知した実在の物体に加えて、架空の物体を配置し、この配置した架空の物体の進路予測を行ってもよい。より具体的には、自転車にとって好ましくない挙動を示すような架空の物体モデルを構成し、この物体モデルを所定の位置に配置して進路予測を行ってもよい。このような架空の物体モデルは、例えば遮蔽物等が存在して見通しが悪い交差点付近を走行する車両(自転車)が進路予測を行う場合、その自転車から検知できない位置に配置することによって、交差点から飛び出してくる可能性のある物体との衝突等の危険を予測することが可能となる。なお、架空の物体モデルの情報は予め記憶部で記憶しておき、入力部からの条件設定に応じてかかる物体モデルを所望の位置に配置するようにしてもよい。

[0268] また、本発明に係る物体進路予測装置を、車両のみの走行が前提となる高速道路などの領域で適用する場合には、各車両に車車間通信用の通信手段をあわせて具備させることにより、互いに近くを走行している車両同士が、互いの走行状況を車車間通信によって交換し合うようにしてもよい。この場合には、各車両が操作履歴を各自の記憶部で記憶しておき、その操作履歴に基づいて操作ごとの操作選択確率を付与し、この操作選択確率に関する情報もあわせて他の車両に送信するようにしてもよい。これにより、進路予測の精度が高くなり、走行中の危険を一段と確実に回避することが可能となる。

[0269] さらに、本発明において、GPS (Global Positioning System) を位置検出手段として援用することも可能である。この場合には、GPSが記憶する3次元地図情報を参照することによってセンサ部で検知した物体の位置情報や移動情報の補正を行うことができる。さらには、GPSの出力を相互に通信することによってセンサ部として機能させることも可能である。いずれの場合にも、GPSを援用することによって高精度の進路予測を実現することができ、予測結果の信頼性をさらに向上させることができる。

[0270] なお、本発明は、3次元空間を移動する物体に対しても適用可能である。また、本発明は、一つの物体が複数の自由度を有する場合 (例えば6自由度を有するロボットアームのような物体) にも適用することができる。

[0271] 以上の説明からも明らかなように、本発明は、ここでは記載していないさまざまな実施の形態等を含みうるものであり、特許請求の範囲により特定される技術的思想を逸脱しない範囲内において種々の設計変更等を施すことが可能である。

産業上の利用可能性

[0272] 本発明に係る物体進路予測方法、装置、プログラム、および自動運転システムは、四輪自動車等の移動体の運転時の危険を回避し、安全性を確保するための技術として好適である。

請求の範囲

- [1] 物体の位置と当該物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記物体の進路を予測する物体進路予測方法であって、
前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成ステップと、
前記軌跡生成ステップで生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行う予測ステップと、
を有することを特徴とする物体進路予測方法。
- [2] 前記軌跡生成ステップは、
前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、
前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、
前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、
を含み、
前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする請求項1記載の物体進路予測方法。
- [3] 前記操作選択ステップは、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、
前記判定ステップで判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択ステップに戻ることを特徴とする請求項2記載の物体進路予測方法。
- [4] 前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする請求項3記載の物体進路予測方法。
- [5] 前記軌跡生成ステップで生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴と

する請求項3または4記載の物体進路予測方法。

- [6] 前記判定ステップで判定した結果、前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて再帰呼出を行うことにより、選択可能な全ての操作を動作させることを特徴とする請求項2記載の物体進路予測方法。
- [7] 前記記憶手段は、複数の物体の位置および内部状態を記憶し、
前記軌跡生成ステップは、前記複数の物体の前記時空間における軌跡をそれぞれ生成することを特徴とする請求項1～6のいずれか一項記載の物体進路予測方法。
- [8] 前記予測ステップは、前記複数の物体の中から一つの物体を特定し、この特定した物体以外の物体の前記時空間における存在確率を算出することを特徴とする請求項7記載の物体進路予測方法。
- [9] 前記予測ステップにおける予測結果を含む情報を出力する出力ステップをさらに有することを特徴とする請求項1～8のいずれか一項記載の物体進路予測方法。
- [10] 複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段を備えたコンピュータが、前記複数の物体の進路を予測する物体進路予測方法であって、
前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成する軌跡生成ステップと、
前記軌跡生成ステップで生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の確率的な予測をそれぞれ行う予測ステップと、
前記予測ステップで予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出ステップと、
を有することを特徴とする物体進路予測方法。
- [11] 前記干渉度算出ステップは、
前記特定の物体と前記その他の物体の各々が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各

々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする請求項10記載の物体進路予測方法。

[12] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体の前記時空間上での衝突確率に比例して増加させることを特徴とする請求項11記載の物体進路予測方法。

[13] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに比例して増加させることを特徴とする請求項11記載の物体進路予測方法。

[14] 前記記憶手段は、異なる物体間の衝突時の相対速度の大きさと当該衝突によって生じる被害の規模を評価する被害規模評価値または当該衝突によって生じる被害損失額とを対応付けて記憶し、

前記干渉度算出ステップは、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づいたとき、この両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに応じた前記被害規模評価値または前記被害損失額を前記記憶手段から読み出し、当該両物体間の前記干渉度を前記被害規模評価値または前記被害損失額に比例して増加させることを特徴とする請求項11記載の物体進路予測方法。

[15] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づくまでに各物体の初期位置から要した時間が当該両物体間の前記干渉度の値よりも小さい場合には、前記初期位置から要した時間を前記干渉度の値とすることを特徴とする請求項11記載の物体進路予測方法。

[16] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取るこ

とを特徴とする請求項11～15のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

- [17] 前記軌跡生成ステップは、
前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、
前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、
前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、
を含み、
前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする請求項10～16のいずれか一項記載の物体進路予測方法。
- [18] 前記操作選択ステップは、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、
前記判定ステップで判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択ステップに戻ることを特徴とする請求項17記載の物体進路予測方法。
- [19] 前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする請求項18記載の物体進路予測方法。
- [20] 前記軌跡生成ステップで生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする請求項18または19記載の物体進路予測方法。
- [21] 前記干渉度算出ステップで算出した干渉度に応じた情報を入力する出力ステップをさらに有することを特徴とする請求項10～20のいずれか一項記載の物体進路予測方法。
- [22] 前記干渉度算出ステップで算出した干渉度に応じて、前記複数の物体に含まれる特定の物体が取るべき進路を選択する進路選択ステップ
をさらに有することを特徴とする請求項10記載の物体進路予測方法。
- [23] 前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど小さい値を有し、

前記進路選択ステップは、前記干渉度が最小の進路を選択することを特徴とする請求項22記載の物体進路予測方法。

[24] 前記進路選択ステップは、

前記干渉度が最小の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする請求項23記載の物体進路予測方法。

[25] 前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど大きい値を有し、

前記進路選択ステップは、前記干渉度が最大の進路を選択することを特徴とする請求項22記載の物体進路予測方法。

[26] 前記進路選択ステップは、

前記干渉度が最大の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする請求項25記載の物体進路予測方法。

[27] 前記進路選択ステップで選択した進路の位置の履歴および当該進路を実現する操作系列に応じた操作信号を生成し、この生成した操作信号を外部に送信する操作信号送信ステップをさらに有することを特徴とする請求項23～26のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

[28] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体の各々同士が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする請求項22～27のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

[29] 前記干渉度算出ステップは、

前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることとを特徴とする請求項22～28のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

[30] 前記軌跡生成ステップは、

前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択ステップと、

前記操作選択ステップで選択した操作を所定時間動作させる物体操作ステップと、
前記物体操作ステップで前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定ステップと、
を含み、

前記操作選択ステップから前記判定ステップに至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする請求項22～29のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

[31] 前記進路選択ステップで選択した進路に関する情報を出力する出力ステップをさらに有することを特徴とする請求項22～30のいずれか一項記載の物体進路予測方法。

[32] 物体の位置と当該物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段と、
前記物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記物体が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡として生成する軌跡生成手段と、

前記軌跡生成手段で生成した軌跡を用いることによって前記物体の進路の確率的な予測を行う予測手段と、
を備えたことを特徴とする物体進路予測装置。

[33] 前記軌跡生成手段は、
前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、
前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、
前記物体操作手段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、
を含み、

前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴と

する請求項32記載の物体進路予測装置。

[34] 前記操作選択手段は、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、

前記判定手段で判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択手段による操作選択処理に戻ることを特徴とする請求項33記載の物体進路予測装置。

[35] 前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする請求項34記載の物体進路予測装置。

[36] 前記軌跡生成手段で生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする請求項34または35記載の物体進路予測装置。

[37] 前記判定手段で判定した結果、前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて再帰呼出を行うことにより、選択可能な全ての操作を動作させることを特徴とする請求項33記載の物体進路予測装置。

[38] 前記記憶手段は、複数の物体の位置および内部状態を記憶し、

前記軌跡生成手段は、前記複数の物体の前記時空間における軌跡をそれぞれ生成することを特徴とする請求項32～37のいずれか一項記載の物体進路予測装置。

[39] 前記予測手段は、前記複数の物体の中から一つの物体を特定し、この特定した物体以外の物体の前記時空間における存在確率を算出することを特徴とする請求項38記載の物体進路予測装置。

[40] 前記予測手段による予測結果を含む情報を出力する出力手段をさらに備えたことを特徴とする請求項32～39のいずれか一項記載の物体進路予測装置。

[41] 複数の物体の位置と各物体の速度を含む内部状態とを少なくとも記憶する記憶手段と、

前記複数の物体の位置および内部状態を前記記憶手段から読み出し、この読み出した前記物体の位置および内部状態に基づいて、前記複数の物体の各々が時間の経過とともに取りうる位置の変化を時間および空間から構成される時空間上での軌跡としてそれぞれ生成する軌跡生成手段と、

前記軌跡生成手段で生成した軌跡を用いることによって前記複数の物体の進路の

確率的な予測をそれぞれ行う予測手段と、

前記予測手段で予測した結果に基づいて、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度を定量的に示す干渉度を算出する干渉度算出手段と、

を備えたことを特徴とする物体進路予測装置。

[42] 前記干渉度算出手段は、

前記特定の物体と前記その他の物体の各々同士が互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする請求項41記載の物体進路予測装置。

[43] 前記干渉度算出手段は、

前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体同士が前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体の前記時空間上での衝突確率に比例して増加させることを特徴とする請求項42記載の物体進路予測装置。

[44] 前記干渉度算出手段は、

前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体同士が前記干渉距離よりも近づいたとき、この近づいた両物体間の前記干渉度の値を当該両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに比例して増加させることを特徴とする請求項42記載の物体進路予測装置。

[45] 前記記憶手段は、異なる物体間の衝突時の相対速度の大きさと当該衝突によって生じる被害の規模を評価する被害規模評価値または当該衝突によって生じる被害損失額とを対応付けて記憶し、

前記干渉度算出手段は、前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体同士が前記干渉距離よりも近づいたとき、この両物体が近づいた時点での相対速度の大きさに応じた前記被害規模評価値または前記被害損失額を前記記憶手段から読み出し、当該両物体間の前記干渉度を前記被害規模評価値または前記被害損失額に比例して増加させることを特徴とする請求項42記載の物体進路予測

装置。

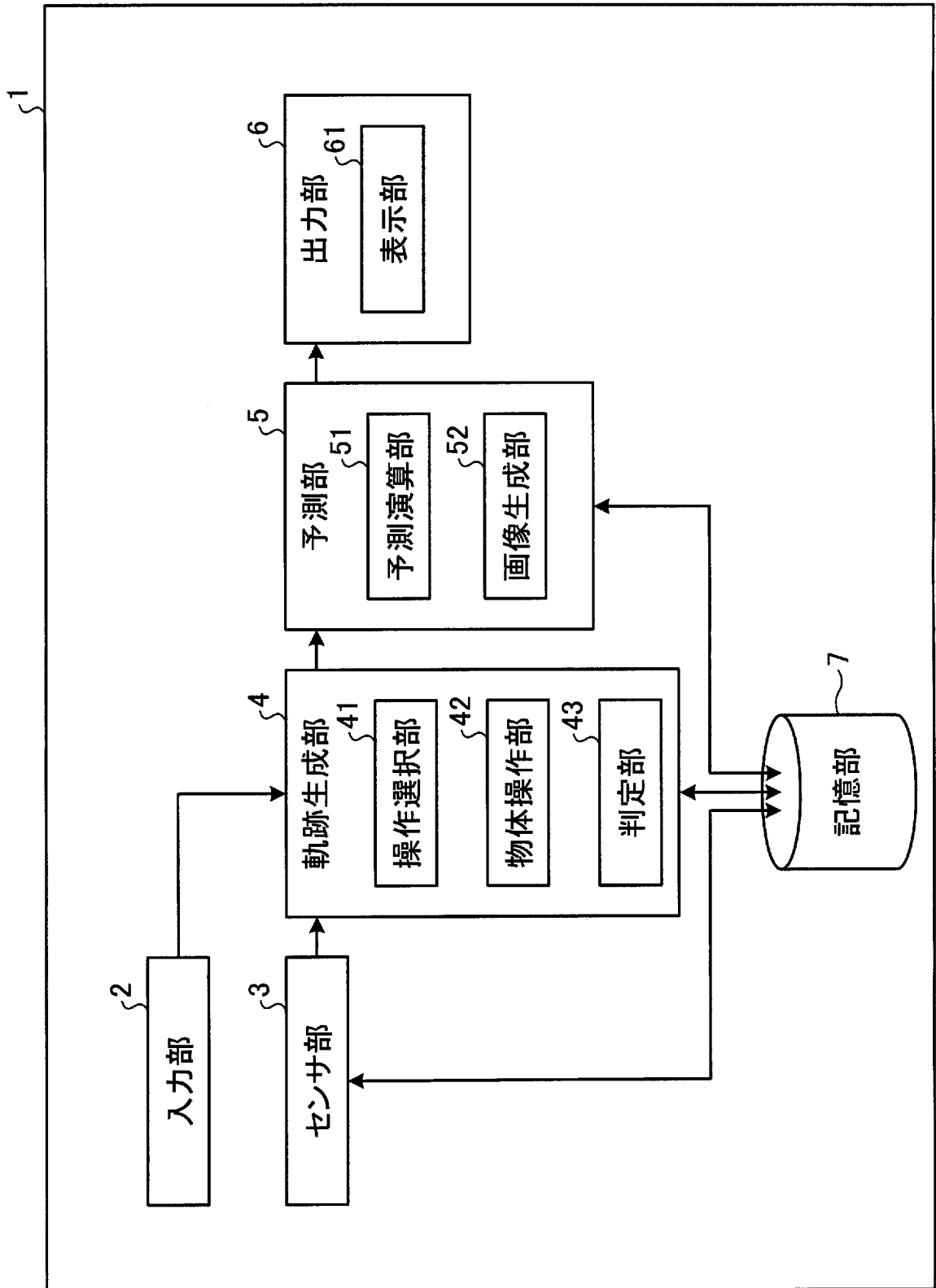
- [46] 前記干渉度算出手段は、
前記特定の物体と前記その他の物体のうちのいずれか一つの物体とが前記干渉距離よりも近づくまでに各物体の初期位置から要した時間が当該両物体間の前記干渉度の値よりも小さい場合には、前記初期位置から要した時間を前記干渉度の値とすることを特徴とする請求項42記載の物体進路予測装置。
- [47] 前記干渉度算出手段は、
前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ることとを特徴とする請求項42～46のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [48] 前記軌跡生成手段は、
前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、
前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、
前記物体操作手段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、
を含み、
前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴とする請求項41～47のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [49] 前記操作選択手段は、前記複数の操作の各々に付与された操作選択確率にしたがって操作を選択し、
前記判定手段で判定した結果、前記物体の位置および内部状態が前記制御条件および前記移動条件を満たしている場合には、時間を進めて前記操作選択手段による操作選択処理に戻ることを特徴とする請求項48記載の物体進路予測装置。
- [50] 前記操作選択確率は、乱数を用いて定義されることを特徴とする請求項49記載の物体進路予測装置。
- [51] 前記軌跡生成手段で生成すべき軌跡の数が予め定められていることを特徴とする請求項49または50記載の物体進路予測装置。

- [52] 前記干渉度算出手段で算出した干渉度に応じた情報を出力する出力手段をさらに備えたことを特徴とする請求項41～51のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [53] 前記干渉度算出手段で算出した干渉度に応じて前記特定の物体が取るべき進路を選択する進路選択手段
をさらに備えたことを特徴とする請求項41記載の物体進路予測装置。
- [54] 前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど小さい値を有し、
前記進路選択手段は、前記干渉度が最小の進路を選択することを特徴とする請求項53記載の物体進路予測装置。
- [55] 前記進路選択手段は、
前記干渉度が最小の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする請求項54記載の物体進路予測装置。
- [56] 前記干渉度は、前記特定の物体が取りうる進路と前記その他の物体が取りうる進路との干渉の程度が小さいほど大きい値を有し、
前記進路選択手段は、前記干渉度が最大の進路を選択することを特徴とする請求項53記載の物体進路予測装置。
- [57] 前記進路選択手段は、
前記干渉度が最大の進路が複数ある場合、この複数の進路の中から所定の付加選択基準に最も適合する進路を選択することを特徴とする請求項56記載の物体進路予測装置。
- [58] 前記進路選択手段で選択した進路の位置の履歴および当該進路を実現する操作系列に応じた操作信号を生成し、この生成した操作信号を外部に送信する操作信号送信手段をさらに備えたことを特徴とする請求項54～57のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [59] 前記干渉度算出手段は、
前記特定の物体と前記その他の物体の各々とは互いに干渉しあう空間的な距離である干渉距離よりも近づく回数に応じて、前記特定の物体と前記その他の物体の各

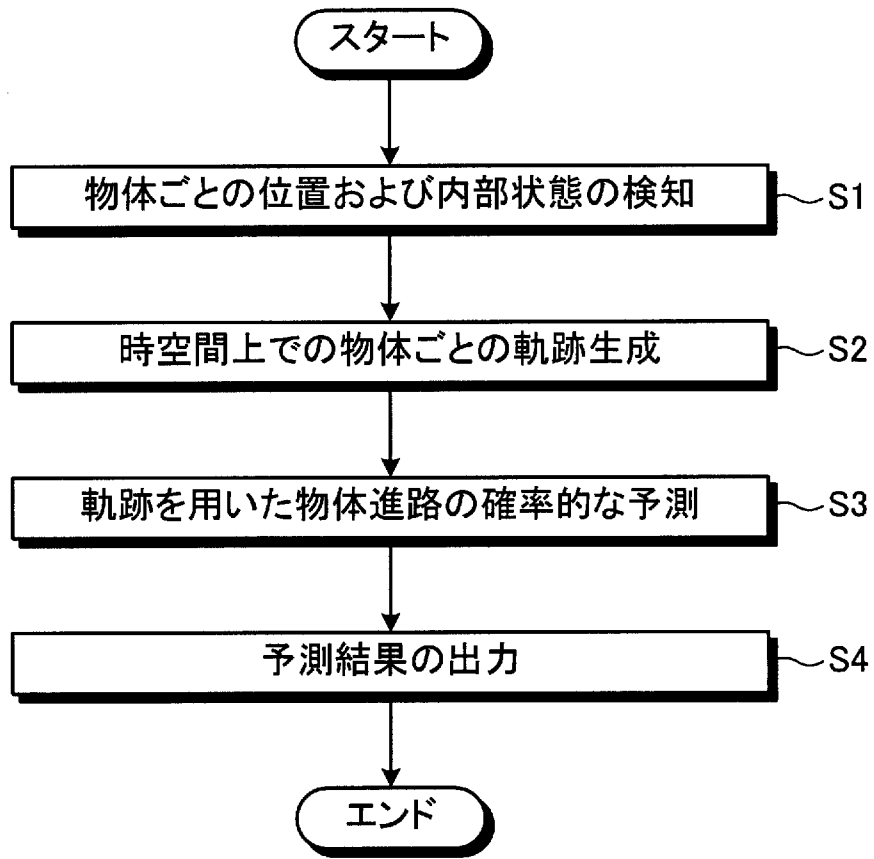
々との間の前記干渉度の値を所定量だけ増加または減少させることを特徴とする請求項53～58のいずれか一項記載の物体進路予測装置。

- [60] 前記干渉度算出手段は、
前記特定の物体と前記その他の物体との各干渉度の値を重み付けして和を取ること
を特徴とする請求項53～59のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [61] 前記軌跡生成手段は、
前記物体に対する操作を複数の操作から選択する操作選択手段と、
前記操作選択手段で選択した操作を所定時間動作させる物体操作手段と、
前記物体操作手段で前記選択した操作を動作させた後の前記物体の位置および
内部状態が当該物体の制御に関する制御条件および当該物体の移動可能領域に
関する移動条件を満たしているか否かを判定する判定手段と、
を含み、
前記操作選択手段による操作選択処理から前記判定手段による判定処理に至る
一連の処理を、軌跡を生成する軌跡生成時間に達するまで繰り返し行うことを特徴と
する請求項53～60のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [62] 前記進路選択手段で選択した進路に関する情報を出力する出力手段をさらに有
することを特徴とする請求項53～61のいずれか一項記載の物体進路予測装置。
- [63] 請求項1～31のいずれか一項記載の物体進路予測方法を前記コンピュータに実
行させることを特徴とする物体進路予測プログラム。
- [64] 車両に搭載されて当該車両を自動的に運転する自動運転システムであって、
請求項53～62のいずれか一項記載の物体進路予測装置と、
前記物体進路予測装置が備える前記進路選択手段で選択された進路を実現する
操作信号に応じて当該車両を操作するアクチュエータ装置と、
を備えたことを特徴とする自動運転システム。

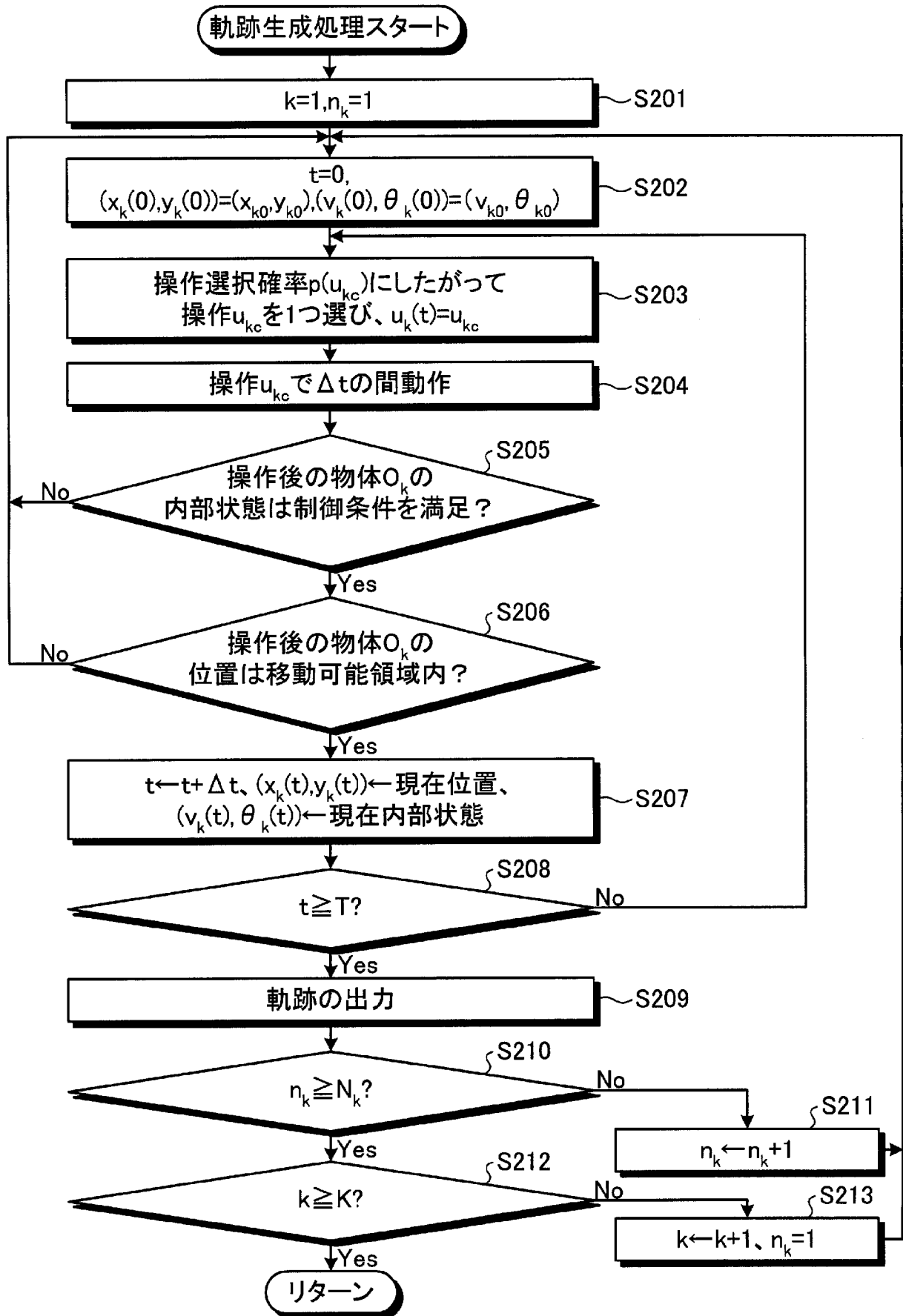
[図1]



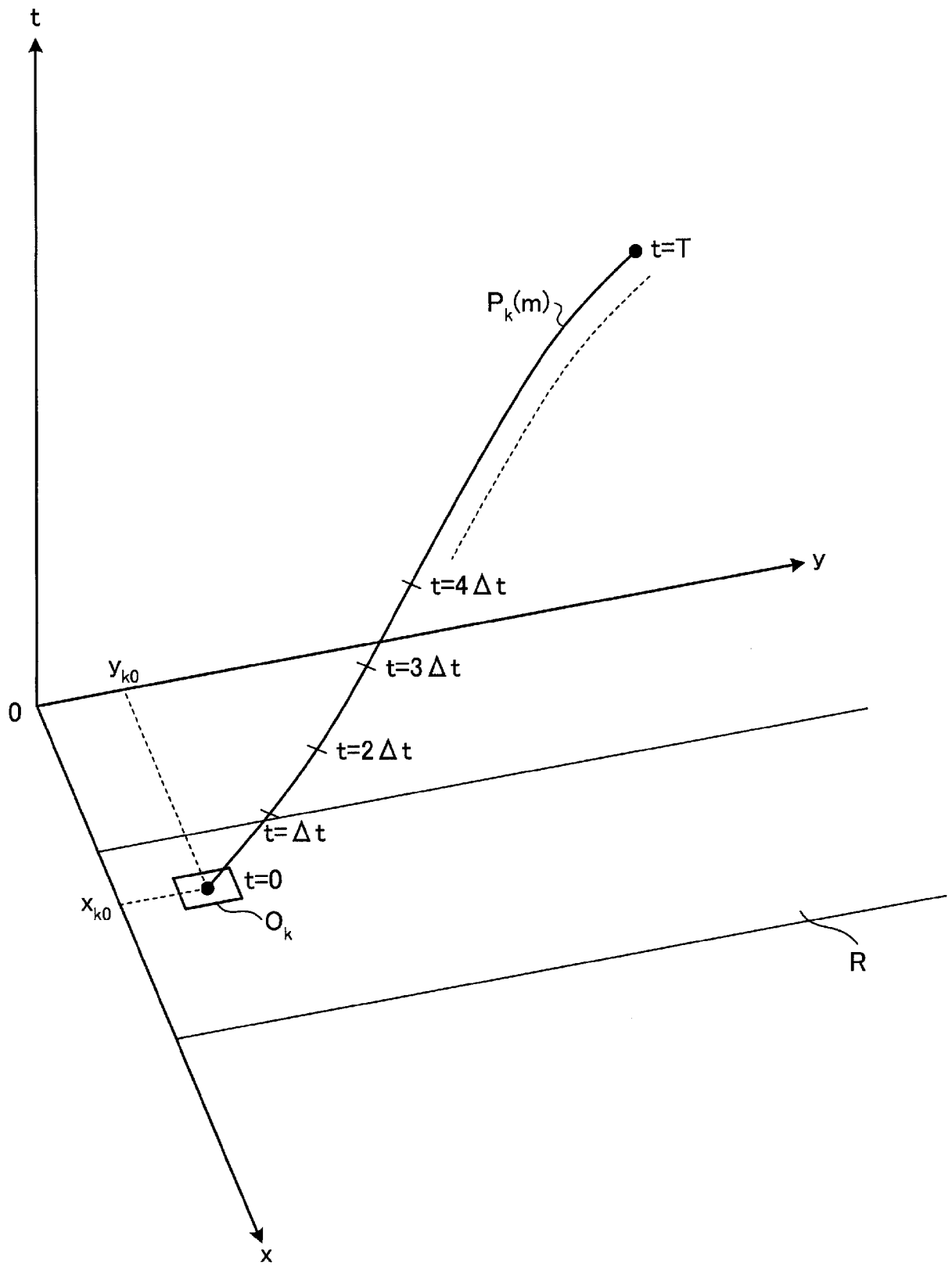
[図2]



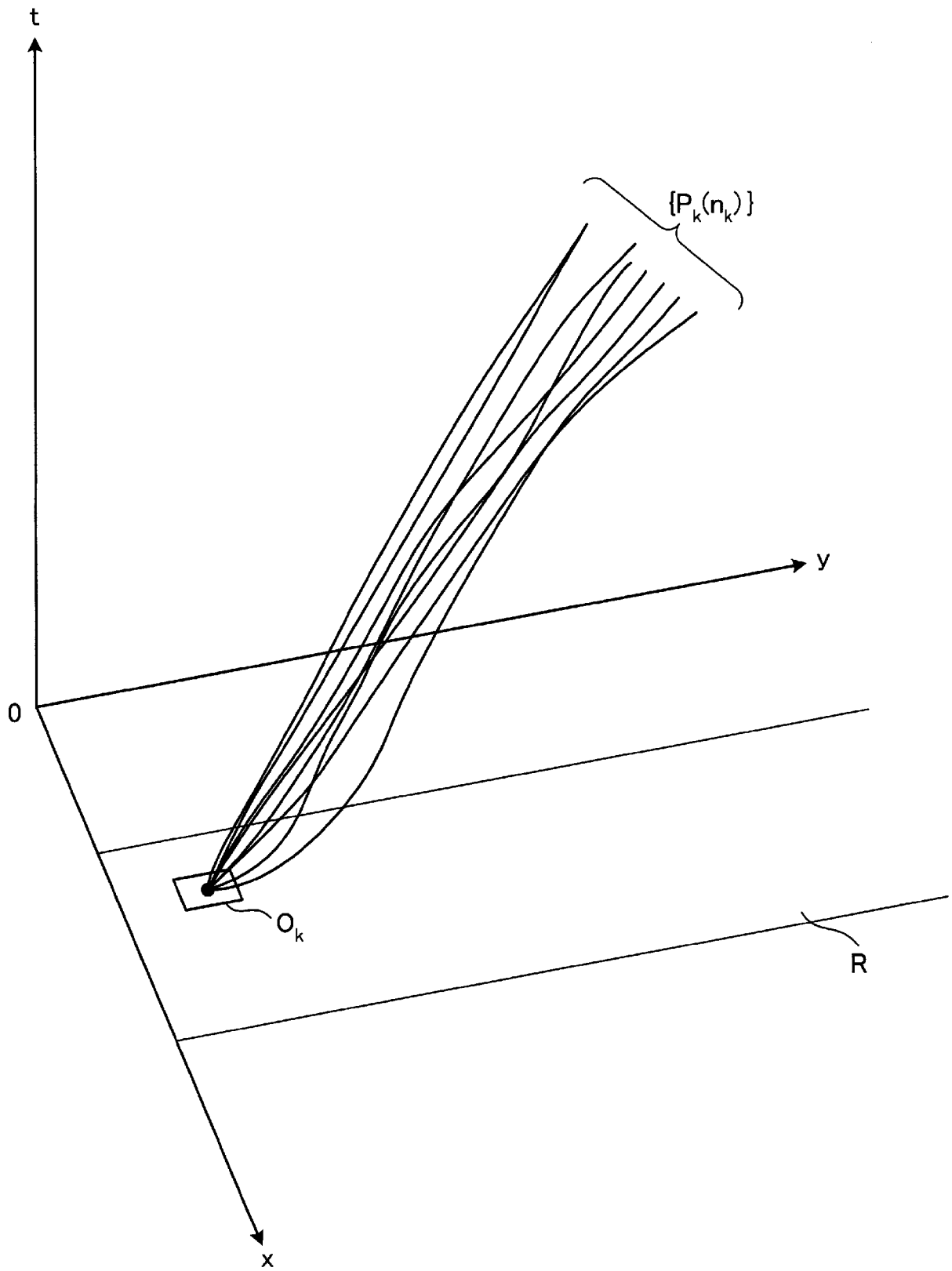
[図3]



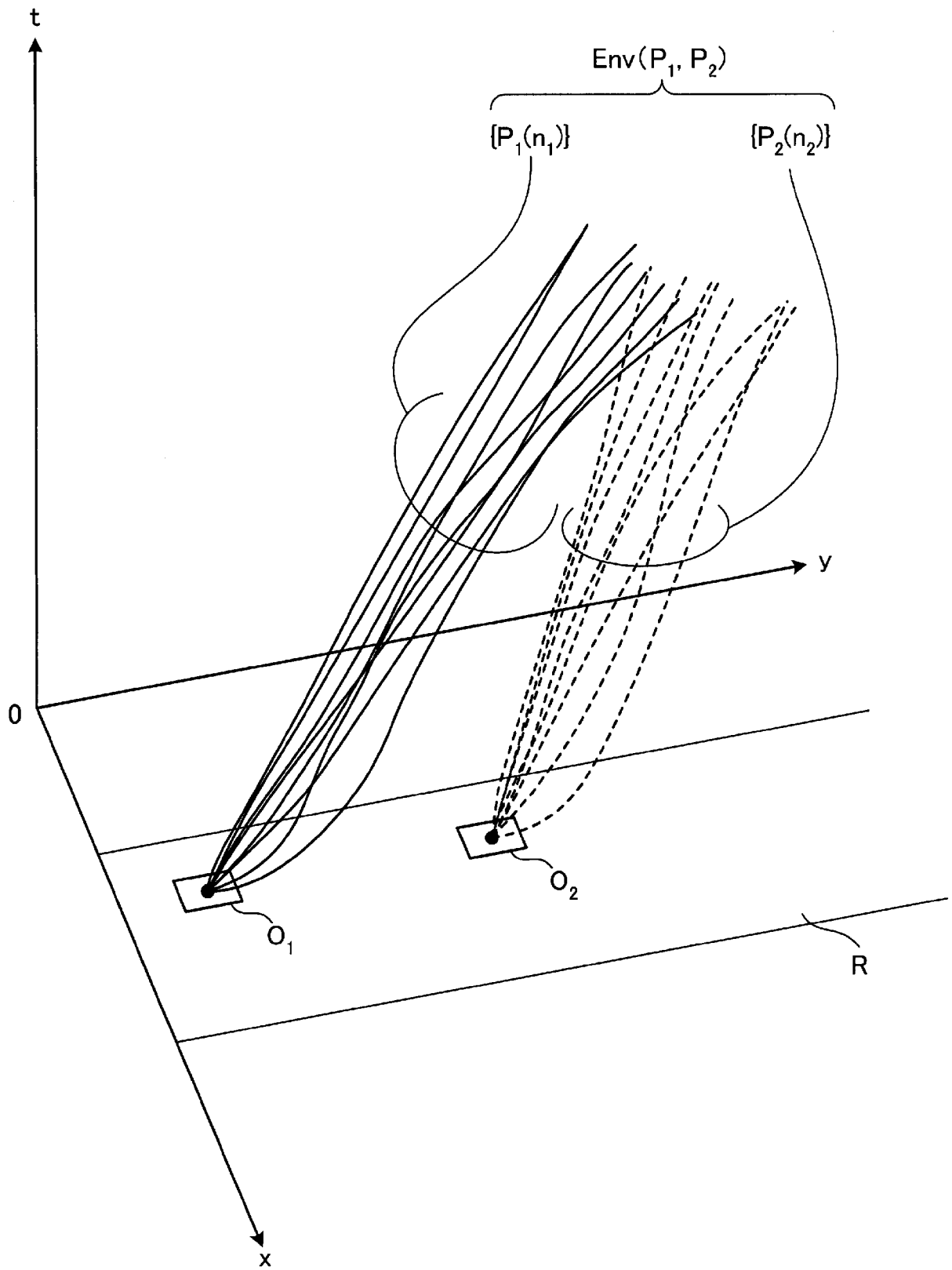
[図4]



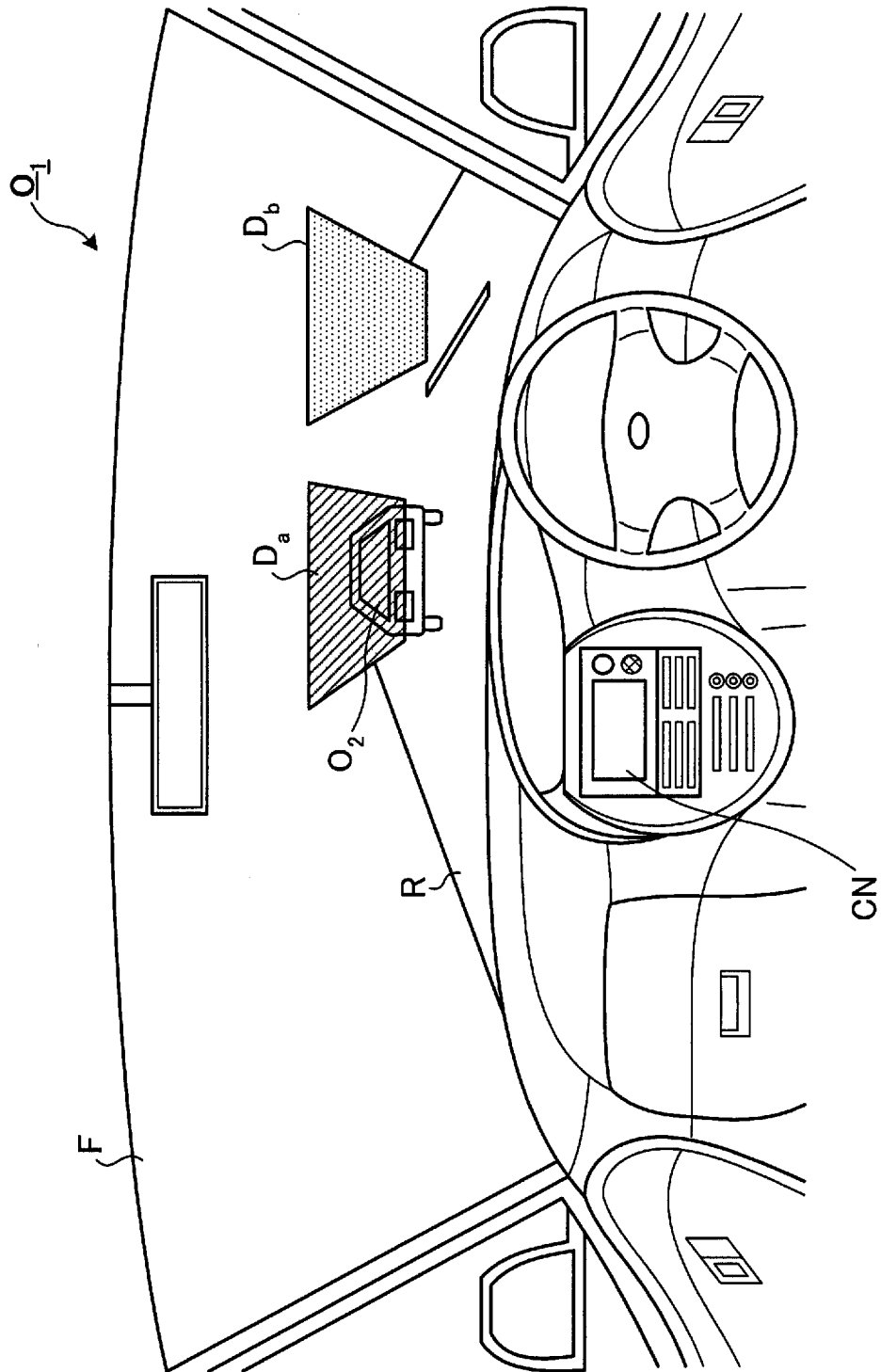
[図5]



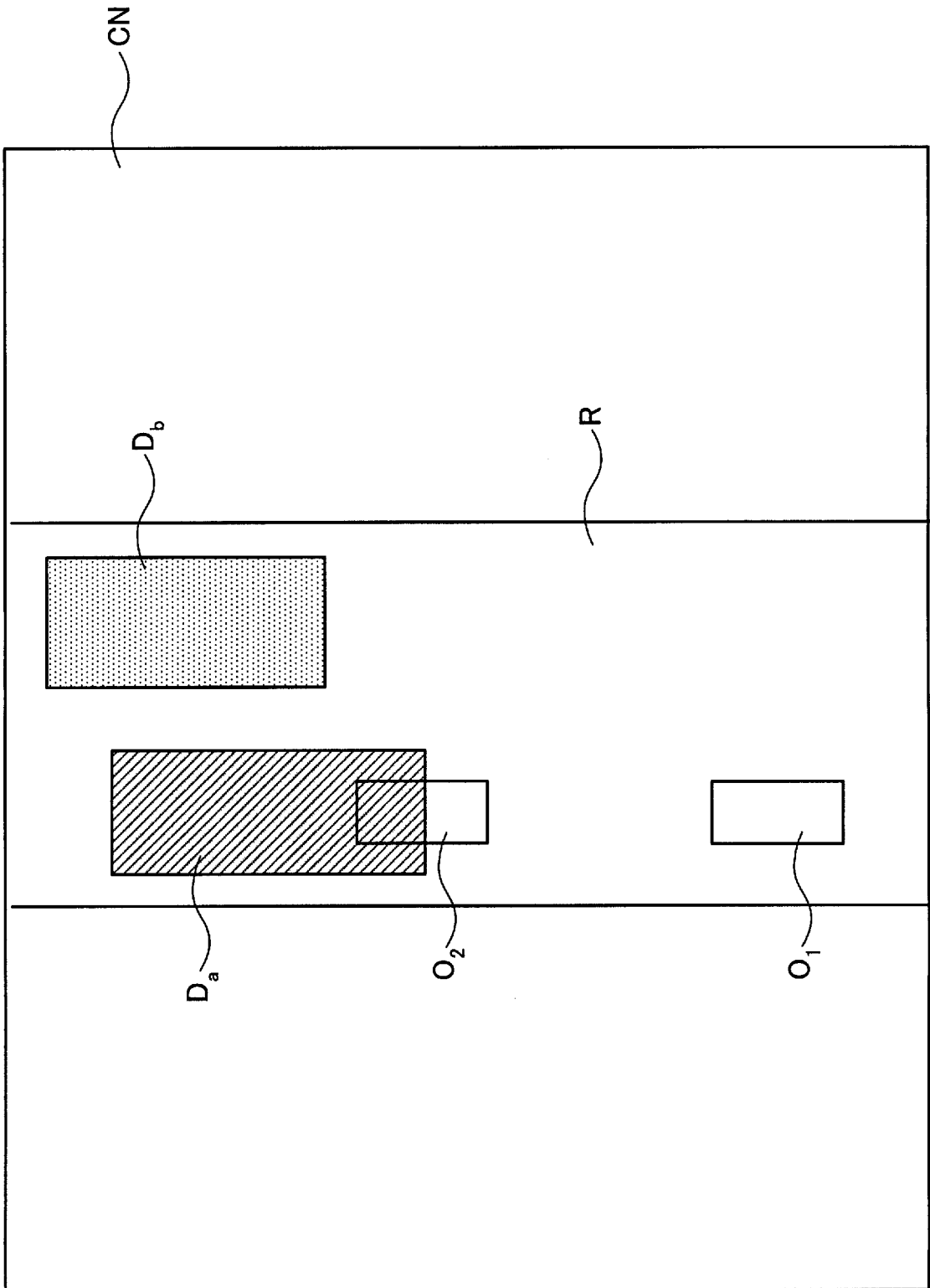
[図6]



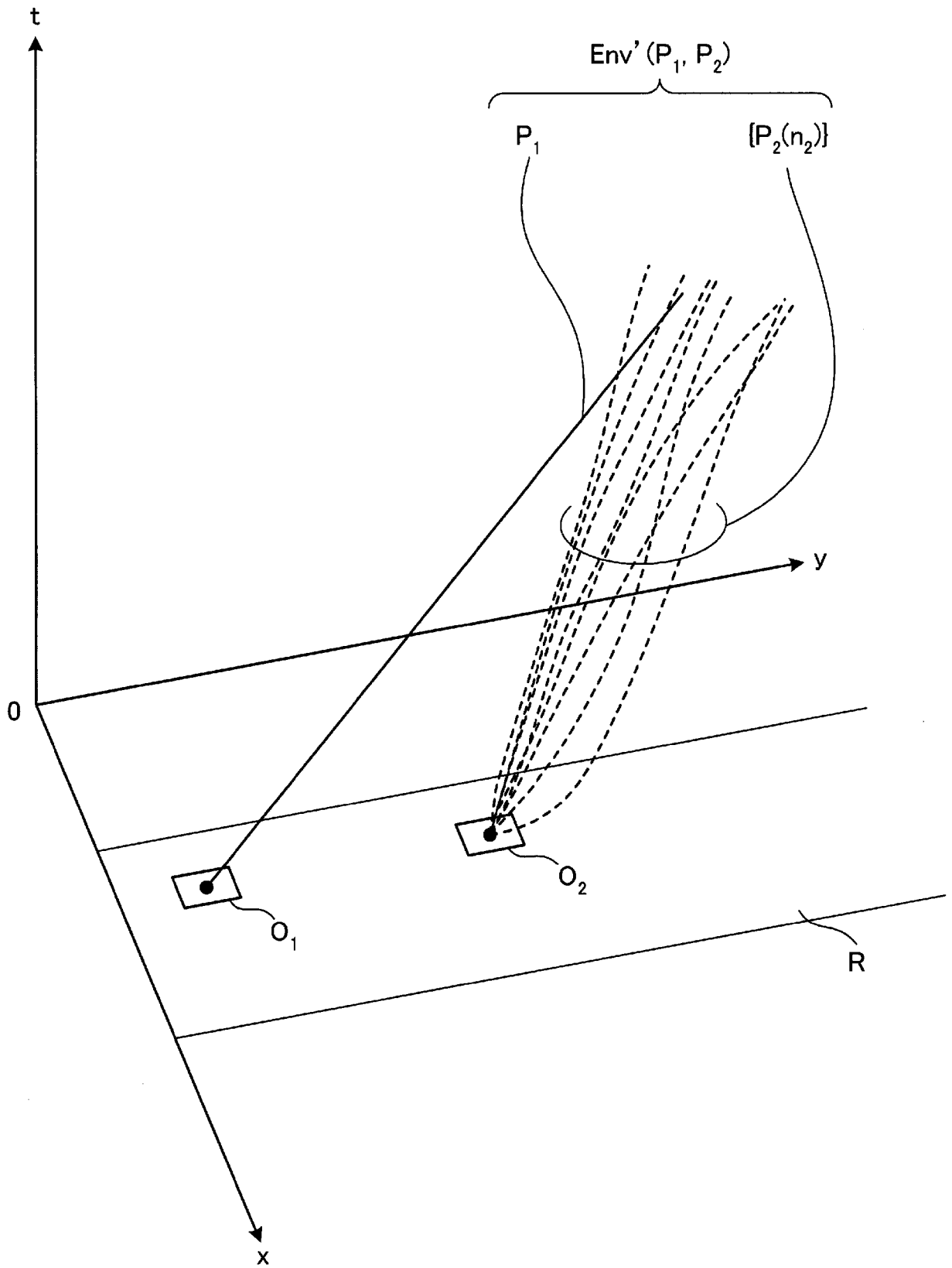
[図7]



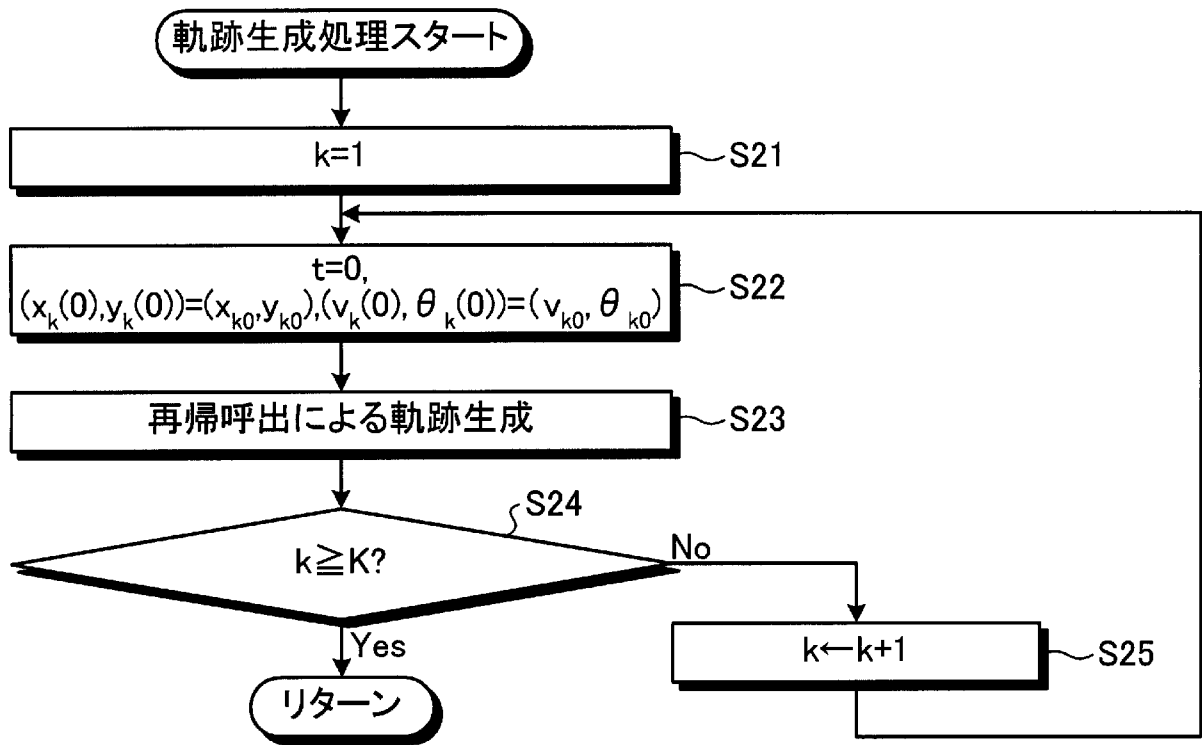
[図8]



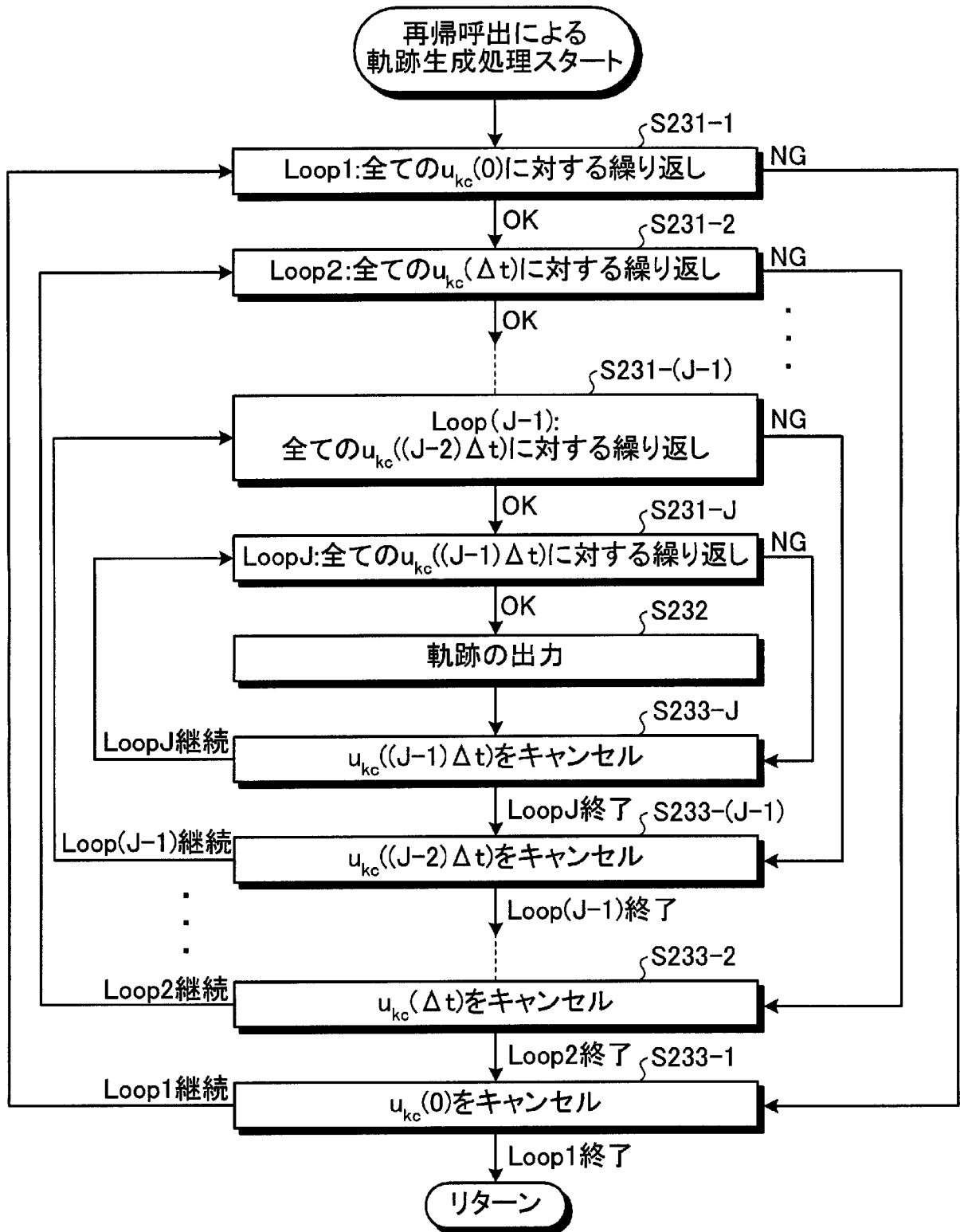
[図9]



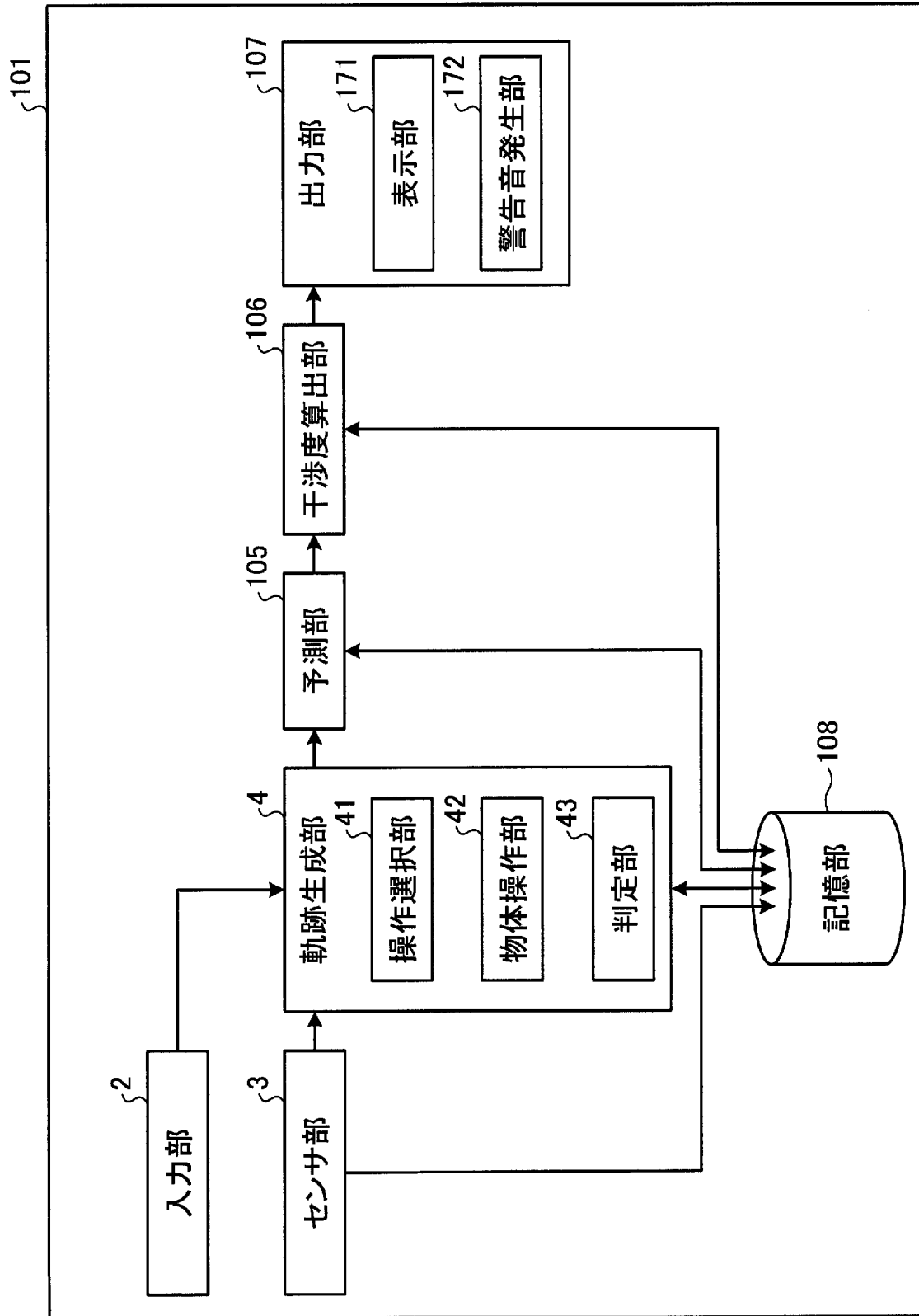
[図10]



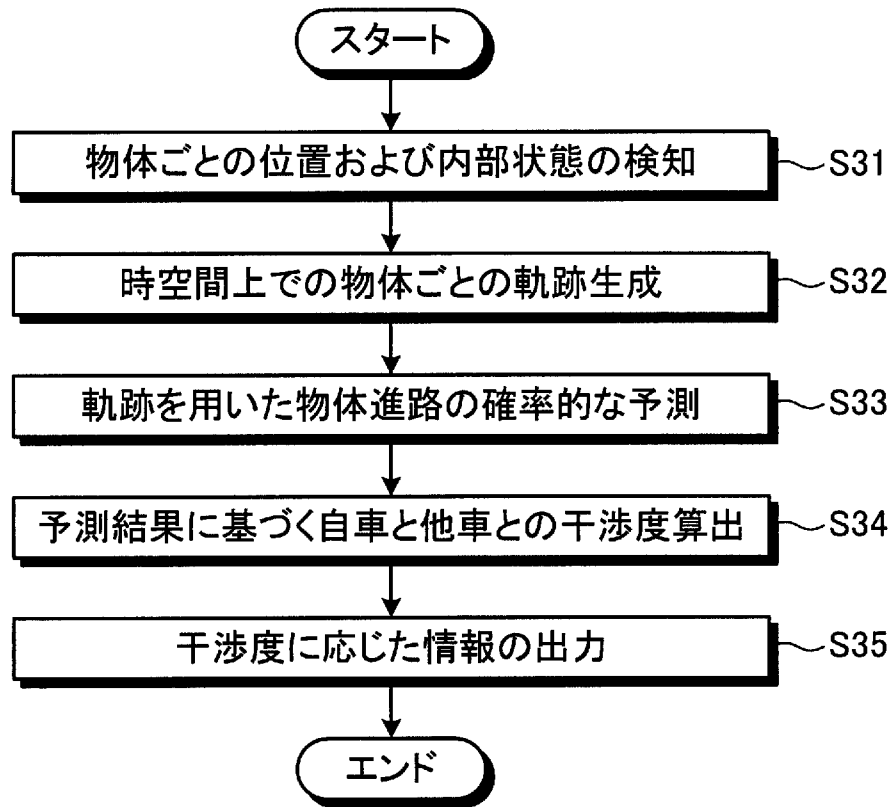
[図11]



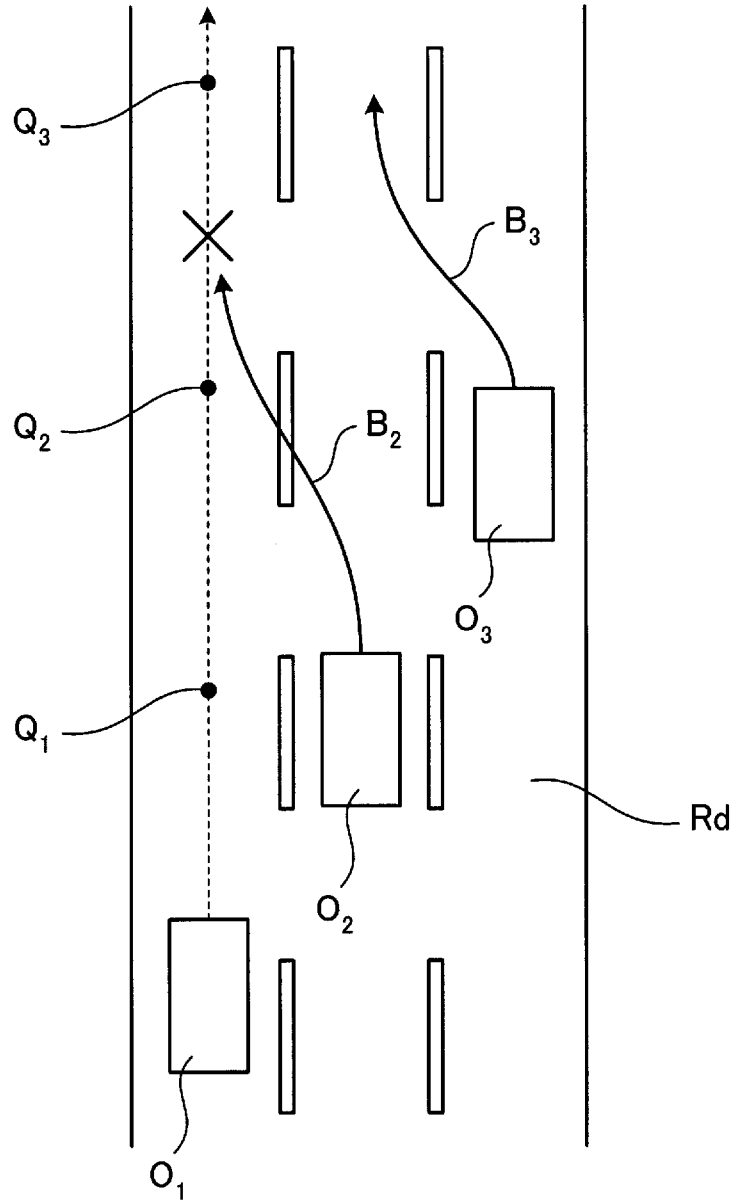
[図12]



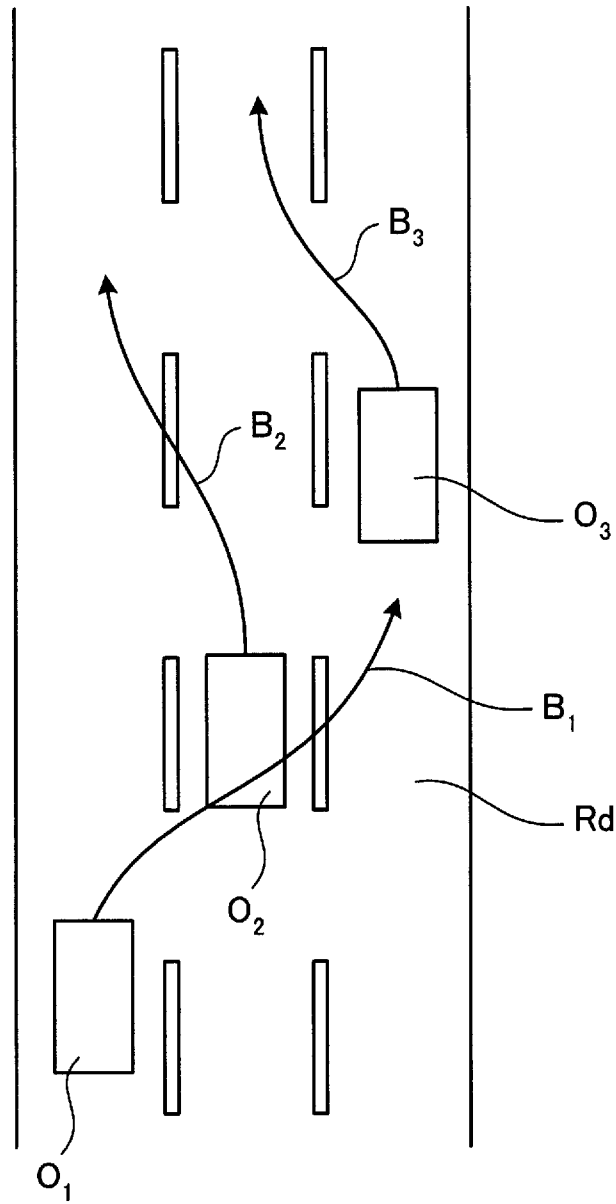
[図13]



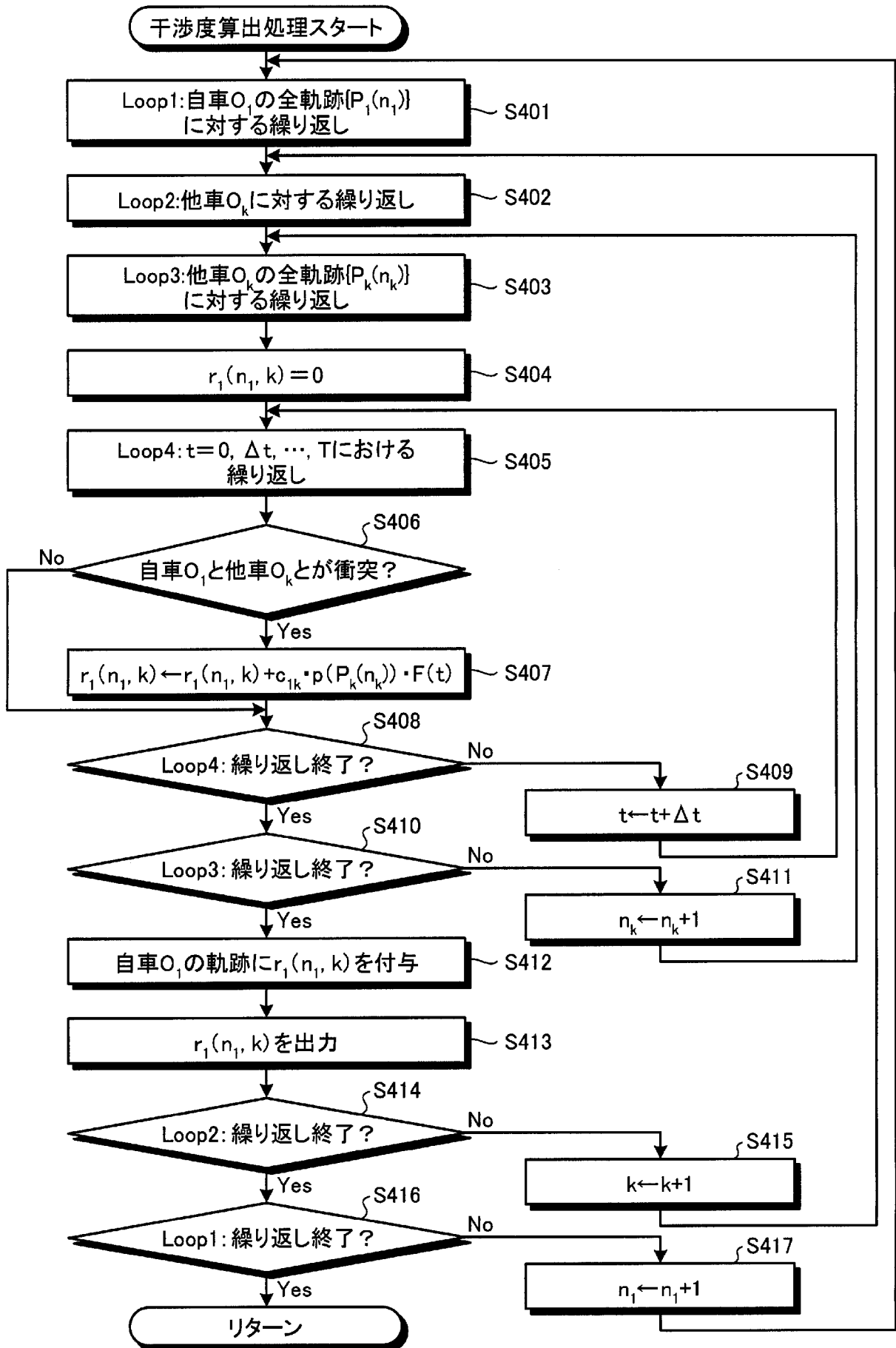
[図14]



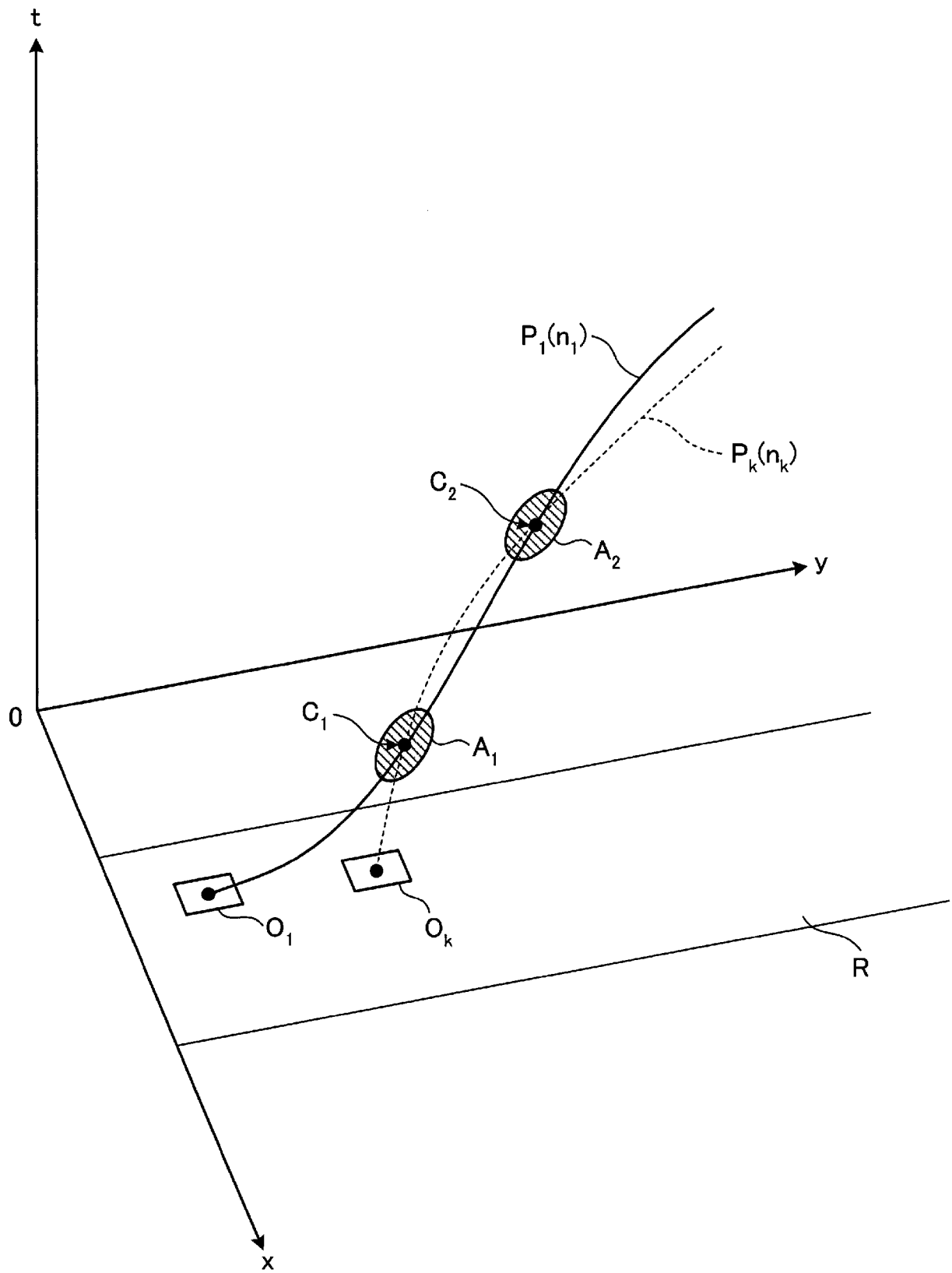
[図15]



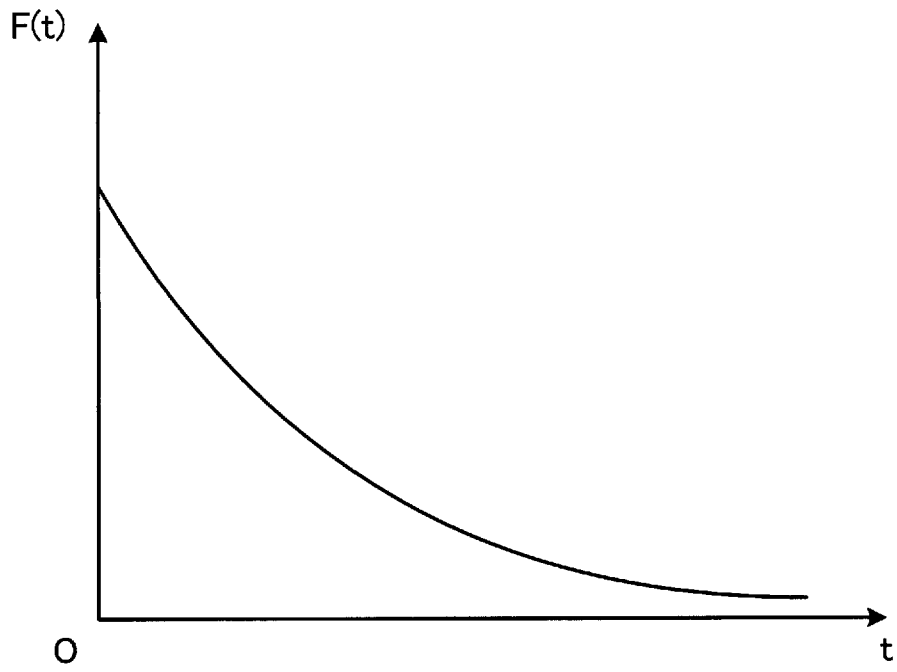
[図16]



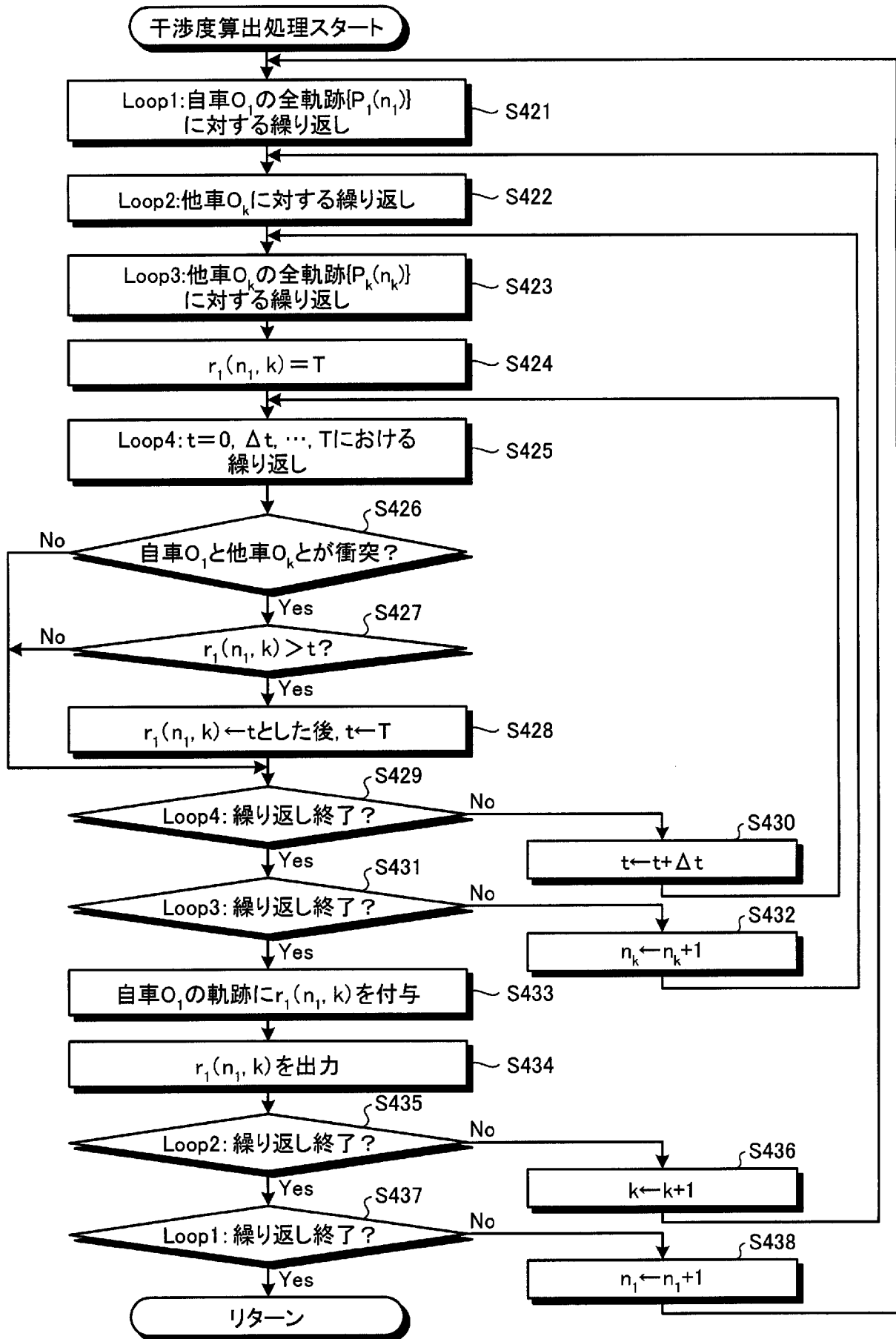
[図17]



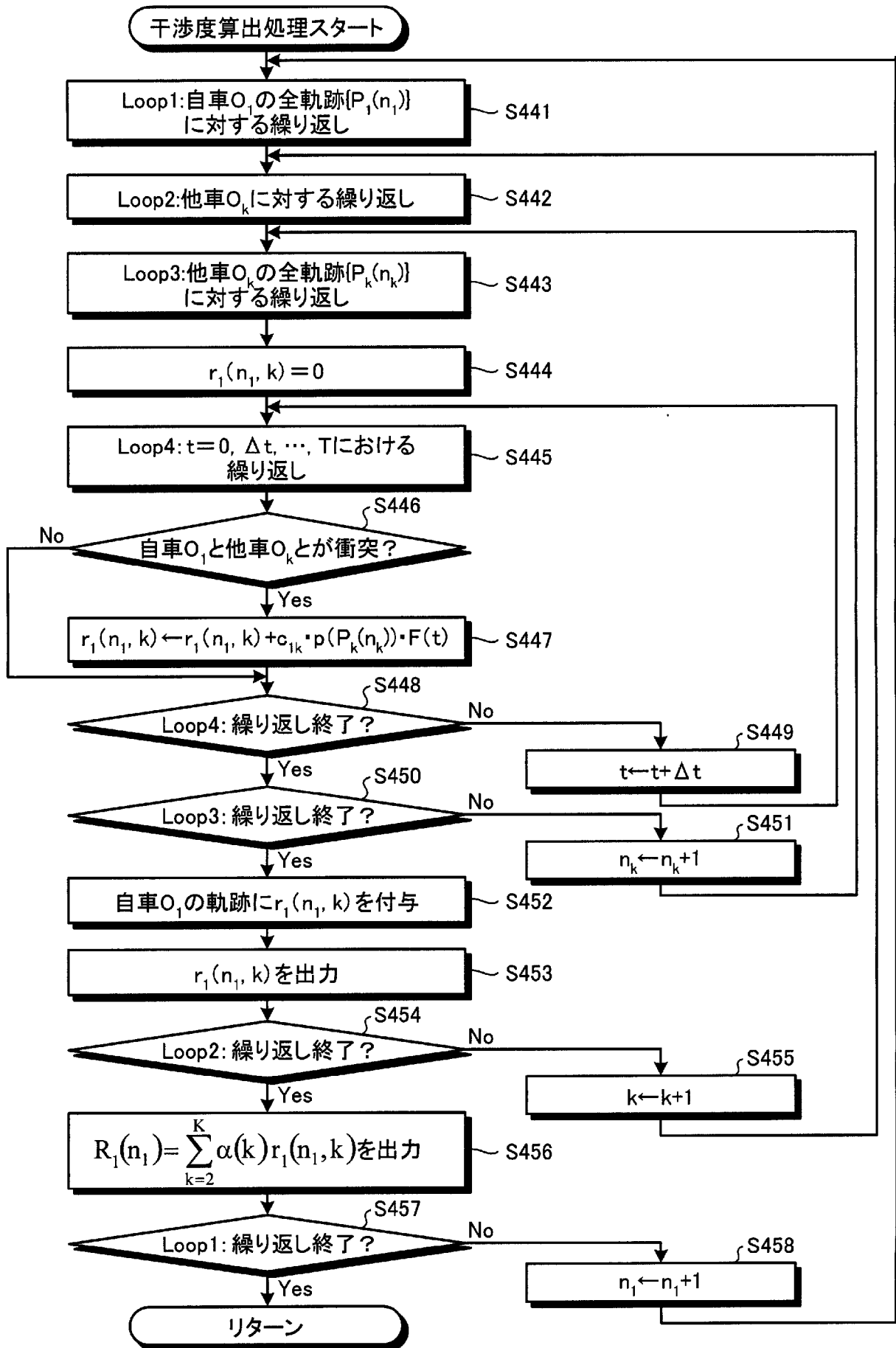
[図18]



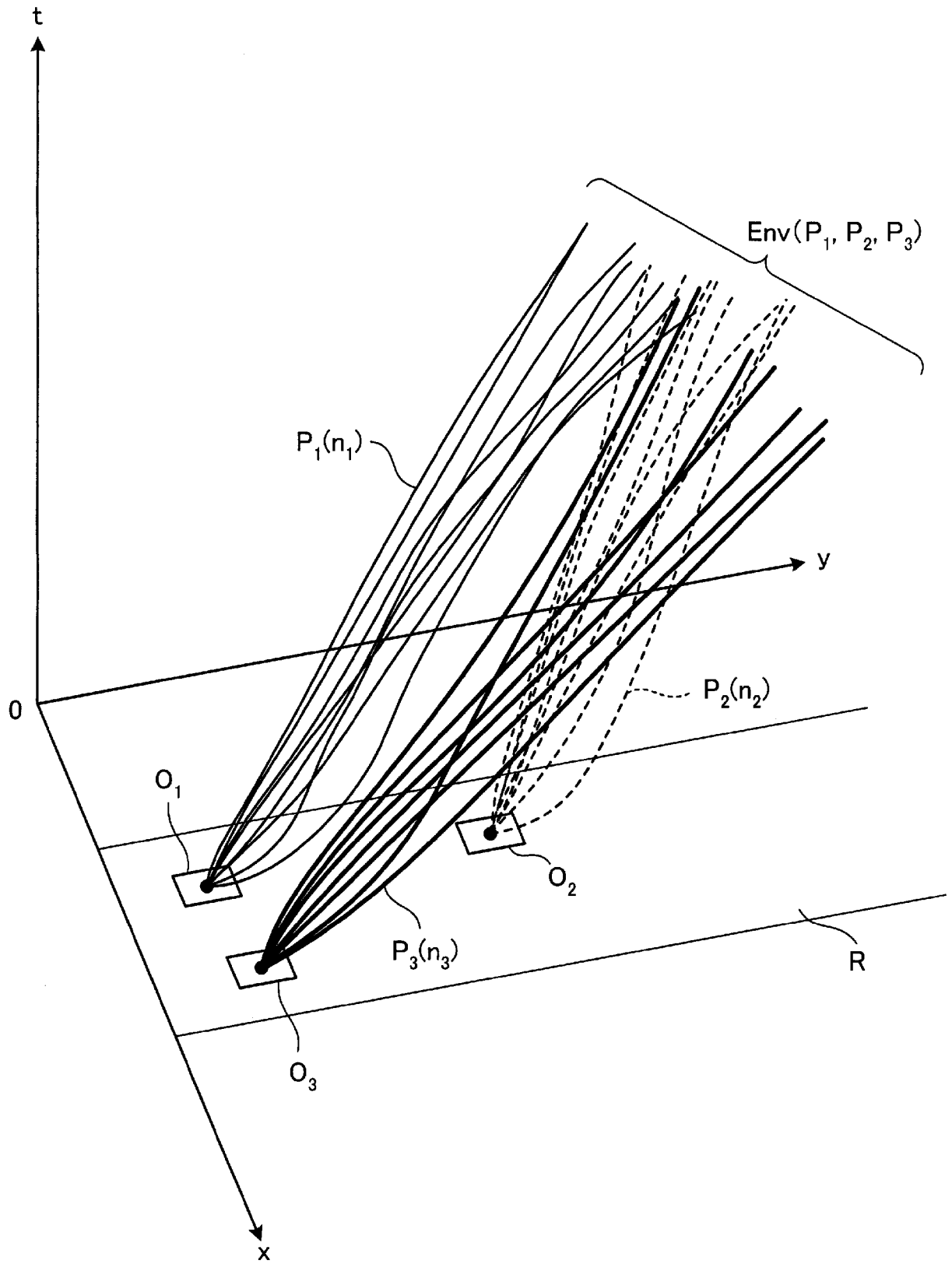
[図19]



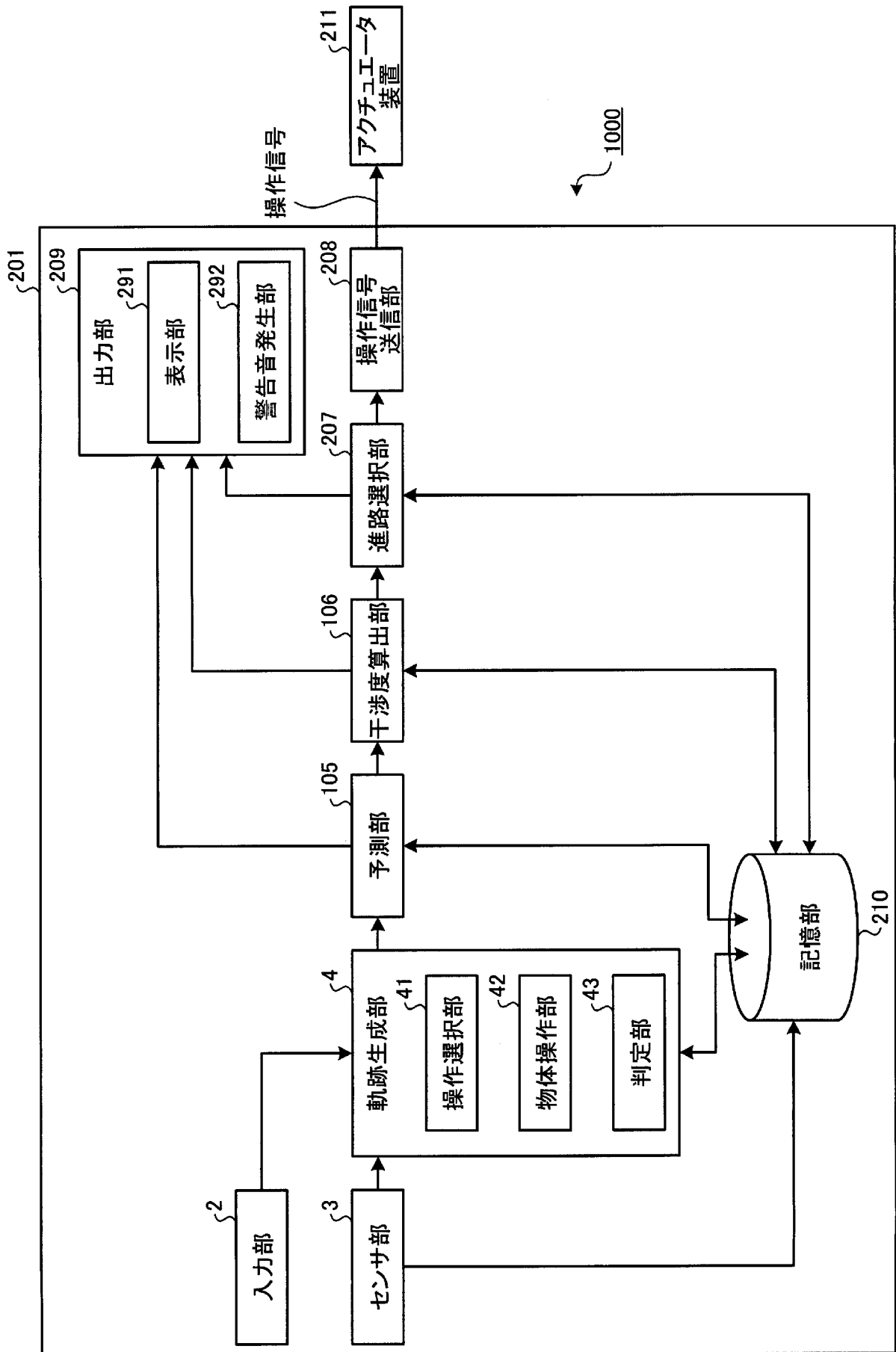
[図20]



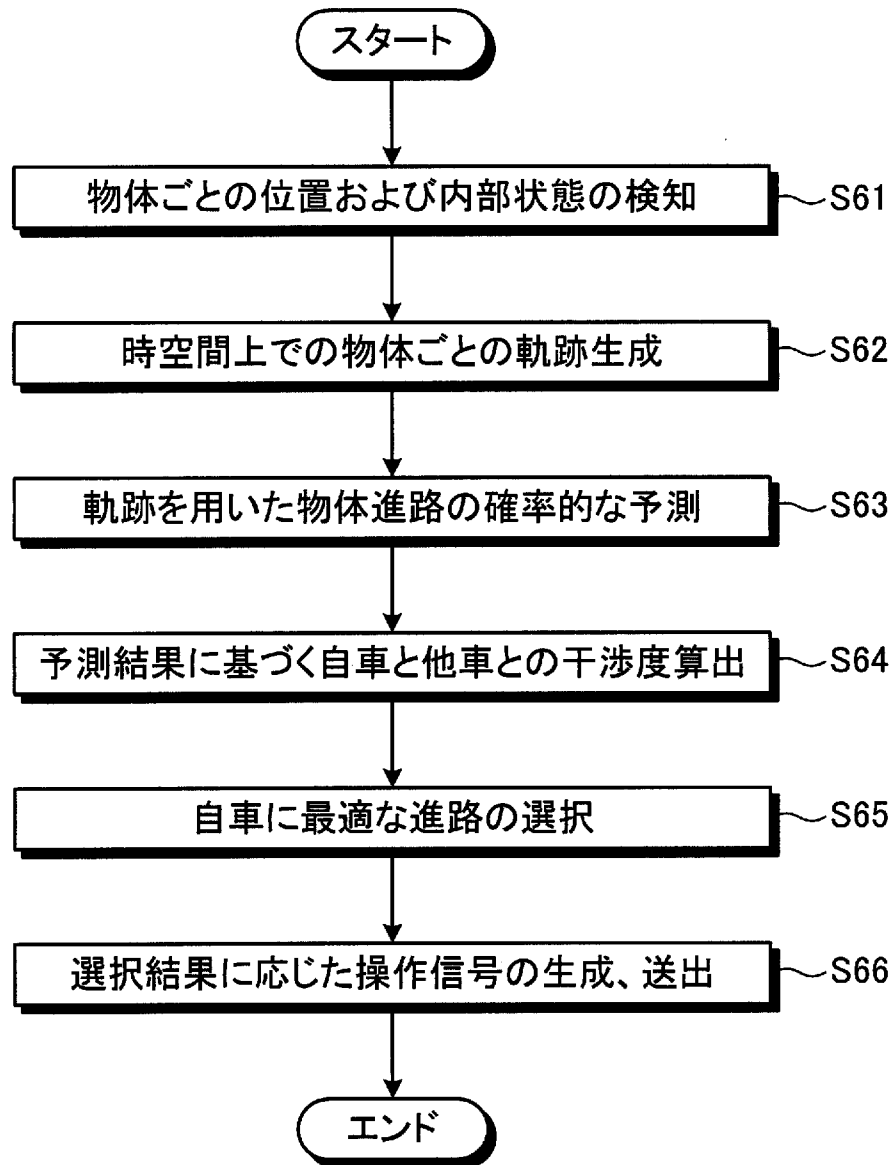
[図21]



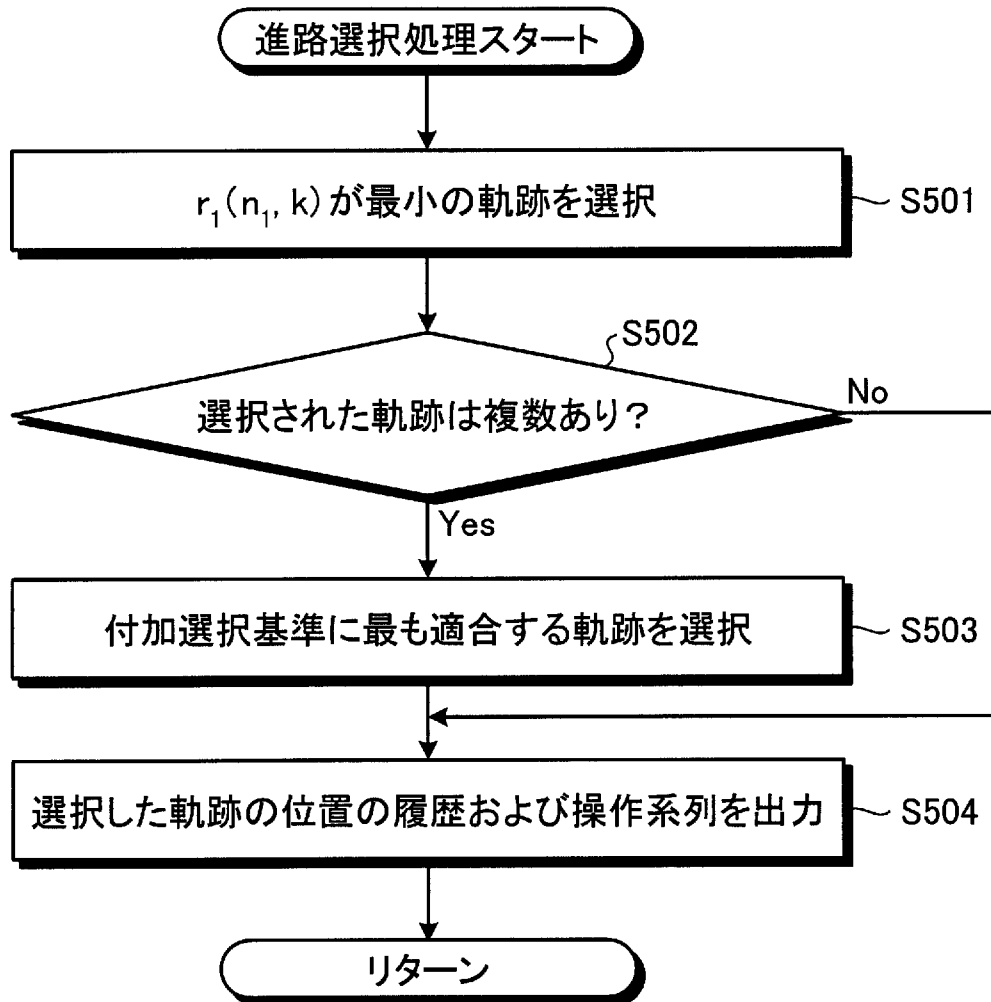
[図22]



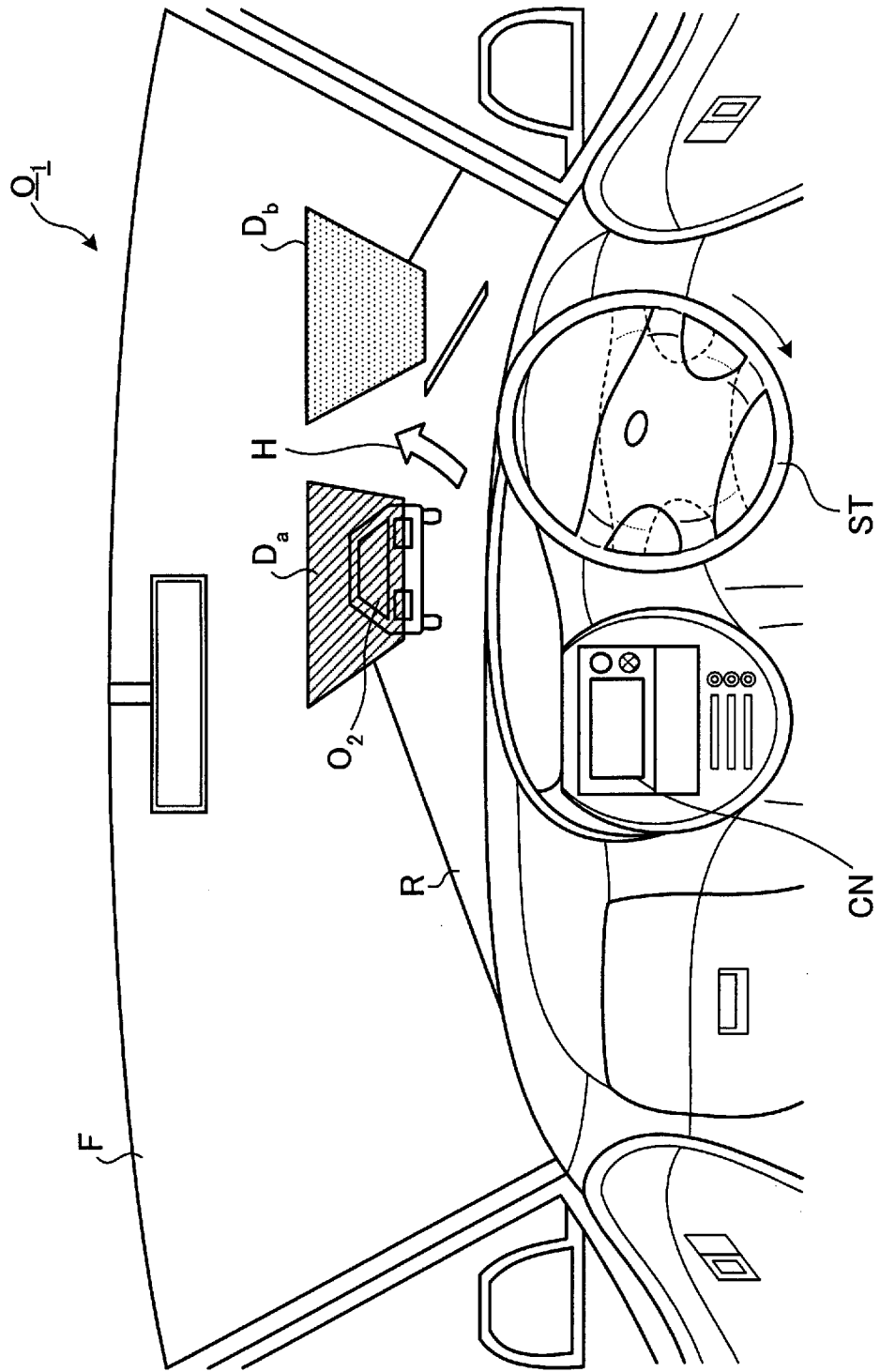
[図23]



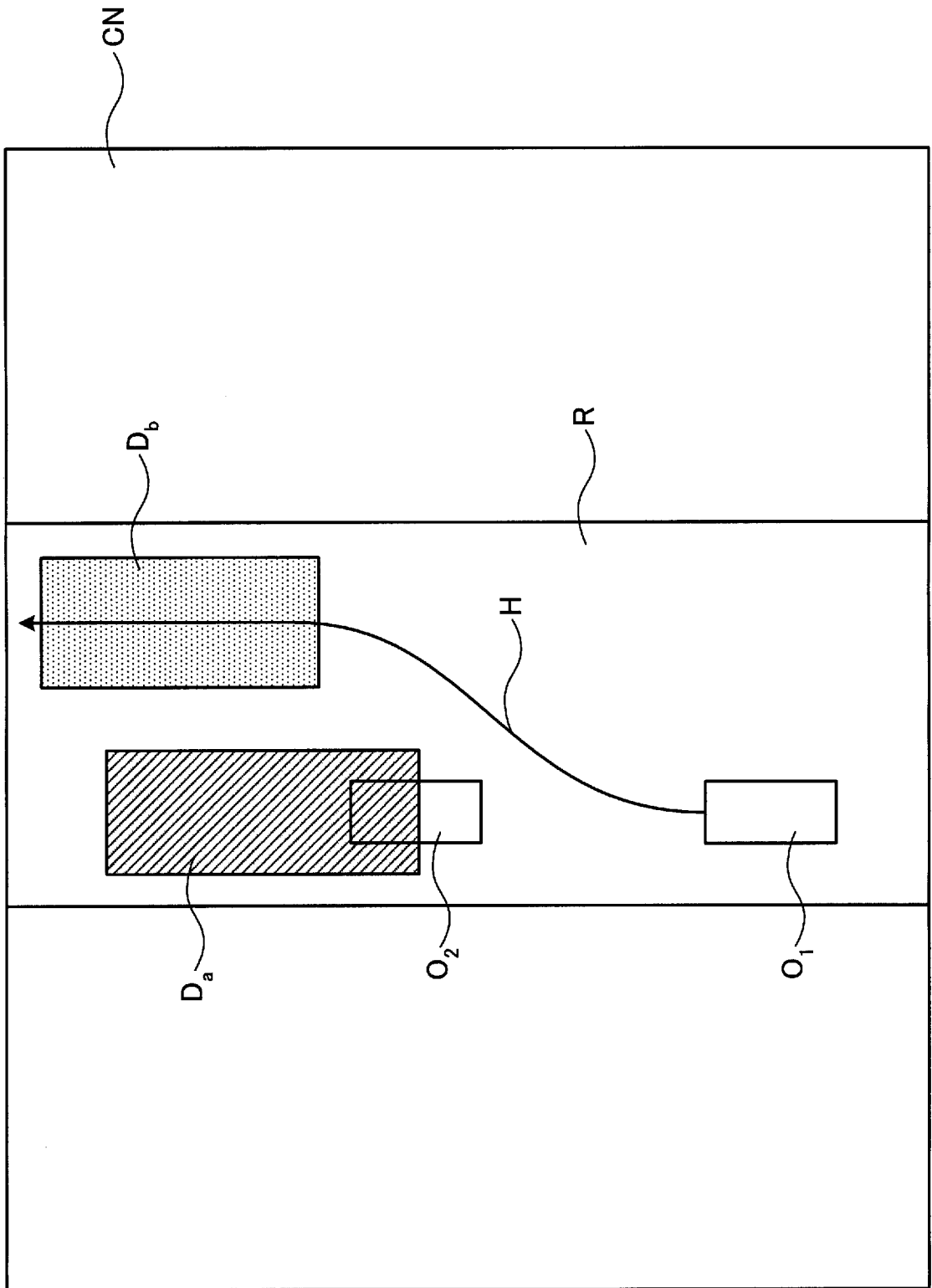
[図24]



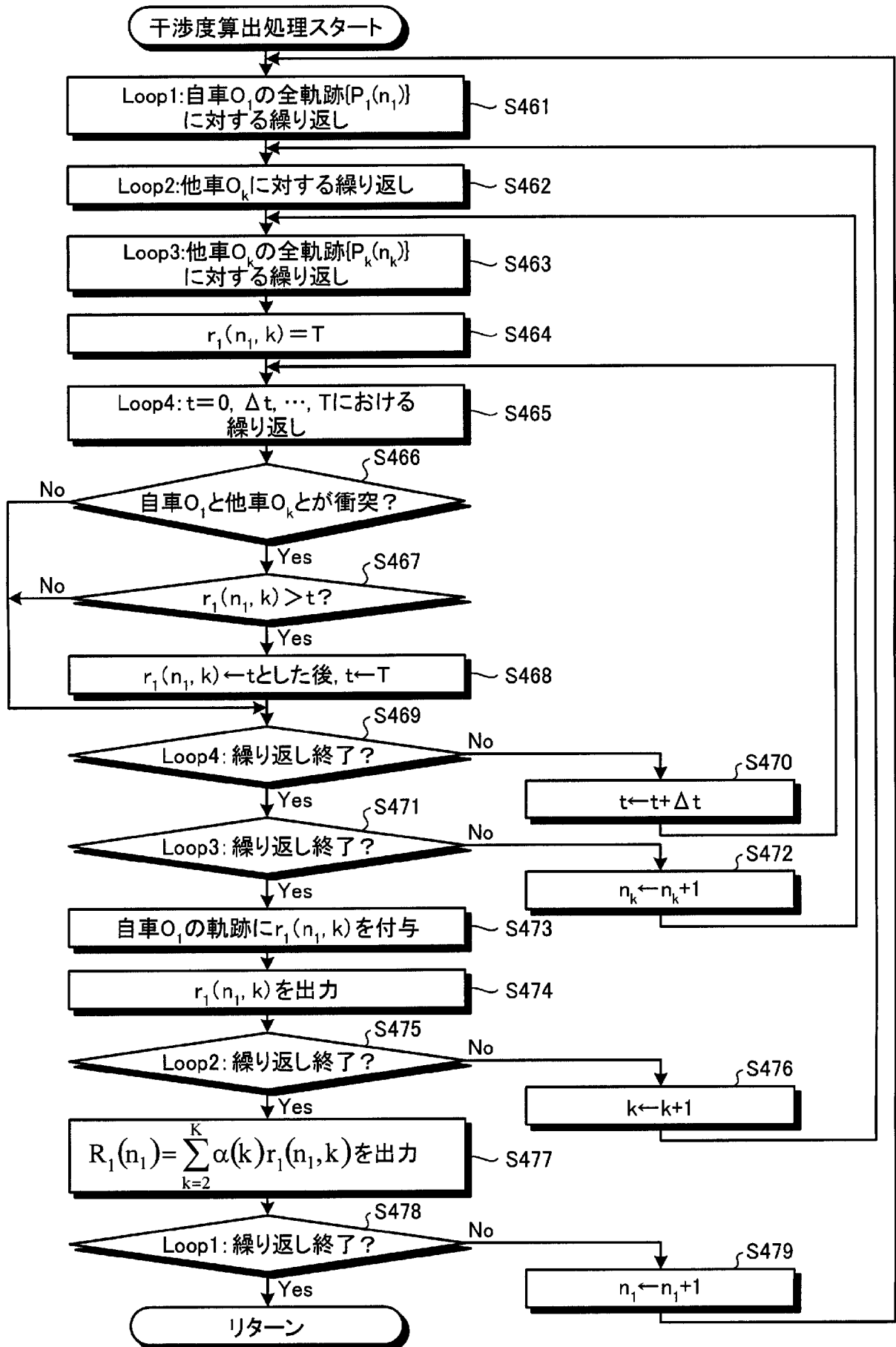
[図25]



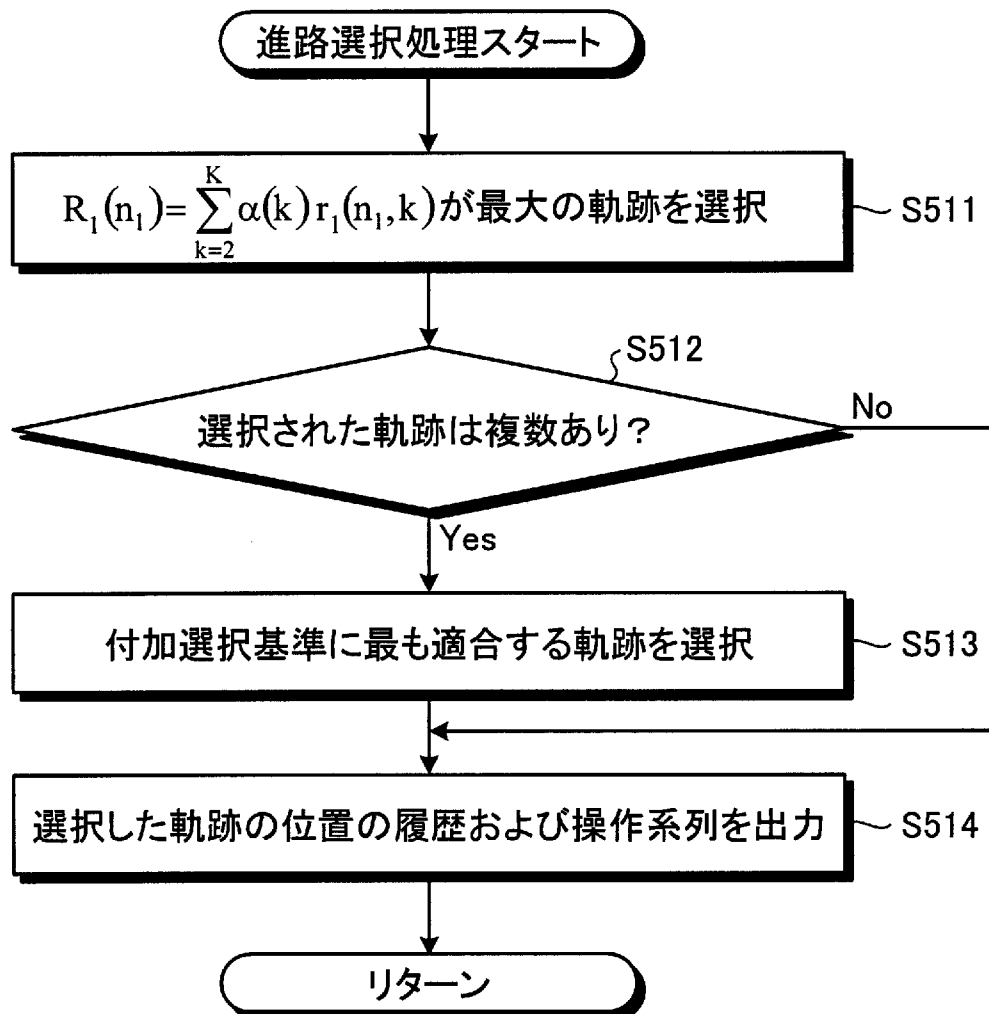
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/053760

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G08G1/16(2006.01)i, B60W30/08(2006.01)i, B60W40/08(2006.01)i, G08G1/09(2006.01)i, B60R21/00(2006.01)n

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)
G08G1/16, B60W30/08, B60W40/08, G08G1/09, B60R21/00

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	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

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	JP 2003-205804 A (Denso Corp.), 22 July, 2003 (22.07.03), Par. Nos. [0013] to [0023], [0048] to [0057] & US 2003/0139883 A1 & DE 010301290 A	1, 7, 8, 10, 22, 23, 25, 29, 32, 38, 39, 41, 53, 54, 56, 60, 63, 64
Y		2-4, 9, 17-19, 21, 27, 30, 31, 33-35, 40, 48-50, 52, 58, 61, 62
A		5, 6, 11-16, 20, 24, 26, 28, 36, 37, 42-47, 51, 55, 57, 59

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
15 May, 2007 (15.05.07)

Date of mailing of the international search report
29 May, 2007 (29.05.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/053760

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-140786 A (NEC Corp., NEC Soft Kabushiki Kaisha, Koji FUKAMI), 17 May, 2002 (17.05.02), Par. Nos. [0019], [0044] to [0066] (Family: none)	2-4, 9, 17-19, 21, 30, 31, 33-35, 40, 48-50, 52, 61, 62
Y A	JP 2000-276696 A (Toyota Motor Corp.), 06 October, 2000 (06.10.00), Par. Nos. [0009] to [0012], [0059] & US 2002/0135467 A1 & US 2003/0006889 A1 & US 2003/0009275 A1 & EP 001020834 A2 & EP 001435601 A2 & DE 060016815 T & DE 060019653 T	27, 58 14, 45
A	JP 11-126294 A (Toyota Motor Corp.), 11 May, 1999 (11.05.99), All pages & US 006169495 B1 & EP 000911778 A2 & DE 069821437 T	1-64
A	JP 2004-199389 A (Toyota Motor Corp.), 15 July, 2004 (15.07.04), All pages & US 2004/0122587 A1 & EP 001431947 A1 & DE 060303638 D	1-64
A	JP 2000-076581 A (Toyota Motor Corp.), 14 March, 2000 (14.03.00), All pages (Family: none)	1-64
A	JP 2000-207691 A (Toyota Motor Corp.), 28 July, 2000 (28.07.00), All pages & US 2002/0135467 A1 & US 2003/0006889 A1 & US 2003/0009275 A1 & EP 001020834 A2 & EP 001435601 A2 & DE 060016815 T & DE 060019653 T	1-64
A	JP 2003-058999 A (Pioneer Electronic Corp.), 28 February, 2003 (28.02.03), Par. No. [0046] & US 2003/0033082 A1 & EP 001298417 A1	9, 21, 31, 40, 52, 62
A	JP 2003-123185 A (Hitachi, Ltd.), 25 April, 2003 (25.04.03), Par. No. [0158] (Family: none)	16, 29, 47, 60

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 請求の範囲の番号
A		62 5, 6, 11-16, 20 , 24, 26, 28, 36 , 37, 42-47, 51 , 55, 57, 59
Y	JP 2002-140786 A (日本電気株式会社、エヌイーシーソフト株式会社、深見 広治) 2002. 05. 17, 第 0019, 0044-0066 段落 (ファミリーなし)	2-4, 9, 17-19, 21, 30, 31, 33- 35, 40, 48-50, 52, 61, 62
Y A	JP 2000-276696 A (トヨタ自動車株式会社) 2000. 10. 06, 第 0009-0012, 0059 段落 & US 2002/0135467 A1 & US 2003/0006889 A1 & US 2003/0009275 A1 & EP 001020834 A2 & EP 001435601 A2 & DE 060016815 T & DE 060019653 T	27, 58 14, 45
A	JP 11-126294 A (トヨタ自動車株式会社) 1999. 05. 11, 全頁 & US006169495 B1 & EP000911778 A2 & DE069821437 T	1-64
A	JP 2004-199389 A (トヨタ自動車株式会社) 2004. 07. 15, 全頁 & US 2004/0122587 A1 & EP 001431947 A1 & DE 060303638 D	1-64
A	JP 2000-076581 A (トヨタ自動車株式会社) 2000. 03. 14, 全頁 (ファミリーなし)	1-64
A	JP 2000-207691 A (トヨタ自動車株式会社) 2000. 07. 28, 全頁 & US 2002/0135467 A1 & US 2003/0006889 A1 & US 2003/0009275 A1 & EP 001020834 A2 & EP 001435601 A2 & DE 060016815 T & DE 060019653 T	1-64
A	JP 2003-058999 A (パイオニア株式会社) 2003. 02. 28, 第 0046 段落 & US 2003/0033082 A1 & EP 001298417 A1	9, 21, 31, 40, 52, 62
A	JP 2003-123185 A (株式会社日立製作所) 2003. 04. 25, 第 0158 段落 (ファミリーなし)	16, 29, 47, 60