

明 細 書

発明の名称：

経路計画装置、運転支援システム、経路計画方法及び経路計画プログラム
技術分野

[0001] ここに開示された技術は、経路計画装置、運転支援システム、経路計画方法及び経路計画プログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来より、移動体の経路を計画する装置が知られている。例えば、特許文献 1 に開示された経路計画では、他の移動体の移動を考慮して、他の移動体との干渉を回避する経路が計画される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2 0 2 0－4 0 9 5 号公報

発明の概要

[0004] 特許文献 1 に係る経路計画では、他の移動体との干渉を回避する経路を計画することによって安全性を確保している。しかしながら、リスク回避の観点からはさらなる改善の余地がある。

[0005] ここに開示された技術は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、リスクを低減できる経路を計画することにある。

[0006] ここに開示された経路計画装置は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する取得器と、始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する生成器とを備え、前記生成器は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。

[0007] ここに開示された運転支援システムは、前記経路計画装置と、自動運転を

行う移動体に搭載され、前記経路計画装置からの前記目標経路を表示する表示器とを備える。

[0008] ここに開示された経路計画方法は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得することと、始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成することとを含み、前記目標経路を生成することは、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。

[0009] ここに開示された経路計画プログラムは、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する機能と、始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する機能とをコンピュータに実現させ、前記目標経路を生成する機能は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。

[0010] 前記経路計画装置によれば、リスクを低減できる経路を計画することができる。

[0011] 前記運転支援システムによれば、リスクを低減できる経路を計画することができる。

[0012] 前記経路計画方法によれば、リスクを低減できる経路を計画することができる。

[0013] 前記経路計画プログラムによれば、リスクを低減できる経路を計画することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、移動体が海洋を航行する様子を示す模式的な平面図である。

[図2]図2は、移動体の概略的なハードウェア構成を示す図である。

[図3]図3は、制御装置のハードウェア構成を示す図である。

- [図4]図4は、処理器の機能ブロック図である。
- [図5]図5は、経路計画装置のハードウェア構成を示す図である。
- [図6]図6は、処理器の機能ブロック図である。
- [図7]図7は、探索空間の一例である。
- [図8]図8は、探索空間において探索された複数の候補を示す模式図である。
- [図9]図9は、新たなノードの探索を説明するための説明図である。
- [図10]図10は、移動体のグローバル座標系における一のノードと新ノードとの位置関係を示す説明図である。
- [図11]図11は、探索された複数の候補の二次元的な模式図である。
- [図12]図12は、経路計画のフローチャートである。
- [図13]図13は、自動運転のフローチャートである。
- [図14]図14は、表示器によって表示される画像の一例である。

発明を実施するための形態

- [0015] 以下、例示的な実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1は、移動体1が海洋を航行する様子を示す模式的な平面図である。移動体1は、自動運転を行う。運転支援システム1000は、移動体1の目標経路を生成する経路計画装置100と、自動運転を行う移動体1に搭載され、経路計画装置100からの目標経路を表示する表示器15とを備えている。この例では、移動体1は、船舶である。図1に示す港湾の内外では、複数の移動体1が存在している。複数の移動体1は、符号「1」の後のアルファベットの添え字によって互いに区別される。例えば、図1の海域の複数の移動体1には、移動体1A、移動体1B、移動体1C及び移動体1Dが含まれる。尚、複数の移動体1のそれぞれを区別しない場合には、単に「移動体1」と称する。図1に示す港湾には、障害物として岸壁91及び防波堤92等が存在する。また、一の移動体1にとっては、他の移動体1は障害物となる。
- [0016] 経路計画装置100は、自動運転を行う移動体1の目標経路を生成する。複数の移動体1が自動運転を行う場合には、経路計画装置100は、それぞれの移動体1に個別の目標経路を生成する。経路計画装置100は、管制塔

120に配置されている。経路計画装置100は、対象となる移動体1と通信し、目標経路を移動体1に送信する。対象の移動体1は、目標経路に従って自動運転を行う。以下では、目標点Gまでの移動体1Aの目標経路を生成する場合について説明する。

[0017] 表示器15は、経路計画装置100から送られてくる目標経路を表示する。つまり、表示器15は、自動運転における目標経路をユーザ、即ち、乗員に提示する。さらに、表示器15は、複数の目標経路を表示して、自動運転に用いられる目標経路をユーザに選択させてもよい。

[0018] ー移動体ー

移動体1は、自動運転、詳しくは、自律運転を行う。移動体1は、手動運転と自動運転とを切り替え可能であってもよい。図2は、移動体1の概略的なハードウェア構成を示す図である。移動体1は、監視センサ11とアクチュエータ12と通信器13と位置検出器14と表示器15と入力器16と制御装置2とを有している。

[0019] 監視センサ11は、移動体1が移動する環境内において所定範囲の監視情報を取得する。監視情報には、地形、建物、地物、設備又は移動体等が含まれ得る。監視センサ11は、カメラ、LiDAR (Light Detection And Ranging)、赤外線センサ、レーザ距離計及びドップラLiDARの少なくとも1つを含む。例えば、カメラは、静止画又は動画を撮影する。レーザ距離計は、グリーンレーザを採用していてもよい。この例では、監視センサ11は、LiDARである。監視センサ11は、所定の監視領域内の物体の点群データを監視情報として取得する。

[0020] アクチュエータ12は、移動体1の駆動源である。アクチュエータ12は、第1アクチュエータ12Aと第2アクチュエータ12Bとを含んでもよい。例えば、移動体1が船舶の場合、第1アクチュエータ12Aは、プロペラを駆動するエンジン又は電動モータであり、第2アクチュエータ12Bは、舵を駆動するエンジン又は電動モータである。

[0021] 通信器13は、外部装置と無線通信を行う。通信器13は、例えば、経路

計画装置 100 と通信を行う。位置検出器 14 は、移動体 1 の位置を検出する。例えば、位置検出器 14 は、GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機又は IMU (慣性計測ユニット: Inertial Measurement Unit) である。

[0022] 表示器 15 は、例えば、液晶ディスプレイ又は有機 EL ディスプレイ等である。表示器 15 は、複数の目標経路を表示し得る。つまり、表示器 15 は、目標経路の選択肢をユーザに提示する。

[0023] 入力器 16 は、ユーザによって操作される、即ち、ユーザが操作を入力する装置である。入力器 16 は、例えば、キーボード、マウス又はボタン等である。表示器 15 及び入力器 16 は、一体的に構成されていてもよい。例えば、表示器 15 及び入力器 16 は、タッチパネルであってもよい。

[0024] 図 3 は、制御装置 2 のハードウェア構成を示す図である。制御装置 2 は、移動体 1 の全体を制御する。制御装置 2 は、移動体 1 の自動運転を制御する。つまり、制御装置 2 は、アクチュエータ 12 を動作させて移動体 1 を移動させる。制御装置 2 は、処理器 21 と記憶器 22 とメモリ 23 とを有している。

[0025] 処理器 21 は、各種の演算処理を行う。例えば、処理器 21 は、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサで形成されている。処理器 21 は、MCU (Micro Controller Unit)、MPU (Micro Processor Unit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、PLC (Programmable Logic Controller)、システム LSI 等で形成されていてもよい。

[0026] 記憶器 22 は、処理器 21 で実行されるプログラム及び各種データを格納している。例えば、記憶器 22 は、制御プログラムを格納している。記憶器 22 は、不揮発性メモリ、HDD (Hard Disc Drive) 又は SSD (Solid State Drive) 等で形成される。メモリ 23 は、データ等を一時的に格納する。例えば、メモリ 23 は、揮発性メモリで形成される。

[0027] 処理器 21 がアクチュエータ 12 を操作することによって、移動体 1 は自律運転を行う。処理器 21 は、目標経路を経路計画装置 100 から受け取る

。処理器 2 1 は、目標経路に沿って移動体 1 が移動するように、監視センサ 1 1 及び位置検出器 1 4 による検出結果に基づいてアクチュエータ 1 2 を操作する。処理器 2 1 は、目標経路に沿った移動体 1 の移動中に必要に応じて衝突回避動作を移動体 1 に実行させてもよい。処理器 2 1 は、目標経路の生成のために、監視センサ 1 1 及び位置検出器 1 4 による検出結果を経路計画装置 1 0 0 に送信してもよい。

[0028] 図 4 は、処理器 2 1 の機能ブロック図である。処理器 2 1 は、記憶器 2 2 から制御プログラムをメモリ 2 3 に読み出して展開することによって、各種機能を実現する。具体的には、処理器 2 1 は、自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態を取得する状態取得器 2 4 と、アクチュエータ 1 2 の指令操作量を演算する演算器 2 5 として機能する。演算器 2 5 は、状態取得器 2 4 によって取得された自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態に基づいて、アクチュエータ 1 2 の指令操作量を演算する。この例では、処理器 2 1 は、自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態を認識する状態認識器 2 6 としてさらに機能する。それに加えて、処理器 2 1 は、表示器 1 5 に表示される画像を生成する画像生成器 2 1 1 と、入力器 1 6 からのユーザの操作入力を受け付ける受付器 2 1 2 としてさらに機能する。

[0029] 画像生成器 2 1 1 は、画像を生成し、生成された画像を表示器 1 5 へ出力する。画像生成器 2 1 1 は、経路計画装置 1 0 0 からの目標経路の画像を生成する。例えば、画像生成器 2 1 1 は、目標経路が示される航路図を生成する。経路計画装置 1 0 0 から複数の目標経路が送られてくる場合には、画像生成器 2 1 1 は、複数の目標経路の画像を生成する。複数の目標経路に優先順位が付されている場合には、画像生成器 2 1 1 は、複数の目標経路の優先順位も表示する。優先順位の表示の態様は様々である。例えば、画像生成器 2 1 1 は、各目標経路の優先順位、即ち、数値を各目標経路に対応付けて表示してもよい。あるいは、画像生成器 2 1 1 は、各目標経路の優先順位を各目標経路の色で表してもよい。すなわち、画像生成器 2 1 1 は、複数の目標経路を優先順位に応じて色分けしてもよい。あるいは、画像生成器 2 1 1 は

、各目標経路の優先順位を各目標経路の線種で表してもよい。

[0030] 画像生成器 2 1 1 は、複数の目標経路の全てではなく、一部だけの優先順位を表示してもよい。例えば、3つの目標経路が表示される場合、画像生成器 2 1 1 は、優先順位が 1 位である目標経路に 1 位である旨を付して表示し、優先順位が 2 位及び 3 位の目標経路には優先順位を付さなくてもよい。つまり、画像生成器 2 1 1 は、優先順位が 1 位である目標経路を優先順位が 1 位以外、例えば、2 位及び 3 位の目標経路と区別して表示してもよい。2 位の目標経路と 3 位の目標経路とは互いに区別して表示されなくてもよい。1 位の目標経路と 1 位以外の目標経路との区別は、目標経路の色又は線種等によるものであってもよい。

[0031] 尚、後述する経路コストが目標経路と共に経路計画装置 1 0 0 から送られてくる場合は、画像生成器 2 1 1 は、目標経路と共に、対応する経路コストを表示してもよい。画像生成器 2 1 1 は、経路コストを優先順位として表示してもよい。つまり、経路コストが小さいほど、優先順位が低い。

[0032] 受付器 2 1 2 は、ユーザによる複数の目標経路の中からの一の目標経路の選択を受け付ける。ユーザは、入力器 1 6 を操作することによって、表示器 1 5 に表示された複数の目標経路の中から自動運転に用いられる一の目標経路を選択できる。受付器 2 1 2 は、ユーザによる選択の入力を受け付けると、選択された目標経路を自動運転に用いられる目標経路に設定する。

[0033] 状態取得器 2 4 は、自移動体 1 の状態を取得する機能と他移動体 1 の状態を取得する機能とを実現する。状態取得器 2 4 は、自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態に加えて、環境の状態をさらに取得してもよい。状態取得器 2 4 は、自移動体 1 の状態、他移動体 1 の状態及び環境の状態を状態認識器 2 6 から取得する。

[0034] 状態認識器 2 6 は、自移動体 1 の状態を求める機能と他移動体 1 の状態を求める機能とを実現する。状態認識器 2 6 は、自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態を状態取得器 2 4 に出力する。状態認識器 2 6 は、自移動体 1 の状態及び他移動体 1 の状態に加えて、環境の状態を求めて、状態取得器 2 4

へ出力してもよい。

- [0035] 状態認識器 26 には、地図情報、他移動体 1 の情報、監視センサ 11 の検出結果及び位置検出器 14 の検出結果が入力される。地図情報及び他移動体 1 の情報は、例えば、経路計画装置 100 又は管制塔 120 から送信され、記憶器 22 に保存されている。地図情報には、道路、通路、航路及び地物（建物、樹木及び岩石など、自然及び人工に関わらず地上又は海上にある物）の少なくとも 1 つを含む。地図情報は、道路図、施設図、航路図等の一般的な地図に関する情報であり得る。地図情報は、障害物に関する情報を含んでもよい。障害物に関する情報は、障害物の位置、速度及び種別の少なくとも 1 つを含む。障害物は、地物、建物、自移動体 1 以外の他の移動体（即ち、他移動体 1）、工事現場、不整地、浅瀬、養殖場、錨地等を含み得る。他の移動体の情報は、例えば、他の移動体の種別が含まれる。
- [0036] 例えば、状態認識器 26 は、カルマンフィルタを用いて、自移動体 1 の状態推定を行う。状態認識器 26 は、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いて、自己位置推定を実行してもよい。状態認識器 26 は、位置検出器 14 の検出結果に基づいて、他移動体 1 の大きさ又は自移動体 1 に対する他移動体 1 の相対速度を推定してもよい。状態認識器 26 は、環境中の障害の状態推定を行ってもよい。状態認識器 26 は、自移動体 1 の現在位置及び速度等の自移動体 1 に関する情報、他移動体 1 の自移動体 1 に対する相対位置及び速度等の他移動体に関する情報、障害の自移動体 1 に対する相対位置及び速度等の障害に関する情報、並びに、外乱の情報を出力する。
- [0037] つまり、状態取得器 24 は、障害の位置等を含む地図情報、自移動体 1 の現在位置及び速度等の自移動体 1 に関する情報、他移動体 1 の自移動体 1 に対する相対位置及び速度等の他移動体 1 に関する情報、障害の自移動体 1 に対する相対位置及び速度等の障害に関する情報、並びに、外乱の情報を取得する。
- [0038] 演算器 25 は、自移動体 1 の目標軌道を生成する機能を実現する。目標軌

道は、現在位置からの比較的短期間の目標とする軌道である。演算器 25 は、目標軌道に基づいて、アクチュエータ 12 の制御入力を演算する機能をさらに実現する。詳しくは、演算器 25 は、自移動体 1 の目標経路を取得する経路取得器 27 と、自移動体 1 の目標軌道を生成する軌道生成器 28 と、目標軌道を修正する軌道修正器 29 と、目標軌道に追従する、アクチュエータ 12 の操作量を演算する操作量演算器 210 とを有している。

[0039] 経路取得器 27 は、目標経路を受け取る。経路取得器 27 は、経路計画装置 100 からの目標経路を受け取る。この例では、経路計画装置 100 から出力された複数の目標経路の中からユーザが一の目標経路を選択するので、経路取得器 27 は、選択された目標経路を受付器 212 から受け取る。

[0040] 軌道生成器 28 は、自移動体 1 の現在位置からウェイポイントまでの目標軌道を生成する。ウェイポイントは、現在位置から比較的近い目標位置である。軌道生成器 28 には、目標経路が経路取得器 27 から入力され、地図情報及び自移動体 1 に関する情報が状態取得器 24 から入力される。軌道生成器 28 は、目標経路に基づいてウェイポイントを設定する。軌道生成器 28 は、自移動体 1 の目標軌道を所定の方法（例えば、line-of-sight guidance law）で生成する。

[0041] 軌道修正器 29 は、軌道生成器 28 によって生成された目標軌道を必要に応じて修正する。例えば、軌道修正器 29 は、自移動体 1 が障害物を回避するように目標軌道を修正する。軌道修正器 29 には、地図情報、自移動体 1 に関する情報、他移動体 1 に関する情報、及び、外乱の情報が状態取得器 24 から入力される。例えば、軌道修正器 29 は、非線形モデル予測制御（NMPC : Nonlinear Model Predictive Control）によって目標軌道を修正する。これにより、軌道生成器 28 によって生成された目標軌道になるべく従いつつ、障害物を回避する目標軌道が生成される。軌道修正器 29 は、目標軌道として目標位置及び目標速度を出力する。

[0042] 操作量演算器 210 は、目標軌道に対応する、アクチュエータ 12 の操作量、即ち、制御入力を演算する。操作量演算器 210 は、自移動体 1 を目標

軌道に追従させるための指令力を演算する。操作量演算器 210 には、地図情報、自移動体 1 に関する情報、他移動体 1 に関する情報、及び、外乱の情報が状態取得器 24 から入力される。操作量演算器 210 は、例えば、PID 制御を行う。尚、操作量演算器 210 の制御は、PID 制御に限定されず、ロバスト制御等であってもよい。このとき、操作量演算器 210 は、例えば、制御バリア関数 (CBF : Control Barrier Function) を用いて、目標軌道に対応する指令速度を制限してもよい。

[0043] さらに、操作量演算器 210 は、指令力を複数のアクチュエータ 12 に分配して、複数のアクチュエータ 12 のそれぞれの指令操作量を演算する。アクチュエータ 12 が電動モータの場合には、例えば、操作量は、電動モータの回転速度又はトルクである。アクチュエータ 12 がエンジンの場合には、例えば、操作量は、燃料噴射量である。

[0044] それぞれのアクチュエータ 12 は、指令操作量に応じて動作する。アクチュエータ 12 には、アクチュエータ 12 を動作させるための固有の制御器が設けられている場合がある。例えば、アクチュエータ 12 が電動モータである場合には、アクチュエータ 12 は、サーボアンプをさらに有している。その場合、サーボアンプが指令操作量に応じて電動モータを動作させる。その結果、自移動体 1 は、推力を発揮し、目標位置へ向かって移動する。

[0045] 経路計画装置 100 は、移動体 1 の目標経路を生成する。経路計画装置 100 は、複数の移動体 1 の目標経路を生成し得る。つまり、自動運転を行う機能を有し、且つ、経路計画装置 100 からの目標経路を受信可能な移動体 1 は、経路計画の対象となり得る。例えば、経路計画装置 100 は、移動体 1 からリクエストを受けて、目標経路を生成して送信する。

[0046] 経路計画装置 100 は、障害物との干渉を回避する目標経路を生成する。経路計画装置 100 は、障害物を検知する監視装置 3 から障害物情報を取得し得る。特に、経路計画装置 100 は、移動する障害物の情報を監視装置 3 から取得し得る。尚、経路計画装置 100 は、地物、建物、工事現場、不整地、浅瀬、養殖場等の固定的な障害物の情報を予め記憶しておいてもよい。

- [0047] 監視装置 3 は、固定式の監視装置 3 と移動式の監視装置 3 とを含む。例えば、複数の監視装置 3 のそれぞれを区別する場合には、符号「3」の後にアルファベットの添え字が付される（図 1 参照）。この例では、監視装置 3 A、監視装置 3 B、監視装置 3 C 及び監視装置 3 D が固定式の監視装置である。監視装置 3 E が移動式の監視装置である。監視装置 3 A、監視装置 3 B、監視装置 3 C、監視装置 3 D 及び監視装置 3 E を互いに区別しない場合には、単に「監視装置 3」と称する。監視装置 3 は、所定範囲の監視情報を取得する監視センサを有している。監視情報には、地形、建物、地物、設備、移動体、風向き又は潮流等が含まれ得る。監視センサは、カメラ、L i D A R（Light Detection And Ranging）、赤外線センサ、レーザ距離計、ドップラ L i D A R 及び風速計の少なくとも 1 つを含む。例えば、カメラは、静止画又は動画を撮影する。レーザ距離計は、グリーンレーザを採用していてもよい。
- [0048] 固定式の監視装置 3 は、環境中に固定的に設置されている。環境とは、移動体 1 が移動し得る周辺環境を意味する。固定式の監視装置 3 は、例えば、建物、街灯又は電信柱等に設置されている。あるいは、固定式の監視装置 3 は、塔などの専用の構造体に設置されている。固定式の監視装置 3 の監視範囲は、不変であってもよいし、変更可能であってもよい。この例では、固定式の監視装置 3 は、その向きを 3 6 0 度変更可能に構成されている。つまり、固定式の監視装置 3 は、監視範囲を時間的に変化させ、その周囲 3 6 0 度の監視情報を取得することができる。
- [0049] 移動式の監視装置 3 は、飛行装置又は車両等の移動体である。例えば、移動式の監視装置 3 は、飛行装置としてのドローンである。移動式の監視装置 3 は、前述の監視センサを搭載し、環境内を自在に飛行することによって環境中の任意の領域の監視情報を取得する。
- [0050] 監視装置 3 は、通信ネットワーク等を介して経路計画装置 1 0 0 と通信を行う。監視装置 3 は、監視情報検出結果を経路計画装置 1 0 0 へ送信する。
- [0051] 経路計画装置 1 0 0 は、移動体 1 が備える監視センサ 1 1 の検出結果を移

動体 1 から受信することによって、障害物情報を取得してもよい。監視センサ 11 を備える移動体 1 は、移動体 1 の周囲の障害物を監視センサ 11 によって監視している。経路計画装置 100 は、移動体 1 の監視センサ 11 の検出結果を受け取ることによって、移動体 1 の周囲の障害物情報を取得する。

[0052] 経路計画装置 100 は、移動体 1 から移動体 1 の情報を別の移動体 1 にとっての障害物情報として取得してもよい。一の移動体 1 にとって、他の移動体 1 は障害物となり得る。そのため、経路計画装置 100 は、移動体 1 から取得した移動体 1 自体の情報を別の移動体 1 にとっての障害物情報として利用する。

[0053] 移動体 1 から受信する障害物情報は、移動体 1 の位置、速度及び種別の少なくとも 1 つを含む。移動体 1 が移動体 1 の状態推定を行う場合には、移動体 1 から受信する障害物情報は、移動体 1 によって推定された状態推定値を含み得る。詳しくは、障害物情報には、自移動体 1 の現在位置若しくは速度等の自移動体 1 に関する情報、他移動体 1 の自移動体 1 に対する相対位置若しくは速度等の他移動体に関する情報、障害の自移動体 1 に対する相対位置若しくは速度等の障害に関する情報、又は、外乱の情報を含み得る。

[0054] 図 5 は、経路計画装置 100 のハードウェア構成を示す図である。経路計画装置 100 は、処理器 41 と記憶器 42 とメモリ 43 と通信器 44 とを有している。

[0055] 処理器 41 は、移動体 1 の目標経路を障害物情報に基づいて生成する。処理器 41 は、各種の演算処理を行う。例えば、処理器 41 は、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサで形成されている。処理器 41 は、MCU (Micro Controller Unit)、MPU (Micro Processor Unit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、PLC (Programmable Logic Controller)、システムLSI等で形成されていてもよい。

[0056] 記憶器 42 は、処理器 41 で実行されるプログラム及び各種データを格納している。例えば、記憶器 42 は、経路計画プログラム 42a を格納している。記憶器 42 は、不揮発性メモリ、HDD (Hard Disc Drive) 又はSSD

(Solid State Drive) 等で形成される。メモリ 4 3 は、データ等を一時的に格納する。例えば、メモリ 4 3 は、揮発性メモリで形成される。

[0057] 通信器 4 4 は、外部装置と無線通信を行う。通信器 4 4 は、例えば、移動体 1 と通信を行う。

[0058] 図 6 は、処理器 4 1 の機能ブロック図である。処理器 4 1 は、記憶器 4 2 から経路計画プログラム 4 2 a をメモリ 4 3 に読み出して展開することによって、各種機能を実現する。具体的には、処理器 4 1 は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する取得器 4 5 と、始点 S から目標点 G までの移動体 1 の目標経路を生成する生成器 4 6 として機能する。生成器 4 6 は、移動体 1 と障害物との干渉を回避するように障害物情報に基づいて目標経路を生成する。

[0059] 障害物情報は、障害物の位置、速度及び種別の少なくとも 1 つを含む。障害物は、地物、建物、移動体、工事現場、不整地、浅瀬、養殖場等を含み得る。経路計画装置 1 0 0 は自動運転を行う各移動体 1 の目標経路を生成するので、一の移動体 1 は他の移動体 1 の障害物となり得る。移動体の情報は、例えば、移動体の種別が含まれる。移動体の種別は、例えば、船舶、車両及び飛行体等である。さらに、移動体の種別は、大型船、中型船及び小型船等の詳細な種別を含んでいてもよい。

[0060] 地物、建物、工事現場、不整地、浅瀬及び養殖場等の情報は、記憶器 4 2 又は外部のデータベースに保存されている。取得器 4 5 は、記憶器 4 2 又はデータベースからこれらの情報を取得する。

[0061] 取得器 4 5 は、移動体 1 に関する情報を監視センサ 1 1 から取得し得る。取得器 4 5 は、移動体 1 に関する情報を移動体 1 から取得してもよい。取得器 4 5 は、移動体 1 から、移動体 1 自体の情報を障害物情報として取得し得る。移動体 1 が他の移動体 1 を検知する機能を有する場合、取得器 4 5 は、移動体 1 から別の移動体 1 に関する情報を取得してもよい。

[0062] 取得器 4 5 は、障害物情報を逐次取得する。詳しくは、監視装置 3 は、適宜のタイミングで監視情報を経路計画装置 1 0 0 へ送信する。移動体 1 は、

適宜のタイミングで監視情報を経路計画装置 100 へ送信する。取得器 45 は、送信されてくる監視情報を受信し、記憶器 42 に保存する。取得された障害物情報は、記憶器 42 に蓄積されていく。これにより、取得器 45 は、障害物情報の経時変化を取得する。

[0063] 生成器 46 は、始点 S から目標点 G までの移動体の目標経路を生成する。生成器 46 は、移動体 1 と障害物との干渉を回避する、目標経路の複数の候補を探索し、複数の候補の中から経路コストに基づいて目標経路を決定する。生成器 46 は、障害物の位置の経時変化を予測して、移動体 1 と障害物との干渉を回避する複数の候補を探索する。生成器 46 は、複数の候補の探索及び目標経路の決定を逐次更新する。例えば、始点 S は、移動体 1 の現在位置である。目標点 G は、移動体 1 から経路計画装置 100 によって受け取られる。

[0064] 詳しくは、生成器 46 は、障害物の位置の経時変化を予測する予測器 47 と、経路探索を実行する際の空間である探索空間を生成する空間生成器 48 と、探索空間において目標経路の複数の候補を探索し、複数の候補の中から目標経路を決定する探索器 49 とを含む。

[0065] 予測器 47 は、障害物の位置の経時変化を障害物情報に基づいて予測する。詳しくは、予測器 47 は、取得器 45 によって取得された障害物情報に基づいて障害物の位置の経時変化を予測する。予測器 47 は、将来的に障害物が存在し得る障害物の予測領域を求める。尚、障害物が静止物の場合には、位置は変わらない。障害物が静止物の場合に、予測器 47 によって予測される障害物の位置は、経時的に一定である。この例では、障害物の位置は、移動体 1 が移動する二次元空間における障害物の二次元位置である。すなわち、障害物の位置は、移動体 1 が移動する面内における障害物の二次元位置であり、高さ位置を含まない。

[0066] 予測領域は、将来的に障害物が存在する、又は、存在する可能性が高い領域である。予測器 47 は、時間に応じた連続的又は離散的な予測領域を求める。各時間の予測領域は、移動体 1 の移動する二次元空間における二次元的

な領域である。予測領域は、障害物の平面形状、即ち、二次元形状を包含する大きさを有する。予測領域は、例えば、円形、楕円形又は多角形で表される。

[0067] 予測器 47 は、障害物情報に基づいて時間経過に伴う障害物の挙動予測を行い、障害物が存在し得る障害物の予測領域を求めてもよい。障害物の挙動予測は、公知の様々な手法によって実行される。例えば、障害物情報に障害物の速度が含まれる場合、予測器 47 は、障害物が等速運動を行うと仮定して障害物の移動範囲を予測してもよい。あるいは、予測器 47 は、障害物情報の経時変化に基づいて障害物の速度を求め、求められた速度で等速運動する障害物の移動範囲を予測してもよい。あるいは、予測器 47 は、障害物の予測軌道を運動モデルで仮定し、カルマンフィルタ又はベイズアンフィルタ等を用いて予測分布を求めてもよい。このとき、予測器 47 は、障害物の種類及び外形に基づいて、運動モデルの各種パラメータを推定する。あるいは、予測器 47 は、データ駆動型制御を用いて、運動モデル又は入力分布を推定してもよい。予測器 47 は、過去の障害物情報を利用して、確率的運動モデル及び入力分布を機械学習（ガウス過程又はベイズ推定等）によって推定してもよい。予測器 47 は、障害物の予測分布を、MCMC（Markov Chain Monte Carlo）法のようなサンプリング法によって計算し得る。あるいは、予測器 47 は、障害物の予測分布を、モーメントマッチング等によって近似してもよい。

[0068] 図 7 は、探索空間の一例である。探索空間は、移動体 1 の移動する二次元空間に時間を次元として加えた三次元空間である。図 7 では、XY 平面が移動体 1 の移動する二次元空間である。Z 軸は時間軸である。つまり、Z 座標が大きくなるほど時間が経過することを意味する。始点 S は、時間軸方向において最も時間が早い層に位置する。目標点 G は、時間軸方向において最も時間が進んだ層に位置する。この例では、目標点 G は、所定の面積を有する領域で表されている。

[0069] 空間生成器 48 は、探索空間において障害物の将来的な予測位置を含む三

次元状の障害物領域 6 1 を作成する。空間生成器 4 8 は、予測器 4 7 によって求められた予測領域に基づいて障害物領域 6 1 を作成する。各時間の予測領域は二次元的な領域である。空間生成器 4 8 は、探索空間において時間ごとの二次元的な予測領域を時間軸方向へ並べ、これらの予測領域を連続的に繋ぐことによって、立体的な領域を作成する。この立体的な領域が障害物領域 6 1 である。図 7 では、5 つの障害物領域 6 1 A、障害物領域 6 1 B、障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E が作成されている。尚、それぞれを区別しない場合には、単に「障害物領域 6 1」と称する。

[0070] 障害物領域 6 1 A 及び障害物領域 6 1 B は、静止した障害物に対応する。例えば、障害物領域 6 1 A は、岸壁 9 1 に対応する。障害物領域 6 1 B は、防波堤 9 2 に対応する。静止した障害物に対応する障害物領域 6 1 A 及び障害物領域 6 1 B は、障害物の平面形状が時間軸方向へ単純に延びた領域となる。すなわち、障害物領域 6 1 A 及び障害物領域 6 1 B は、時間軸と平行な形状となる。障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E は、移動する障害物に対応する。例えば、障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E はそれぞれ、他の移動体 1 に対応する。移動する障害物に対応する障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E は、時間軸に対して直線的又は曲線的に傾斜した領域となる。障害物の移動が等速の場合には、障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E は、時間軸に対して直線的に傾斜する。障害物の移動が非等速の場合には、障害物領域 6 1 C、障害物領域 6 1 D 及び障害物領域 6 1 E は、時間軸に対して曲線的に傾斜する。

[0071] 探索器 4 9 は、探索空間において障害物領域 6 1 と干渉しない、目標経路の複数の候補を探索する。すなわち、探索器 4 9 は、複数の候補を探索空間において障害物領域 6 1 を避けて探索する。探索空間においては障害物が静止した立体にみなされるので、障害物の経時的な挙動を考慮することなく、経路が探索される。探索器 4 9 は、R R T - s t a r アルゴリズムを活用して複数の候補を探索する。各候補の構成は、探索の手法に依存する。例えば

、各候補は、複数のノードを含む。

[0072] 探索空間は時間軸を有するので、探索器49は、経路を探索する際に時間軸方向において時間が経過する側に新しいノードを探索する。さらに、移動体1は最大速度を有するので、移動体1が単位時間あたりに移動できる範囲（以下、「移動可能範囲」という）Aが限られている。三次元状の探索空間では、移動可能範囲Aは、始点Sを頂点として時間軸方向において時間が進む側へ広がる円錐状（図7では逆円錐状）の領域となる。時間軸に対する円錐の母線の傾きは、移動体1の最大速度に対応する。探索器49は、移動可能範囲A内で複数の候補を探索する。さらに、一のノードに繋がる新しいノードを探索する際にも、2つのノードを連結するエッジの時間軸に対する傾きが移動体1の最大速度によって制限される。つまり、時間軸に対するエッジの傾きが所定の閾値以下となる条件下で、一のノードに繋がる新しいノードが探索される。閾値は、移動体1の最大速度に対応している。

[0073] 図8は、探索空間において探索された複数の候補を示す模式図である。図8の探索空間は、図7と同じである。探索器49は、始点Sから時間が進む側へ、障害物領域61と干渉しない新たなノードを探索して、目標点Gに到達する経路を目標経路の候補として生成する。図8の例では、探索器49によって、3つの候補R1、R2及びR3が生成されている。

[0074] このとき、探索器49は、移動体1の非ホロノミック特性に基づいて複数の候補を探索する。例えば、探索器49は、移動体1が横滑りをしないという条件下で経路を探索する。具体的には、各候補には複数のノードが含まれ、ノードは、移動体1の位置と姿勢（角度）で定義される。探索器49は、一のノードに連結される新たなノードを設定する際に、移動体1を一のノードから新たなノードへ円弧状に移動すると想定して、新たなノードでの移動体1の姿勢を決定する。ノードを定義する移動体1の位置は、時間軸を含む三次元状の探索空間で探索される一方、ノードを定義する移動体1の姿勢は、移動体1の移動する二次元空間における姿勢が探索される。

[0075] 図9は、新たなノードの探索を説明するための説明図である。図9は、移

動体 1 の移動する二次元空間を示す。尚、ノード間の移動中の旋回半径は、一定であるとする。二次元空間のグローバル座標系における、既に設定されたノード m の座標を (x_m, y_m) とする。移動体 1 の姿勢は、グローバル座標系の x 軸の正の部分に対する角度で表される。ノード m における移動体 1 の姿勢を θ_m とする。二次元空間のグローバル座標系における、新たなノード n の座標を (x_n, y_n) とする。ノード m における移動体 1 の姿勢行列は、以下の式 (1) で表される。

[0076] [数1]

$$R_m = \begin{pmatrix} \cos \theta_m & -\sin \theta_m \\ \sin \theta_m & \cos \theta_m \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

[0077] 移動体 1 の進行方向を x' 軸とし、進行方向と直交する方向を y' 軸とする、移動体 1 のローカル座標系が設定される。進行方向における前側を x' 軸の正とし、進行方向に対する右側を y' 軸の正とする。ローカル座標系におけるノード n の座標を (x_b, y_b) とすると、以下の関係式が成り立つ。

[0078] [数2]

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = R_m \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

[0079] 移動体 1 は、ノード m から円弧状にノード n まで移動する場合、 y' 軸上に位置する点 C を中心に旋回する。ノード n における移動体 1 の進行方向は、点 C を中心とし、半径 r とする円の接線方向を向く。

[0080] 図 10 は、移動体 1 のグローバル座標系における一のノードと新ノードとの位置関係を示す説明図である。グローバル座標系において、ノード m における移動体 1 の位置を点 O とし、ノード n における移動体 1 の位置を点 Q とする。点 Q から辺 OC への垂線と辺 OC との交点を A とし、点 C から辺 OQ への垂線と辺 OQ との交点を B とする。三角形 O A Q と三角形 O B C とは相似であるため、半径 r は、以下の式で表される。

[0081] [数3]

$$r = OQ \cdot \frac{OB}{OA} = \frac{\sqrt{x_b^2 + y_b^2}}{2|y_b|} \quad \dots (3)$$

[0082] ノードmからノードnへの移動体1の旋回角度を $\Delta\theta$ とする。ノードmにおける移動体1に対するノードnにおける移動体1の姿勢の変化、即ち、相対角度 θ_{mn} は、旋回角度 $\Delta\theta$ と以下の関係となる。

[0083] [数4]

$$\begin{cases} \theta_{mn} = \Delta\theta & y_b \geq 0 & \text{右旋回} \\ \theta_{mn} = -\Delta\theta & y_b < 0 & \text{左旋回} \end{cases} \quad \dots (4)$$

[0084] また、図10における幾何学的関係から以下の式が成り立つ。

[0085] [数5]

$$\begin{cases} \sin \Delta\theta = \frac{x_b}{r} \\ \cos \Delta\theta = \frac{r - |y_b|}{r} \end{cases} \quad \dots (5)$$

[0086] よって、ノードmに対するノードnの相対姿勢 R_{nm} は、以下の式で表される。

[0087] [数6]

$$R_{nm} = \begin{pmatrix} C_{mn} & -S_{mn} \\ S_{mn} & C_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Delta\theta & -\sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{pmatrix}, \quad y_b \geq 0 \quad \text{右旋回} \quad \dots (6)$$

[0088] よって、姿勢のChain Ruleにより、ノードnの姿勢行列 R_n は、以下の式で表される。

[0089] [数7]

$$R_n = \begin{pmatrix} C_n & -S_n \\ S_n & C_n \end{pmatrix} = R_{nm} R_m \quad \dots (7)$$

[0090] 一のノードに対して新たなノードの位置座標が設定されると、式(7)の姿勢行列によって新たなノードにおける移動体1の姿勢が決まる。こうして、探索器49は、新たなノードの位置及び姿勢を順次設定し、1つの候補を生成する。

[0091] その際、式(3)で表される旋回半径 r が所定の閾値未満の場合には、探索器49は、対応するノードを新たなノードの候補から除外し、別のノードを新たなノードとして選択し直す。例えば、閾値は、移動体1に固有の最小旋回半径である。移動体1の非ホロノミック特性に従うと、移動体1は、小さすぎる旋回半径 r では旋回できない。探索器49は、取得器45によって

取得された障害物情報に基づいて、障害物としての移動体 1 に固有の最小旋回半径を求め得る。例えば、移動体 1 の大きさ又は型式等に対応する最小旋回半径が記憶器 4 2 に予め記憶されている。探索器 4 9 は、障害物情報に対応する最小旋回半径を記憶器 4 2 から読み出す。

[0092] このように、探索器 4 9 は、移動体 1 が円弧状に旋回することを前提に新たなノードにおける移動体 1 の姿勢を決定することによって、移動体 1 の非ホロノミック特性に基づいた経路を探索する。さらに、探索器 4 9 は、旋回半径 r が小さすぎる場合には対応するノードを除外することによっても、移動体 1 の非ホロノミック特性に基づいた経路を探索する。

[0093] 探索器 4 9 は、複数の候補の中から経路コストに基づいて目標経路を決定する。つまり、探索器 4 9 は、複数の候補のそれぞれの経路コストを求める。探索器 4 9 は、複数の候補の中から経路コストが最小の候補を目標経路に決定する。経路コストには、各種のコストが含まれ得る。例えば、経路コストは、複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。蛇行の程度は、曲率の大きさ、旋回の回数又は旋回の向きの切替回数等を意味する。蛇行の程度が大きいとは、曲率が大きい、旋回の回数が多い、又は、旋回の向きの切替回数が多いこと等を意味する。通常、何の制約も無ければ、移動体 1 は、始点 S から目標点 G に向かって直線状に進む。この場合の経路の蛇行の程度は小さい。しかしながら、移動体 1 が障害物を迂回する場合には、経路は蛇行することになる。多くの障害物を迂回するほど、経路がより複雑になり、蛇行の程度が大きくなる。つまり、蛇行コストが大きいことは、経路が複雑になり、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが高いことを意味する。

[0094] この例では、蛇行コストは、複数の候補のそれぞれにおける曲率に関連する曲率コストを含み得る。各候補に含まれる、移動体 1 が旋回する部分に曲率に応じた曲率コストが付与される。複数の旋回部分が含まれる場合には、旋回部分のそれぞれに曲率コストが付与される。旋回部分の曲率が大きいほど、曲率コストが大きくなる。旋回部分の個数が多いほど、全体的な曲率コ

ストが大きくなる。

[0095] より詳しくは、探索器49は、各候補に含まれる複数のノードに関し、互いに連結される各2つのノード間に曲率コストを付与する。各候補は、前述のように、順次連結される複数のノードを含む。各候補は厳密には折れ線状であるが、移動体1は実際には複数のノードを辿って曲線状に移動する。探索器49は、互いに連結される各2つのノード間を移動体1が旋回、即ち、円弧状に移動することを前提として複数のノードを探索する。探索器49は、互いに連結される各2つのノード間の曲率を移動体1の旋回半径 r に基づいて評価する。つまり、移動体1の旋回半径 r は、各2つのノード間の曲率半径である。探索器49は、旋回半径 r が小さいほど大きい曲率コストを、対応する2つのノード間に付与する。複数のノードの中には、略直線状に連結される2つのノードも含まれ得る。そのような2つのノード間には小さな曲率コストが付与される。探索器49は、各候補における全てのノード間の曲率を評価し、曲率コストを付与する。その結果、経路中に含まれる旋回部分の個数が多いほど、その候補の合計の曲率コスト、即ち、全体的な曲率コストが大きくなる。あるいは、経路中に大きな曲率の旋回部分が含まれる場合には、その候補の全体的な曲率コストが大きくなる。

[0096] 経路コストは、距離に関連するコスト、即ち、距離コストを含んでもよい。例えば、各候補が複数のノードを含む場合、連結される各2つのノード間の直線距離に応じた距離コストが付与されてもよい。直線距離が長いほど、大きな距離コストが付与される。各候補に含まれる全てのノード間の距離コストの合計によって、各候補の全体的な距離コストが評価され得る。

[0097] 経路コストは、障害物との接近の程度に関連するコスト、即ち、接近コストを含んでもよい。例えば、各候補が複数のノードを含む場合、各ノードと周囲の障害物との最短距離に応じたコストが接近コストとして付与されてもよい。障害物との最短距離が短くなるほど、大きな接近コストが付与される。各候補の接近コストの合計値によって、各候補の障害物との接近の程度が評価され得る。

[0098] 探索器 4 9 は、複数の候補の中から一又は複数の目標経路を決定する。一の目標経路が決定される場合、探索器 4 9 は、複数の候補の中から経路コストが最小の候補を目標経路に決定する。複数の目標経路が決定される場合、探索器 4 9 は、複数の候補の中から経路コストが小さい順に目標経路の個数に相当する数の候補を複数の目標経路に決定する。経路コストは、少なくとも蛇行コストを含んでいる。これにより、探索器 4 9 は、複数の候補の中から蛇行の程度の小さい候補を目標経路に決定する。移動体 1 が障害物を迂回する際には蛇行が生じる。移動体 1 が複数の障害物の集団の中を移動する場合には、旋回の回数が増加する、又は、旋回が急になる可能性がある。つまり、移動体 1 が複数の障害物の中を縫うように移動する場合には経路の蛇行の程度が大きくなる可能性が高い。移動体 1 が複数の障害物の中を縫うように移動する場合には、移動体 1 が障害物と干渉するリスクも高まる。一方、移動体 1 が複数の障害物の集団を大きく迂回して移動する場合には、旋回の回数が減少する、又は、旋回が緩やかになる可能性がある。つまり、経路の蛇行の程度が小さくなる可能性が高い。その場合、移動体 1 が障害物に干渉するリスクも低減する。探索器 4 9 が蛇行コストを考慮して目標経路に決定することによって、複数の障害物の集団を大きく迂回する候補が目標経路に決定される傾向にある。

[0099] 図 1 1 は、探索された複数の候補の二次元的な模式図である。図 1 1 では、複数の候補 R 1、R 2 及び R 3 が移動体 1 の移動する二次元空間上に表されている。図 1 1 の複数の候補 R 1、R 2 及び R 3 は、図 8 の複数の候補 R 1、R 2 及び R 3 と対応している。移動する障害物に対応する障害物領域 6 1 C、6 1 D 及び 6 1 E については、移動体 1 が始点 S に位置するときの位置が実線で表され、予測される移動範囲が二点鎖線で表されている。

[0100] 候補 R 1 は、始点 S から障害物領域 6 1 A と障害物領域 6 1 C との間を通過し、障害物領域 6 1 D を左側に迂回して、目標点 G に到達する。候補 R 1 は、障害物領域 6 1 D を左側へ迂回することによって、障害物領域 6 1 D と障害物領域 6 1 E との間を通過することを回避している。そのため、候補 R

1の全体的な距離は少し長くなるものの、候補R1の蛇行の回数は比較的少なく、候補R1に含まれる旋回部分の曲率は比較的小さい。

[0101] 候補R2は、始点Sから障害物領域61Aと障害物領域61Cとの間を通過し、障害物領域61Dと障害物領域61Eとの間を通過して、目標点Gに到達する。候補R2は、障害物領域61Dと障害物領域61Eとの間を通過している。そのため、候補R2の全体的な距離は比較的短くなるものの、候補R2の蛇行の回数は多く、候補R2に含まれる旋回部分の曲率が大きい。

[0102] 候補R3は、始点Sから障害物領域61Bと障害物領域61Cとの間を通過し、障害物領域61Eを右側に迂回して、目標点Gに到達する。候補R3は、障害物領域61Eを右側へ迂回することによって、障害物領域61Dと障害物領域61Eとの間を通過することを回避している。そのため、候補R3の全体的な距離は少し長くなるものの、候補R3の蛇行の回数は比較的少なく、候補R3に含まれる旋回部分の曲率は比較的小さい。

[0103] この例では、経路コストは、蛇行コストに加えて、距離コストを含む。3つの候補R1、R2及びR3を比較すると、距離に関しては、候補R2の距離コストが最も小さく、候補R3の距離コストが最も大きい。蛇行に関しては、候補R1の蛇行コストが最も小さく、候補R2の蛇行コストが最も大きい。距離コストと蛇行コストを含む総合的な経路コストに関しては、候補R1の経路コストが最も小さい。つまり、候補R1の全体的な距離が多少長いものの、候補R1の蛇行の程度が小さく、移動体1と障害物との干渉のリスクが小さい。

[0104] 探索器49は、一の目標経路を決定する場合、干渉のリスク及び全体的な距離を総合的に判断して、候補R1を目標経路として決定する。探索器49は、複数、例えば、2個の目標経路を決定する場合、干渉のリスク及び全体的な距離を総合的に判断して、候補R1及び候補R3を目標経路として決定する。

[0105] 探索器49は、決定された目標経路を出力する。この例では、目標経路は、対象の移動体1へ送信される。

- [0106] 尚、経路コストは接近コストを含んでいてもよい。ただし、この例では、候補R 1、R 2 及びR 3 のそれぞれの接近コストは、何れも同程度である。
- [0107] 続いて、経路計画装置100の動作について図12を参照しながら説明する。図12は、経路計画のフローチャートである。経路計画装置100は、対象となる移動体1の目標経路を生成する。対象となる移動体1が複数存在する場合には、経路計画装置100は、対象となる移動体1のそれぞれの目標経路を生成する。
- [0108] この例では、監視センサ11から障害物情報が適宜送信されており、取得器45は、障害物情報を随時取得している。それに加えて、取得器45は、移動体1から送信されてくる障害物情報も随時取得している。つまり、後述するステップS101以降の処理と並行して、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得することが実行されている。
- [0109] その状況下で、生成器46は、ステップS101において、生成条件の成立を判定する。生成条件は、経路計画を開始するための条件である。例えば、経路計画装置100が移動体1からリクエストを受信することである。つまり、経路計画装置100は、移動体1からのリクエストを受けて経路計画を実行する。生成条件は、所定の生成周期が到来することであってもよい。生成周期は、所定の時間間隔で到来する。つまり、経路計画装置100は、周期的に経路計画を実行する。生成条件は、前回の目標経路を生成してから所定時間が経過することであってもよい。つまり、経路計画装置100は、目標経路を生成してからある程度時間が経過すると、経路計画を再び実行する。生成条件は、前回の目標経路の生成時から周辺環境が変化したことであってもよい。周辺環境の変化は、新たな障害物が検知される、又は、既知の障害物が予測挙動と異なる挙動をする等である。後述するが、目標経路を生成するために障害物の挙動が予測されている。生成器46は、障害物の現在位置、即ち、最新の障害物情報に基づく位置が直近の予測領域から外れている場合に、周辺環境の変化があったと判定する。生成器46は、最新の障害物情報に基づいて新たな移動体1が検知された場合にも、周辺環境の変化が

あったと判定する。つまり、前回の目標経路の前提となる障害物の予測挙動が実際の障害物の挙動とずれている場合には、経路計画装置100は、経路計画を再び実行する。生成条件は、前述のリクエストの受信、生成周期の到来、所定時間の経過、及び、周辺環境の変化の何れか1つが成立することであってもよい。

[0110] 生成条件が成立していない場合には、生成器46は、ステップS101を繰り返し、生成条件の成立を待機する。

[0111] 生成条件が成立した場合には、予測器47は、ステップS102において、障害物情報に基づいて障害物の挙動を予測する。具体的には、予測器47は、障害物が静止しているか移動するかを判定する。障害物が移動する場合には、予測器47は、障害物の位置の経時変化、即ち、移動を予測する。

[0112] 続いて、空間生成器48は、ステップS103において、探索空間を生成する。具体的には、空間生成器48は、移動体1の移動する二次元空間に時間軸を加えた三次元空間に三次元状の障害物領域61を作成する。

[0113] そして、探索器49は、ステップS104において、目標経路の複数の候補を探索空間内で探索する。探索器49は、移動体1が障害物領域と干渉しない複数の候補を探索する。このとき、探索器49は、移動体1の非ホロノミック特性に基づいて経路を探索する。具体的には、探索器49は、一のノードから次のノードを探索する際に、移動体1の非ホロノミック特性に従って移動可能な次のノードを探索する。

[0114] さらに、探索器49は、複数の候補の中から経路コストに基づいて目標経路を決定する。探索器49は、複数の候補の中から経路コストが最小の候補を目標経路に決定する。経路コストには、蛇行コストが含まれる。これにより、蛇行が緩やか、又は、蛇行の回数が少ない候補が目標経路として決定される。尚、経路コストには、距離コスト又は接近コストがさらに含まれていてもよい。これにより、蛇行の程度が小さいことに加えて、全体的な距離が短い、又は、障害物へあまり接近しない候補が目標経路として決定される。ステップS104は、始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体

と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成することに相当する。

[0115] 目標経路が決定されると、ステップS 1 0 5において、生成器4 6は、目標経路を対象の移動体1へ送信する。

[0116] 目標経路が送信された後は、生成器4 6は、ステップS 1 0 1において生成条件の判定を再び判定する。これにより、前述の目標経路の生成が繰り返し実行される。目標経路の生成は、対象の移動体1が目標点に到達するまで繰り返される。

[0117] 次に、移動体1の動作について図1 3を参照しながら説明する。図1 3は、自動運転のフローチャートである。移動体1は、手動運転と自動運転とを切り替え可能に構成されている。制御装置2は、自動運転に切り替わると、経路計画装置1 0 0へ目標経路のリクエストを送信する。ここでは、経路計画装置1 0 0から複数の目標経路が送られてくる場合について説明する。

[0118] 制御装置2が経路計画装置1 0 0から複数の目標経路を受信すると、ステップS 2 0 1において、表示器1 5は、複数の目標経路の画像を表示する。詳しくは、画像生成器2 1 1が複数の目標経路の画像を生成し、生成された画像を表示器1 5に出力する。例えば、経路計画装置1 0 0から2つの目標経路を受信した場合には、表示器1 5は、2つの目標経路を含む航路図を表示する。このとき、表示器1 5は、複数の目標経路と共にそれぞれの優先順位を表示する。

[0119] 図1 4は、表示器1 5によって表示される画像の一例である。目標経路P 1は、図1 0の候補R 1に対応し、目標経路P 3は、図1 0の候補R 3に対応する。目標経路P 1の経路コストは、目標経路P 3の経路コストよりも小さい。目標経路P 1の優先順位が最も高い。図1 4の例では、表示器1 5は、優先順位が最も高い目標経路P 1を実線で表示し、目標経路P 3を破線で表示する。表示器1 5は、目標経路P 1及びP 3のそれぞれの経路コストを表示してもよい。ユーザは、表示器1 5に表示された目標経路を参照して、入力器1 6を介して一の目標経路を選択できる。

- [0120] 続いて、ユーザが入力器 16 を介して複数の目標経路の中から一の目標経路を選択すると、ステップ S 202 において、受付器 212 は、ユーザから一の目標経路の選択を受け付け、選択された目標経路を自動運転に用いられる目標経路として設定する。
- [0121] 例えば、図 14 に示す画像において目標経路 P 1 がユーザに選択されると、受付器 212 は、目標経路 P 1 を自動運転の目標経路として設定する。ユーザは、目標経路 P 3 を選択することもできる。
- [0122] 目標経路が設定されると、制御装置 2 は、ステップ S 203 において自動運転を実行する。制御装置 2 は、設定された目標経路に沿って移動体 1 が移動するように、アクチュエータ 12 に指令操作量を出力して、移動体 1 を自動運転する。
- [0123] その後、ステップ S 204 において、制御装置 2 は、目標経路を経路計画装置 100 から受信したか否かを判定する。経路計画装置 100 は、目標経路を随時更新している。つまり、制御装置 2 は、ステップ S 204 を繰り返すことによって、更新された目標経路の受信を待機する。
- [0124] 制御装置 2 は、目標経路を受信すると、ステップ S 201 へ戻る。つまり、表示器 15 は、目標経路の表示を更新する。目標経路の更新後のステップ S 202 では、ユーザからの選択入力が無い場合には、制御装置 2 は、更新前に設定されていた目標経路に近い目標経路を自動運転に用いられる目標経路に設定し、ステップ S 203 において自動運転を継続する。つまり、自動運転が開始された後は、ユーザによる目標経路の変更操作が無い限りは、最初に選択された目標経路が更新によって調整されながら、該目標経路に沿って自動運転が継続される。
- [0125] 尚、経路計画装置 100 から出力される目標経路が 1 つだけの場合には、図 13 のフローチャートからステップ S 202 が削除される。表示器 15 は、受信した一の目標経路を表示し（ステップ S 201）、制御装置 2 は、一の目標経路に従って自動運転を実行する（ステップ S 203）。そして、一の目標経路が更新された場合には、表示器 15 は、更新後の目標経路を表示

し（ステップS201）、制御装置2は、更新後の目標経路に従って自動運転を実行する（ステップS203）。

[0126] このような経路計画によれば、蛇行の程度が小さい目標経路が生成される。蛇行の程度が小さいことは、移動体1の障害物の迂回が少ないことと相関がある。障害物の迂回が少ないと、移動体1が障害物と干渉するリスクが小さい。例えば、複数の障害物が存在する場合に、複数の障害物の間を縫って最短距離を移動する経路よりも、複数の障害物を全体的に迂回する経路が目標経路として決定される。これにより、移動体1が障害物に干渉するリスクが大幅に低減される。

[0127] さらに、障害物の位置の経時変化が予測され、障害物の予測領域に基づいて、移動体1と障害物との干渉が回避される経路が探索される。これにより、障害物との干渉が回避される経路生成の精度が向上する。

[0128] それに加えて、経路探索は、移動体1の移動する二次元空間に時間軸を加えた三次元状の探索空間で行われる。これにより、移動する障害物を静止した立体とみなして、経路が探索される。その結果、経路探索の演算負荷を軽減できる。

[0129] 経路計画装置100は、このような経路計画を繰り返し実行することによって、目標経路を更新する。障害物は、想定外の挙動を取り得る。移動する障害物の挙動予測に基づいて経路計画が行われる場合でも、目標経路が更新されることによって、障害物の想定外の挙動にも対応できる。

[0130] 目標経路の選択の際に参照される経路コストには、蛇行の程度に関連する蛇行コストが含まれる。蛇行コストは、各候補の経路における曲率に関連する曲率コストを含む。経路の曲率が大きいことは、移動体1が急な旋回を行うことを意味する。急な旋回は、移動体1による障害物の急な回避の可能性がある。つまり、曲率コストが小さいことは、障害物の急な迂回が少ないことを意味し、結果として、移動体1と障害物との干渉のリスクが小さいことを意味する。このように、経路の曲率を考慮することによって、移動体1と障害物との干渉のリスクを考慮して目標経路を決定できる。

- [0131] 具体的には、各候補の経路に含まれる、移動体 1 の旋回する部分に曲率に応じた曲率コストが付与される。より詳しくは、目標経路の候補の探索時には移動体 1 の非ホロノミック特定が考慮され、移動体 1 が旋回して移動することを前提にノードの探索が行われる。ノードが探索されるときに、移動体 1 の旋回半径 r 、即ち、曲率半径が求められる。互いに連結される各ノード間に旋回半径 r に基づいて曲率コストが付与される。これにより、移動体 1 の実際の挙動を考慮して、経路の曲率が評価される。
- [0132] 前述のように、移動体 1 の非ホロノミック特性に基づいて複数の候補を探索することによって、移動体 1 の実際の挙動に忠実な経路を探索できる。さらに、候補の探索に加えて、経路の曲率を導出できる。
- [0133] 新たなノードの位置を時間軸を含む三次元状の探索空間で探索しつつ、新たなノードにおける移動体 1 の姿勢を移動体 1 の移動する二次元空間で求めることによって、移動する障害物との干渉回避と非ホロノミック特性に従った移動体 1 の移動との両方を実現する経路を容易に探索できる。
- [0134] 移動体 1 の表示器 15 に目標経路が表示されるので、ユーザ、即ち、乗員は、自動運転における目標経路を確認できる。例えば、将来的な経路が不明な場合には、ユーザが移動体 1 の挙動に対して不安等を覚えることもあり得る。しかし、ユーザは、将来的な経路を知ることによって、移動体 1 の挙動に対する不安等を低減できる。あるいは、自動運転の目標経路がユーザの望まない経路である場合には、ユーザは、自動運転を手動運転に切り替えることもできる。
- [0135] さらに、経路計画装置 100 は、複数の目標経路を出力し、表示器 15 は、複数の目標経路を表示する。これによって、複数の目標経路の中から一の目標経路の決定をユーザが実行できる。つまり、経路コストに基づいて幾つかに絞った目標経路をユーザに提示し、ユーザが経路コスト以外の要因も考慮して最終的な目標経路を決定できる。
- [0136] このとき、表示器 15 が目標経路の優先順位も表示することによって、ユーザによる目標経路の選択を助けることができる。

[0137] 《その他の実施形態》

以上のように、本出願において開示する技術の例示として、前記実施形態を説明した。しかしながら、本開示における技術は、これに限定されず、適宜、変更、置き換え、付加、省略などを行った実施の形態にも適用可能である。また、前記実施形態で説明した各構成要素を組み合わせ、新たな実施の形態とすることも可能である。また、添付図面および詳細な説明に記載された構成要素の中には、課題解決のために必須な構成要素だけでなく、前記技術を例示するために、課題解決のためには必須でない構成要素も含まれる。そのため、それらの必須ではない構成要素が添付図面や詳細な説明に記載されていることをもって、直ちに、それらの必須ではない構成要素が必須であるとの認定をするべきではない。

[0138] 例えば、目標経路を受け取る移動体 1 は、前述の例に限定されない。例えば、移動体 1 は、車両又は自律ロボット（例えば、キャリアパレット）又は飛行装置（例えば、ドローン）等であってもよい。移動体 1 は、自動運転を実行可能であれば、任意の移動体が採用され得る。目標経路の生成において障害物となり得る他の移動体 1 は、自動運転機能を有さなくてもよい。他の移動体 1 は、人等の生物であってもよい。例えば、他の移動体 1 は、道路を通行する歩行者、又は、サイト内で作業をする作業者等であってもよい。運転支援システム 1000 に含まれる移動体 1 の個数は、図 1 の例に限定されず、任意である。

[0139] アクチュエータ 12 は、移動体 1 の移動に関するアクチュエータである。アクチュエータ 12 は、電動モータ、エンジン及び舵に限定されない。移動体 1 が車両の場合には、アクチュエータ 12 は、ステアリング装置であり得る。移動体 1 がドローンの場合は、プロペラがアクチュエータである。

[0140] 移動体 1 の制御装置 2 の構成は、前述の構成に限定されない。目標経路に沿った移動体 1 の自動運転を実行できる限り、任意の構成が採用され得る。例えば、制御装置 2 は、自移動体 1 又は他移動体 1 の状態を推定せず、推定された自移動体 1 又は他移動体 1 の状態を経路計画装置 100 等の外部の装

置から取得してもよい。あるいは、制御装置2は、自移動体1の状態を推定し、他移動体1の状態は、他移動体1又は経路計画装置100等が推定してもよい。その場合、制御装置2は、他移動体1の状態の推定結果を外部の装置から取得する。さらに、目標軌道の生成、目標軌道の修正及び操作量の算出は、任意の手法が採用され得る。例えば、機械学習によって学習済みのモデルを用いて、自移動体1の状態量及び他移動体1の状態量を入力として、目標軌道が出力されてもよい。

[0141] 経路計画装置100は、管制塔120に限定されず、任意の場所に配置され得る。例えば、経路計画装置100は、自動運転を行う移動体1に配置されていてもよい。その場合、移動体1は、経路計画装置100によって目標経路を生成し、制御装置2によって目標経路に沿った自動運転を実行する。経路計画装置100は、単一の装置ではなく、複数の装置によって形成されていてもよい。

[0142] 経路計画装置100は、障害物情報を監視センサ11又は移動体1等にリクエストしてもよい。例えば、取得器45は、監視センサ11及び移動体1等に障害物情報を周期的にリクエストし、監視センサ11及び移動体1等からの障害物情報の返信を取得してもよい。

[0143] 目標経路の生成は、任意の手法が採用され得る。例えば、移動する障害物の各時間の予測領域は、同じ面積でなくてもよい。障害物の位置の予測は時間の経過とともに難しくなるので、各時間の予測領域は、時間が進むほど大きくなってもよい。つまり、障害物領域は、時間の進む側に向かって拡大する領域であってもよい。

[0144] 経路の探索は、`RRT-star`に限定されない。経路の探索は、`A-star`、`Hybrid A-star`、`kinodynamic RRT-star`、`RRT`等の探索アルゴリズムを活用してもよい。また、経路の探索は、移動体1の非ホロノミック特性に基づいて実行されなくてもよい。

[0145] 経路の各候補に含まれる湾曲部分の曲率は、ノードの探索時の移動体1の旋回半径 r に基づくものに限定されない。湾曲部分の曲率は、任意の手法で

評価し得る。例えば、複数のノードで形成される経路を曲線的に補間することによって、湾曲部分の曲率が求められてもよい。

[0146] 経路コストは、少なくとも蛇行コストを含んでいる。経路コストは、蛇行コストに加えて、距離コスト、接近コスト及びそれ以外のコストの少なくとも1つをさらに含んでもよい。

[0147] 表示器15による目標経路の表示は必須ではない。ユーザに目標経路が提示されることなく、経路計画装置100による目標経路の生成及び移動体1による目標経路に従った自動運転が行われてもよい。

[0148] 表示器15に目標経路を表示する場合であっても、表示器15は、自動運転に用いられる一の目標経路だけを表示してもよい。例えば、経路計画装置100が目標経路を1つだけ出力してもよい。あるいは、経路計画装置100から出力された複数の目標経路のうち優先順位が最も高い、例えば、経路コストが最も小さい目標経路だけを表示器15が表示してもよい。

[0149] 図12及び図14のフローチャートは、一例に過ぎない。フローチャートにおけるステップを適宜、変更、置き換え、付加、省略等を行ってもよい。また、フローチャートにおけるステップの順番を変更したり、直列的な処理を並列的に処理したりしてもよい。例えば、ステップS101の生成条件は、任意に設定され得る。生成条件は、前述のリクエストの受信、生成周期の到来、所定時間の経過、及び、周辺環境の変化の少なくとも1つ、又は、何れかの組み合わせであってもよい。

[0150] 本明細書中に記載されている構成要素により実現される機能は、当該記載された機能を実現するようにプログラムされた、汎用プロセッサ、特定用途プロセッサ、集積回路、ASICs (Application Specific Integrated Circuits)、CPU (a Central Processing Unit)、従来型の回路、及び／又はそれらの組合せを含む、回路 (circuitry) 又は演算回路 (processing circuitry) において実装されてもよい。プロセッサは、トランジスタ及びその他の回路を含み、回路又は演算回路とみなさ

れる。プロセッサは、メモリに格納されたプログラムを実行する、プログラマブルプロセッサ (programmed processor) であってもよい。

[0151] 本明細書において、回路 (circuitry)、ユニット、手段は、記載された機能を実現するようにプログラムされたハードウェア、又は実行するハードウェアである。当該ハードウェアは、本明細書に開示されているあらゆるハードウェア、又は、当該記載された機能を実現するようにプログラムされた、又は、実行するものとして知られているあらゆるハードウェアであってもよい。

[0152] 当該ハードウェアが回路 (circuitry) のタイプであるとみなされるプロセッサである場合、当該回路、手段、又はユニットは、ハードウェアと、当該ハードウェア及び又はプロセッサを構成する為に用いられるソフトウェアの組合せである。

[0153] [態様]

前記の実施形態は、以下の態様の具体例である。

[0154] (態様1) 経路計画装置100は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する取得器45と、始点Sから目標点Gまでの移動体1の目標経路を前記移動体1と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する生成器46とを備え、前記生成器46は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。

[0155] この構成によれば、経路コストに蛇行コストが含まれるので、各候補の蛇行の程度が考慮された上で、目標経路が決定される。経路の蛇行の程度が大きいと、移動体1による障害物の急な迂回、又は、移動体1による障害物の多くの迂回が経路中に含まれる可能性がある。自動運転では移動体1が障害物との干渉を回避して移動するのは当然であるが、迂回が急であったり、迂回の回数が多かったりすると、移動体1と障害物との干渉のリスクが高まる

。経路の蛇行の程度を考慮して目標経路が決定されることによって、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが低い目標経路が生成される。

[0156] (態様 2) 態様 1 に記載の経路計画装置 100 において、前記生成器 46 は、前記障害物の位置の経時変化を予測して、前記移動体 1 と前記障害物との干渉を回避する前記複数の候補を探索する。

[0157] この構成によれば、障害物の位置の経時変化を予測した上で移動体 1 と障害物との干渉を回避する複数の候補が探索されるので、障害物の将来の挙動を見越した目標経路が生成される。つまり、移動する障害物に対しても、移動体 1 と障害物との干渉を回避する目標経路が生成される。

[0158] (態様 3) 態様 1 及び態様 2 に記載の経路計画装置 100 において、前記生成器 46 は、前記移動体 1 の移動する二次元空間に時間を次元として加えた三次元空間において前記障害物の将来的な予測位置を含む三次元状の障害物領域 61 を作成し、前記複数の候補を前記三次元空間内において前記障害物領域を避けて探索する。

[0159] この構成によれば、移動する障害物を静止した立体とみなして、経路を探索できる。障害物の動的な挙動を考量しながら経路を探索しないのでよいので、経路探索の演算負荷を軽減できる。

[0160] (態様 4) 態様 1 乃至態様 3 の何れか 1 つに記載の経路計画装置 100 において、前記蛇行コストは、前記複数の候補のそれぞれにおける曲率に関連する曲率コストを含む。

[0161] この構成によれば、蛇行コストとして、各候補の曲率が評価される。経路の曲率が大きい候補の蛇行コストは、高くなり、目標経路として選択され難くなる。経路の曲率は、蛇行時の旋回の急峻さと相関がある。すなわち、曲率が大きいと、旋回が急になる。急な旋回は、障害物を急に迂回するような、高リスクの移動の可能性がある。蛇行コストとして曲率コストを含むことによって、旋回が緩やかな候補、又は、急旋回が少ない候補が目標経路に選択され易くなる。

[0162] (態様 5) 態様 1 乃至態様 4 の何れか 1 つに記載の経路計画装置 100

において、前記生成器 46 は、前記移動体 1 の非ホロノミック特性に基づいて前記複数の候補を探索する。

[0163] この構成によれば、移動体 1 の非現実的な挙動を排除して、経路探索が実行される。例えば、移動体 1 の横滑りのような移動を含まない滑らかな挙動に基づいた経路が探索される。これにより、実際の移動体 1 の挙動に即した目標経路が生成される。

[0164] 例えば、移動体 1 の非ホロノミック特性として、進路変更時に屈曲ではなく旋回を前提として経路探索が実行されると、各候補の曲率コストを評価しやすくなる。詳しくは、経路を構成する新たなノードを探索する際に移動体 1 の旋回を想定することによって、新たなノードの探索時に用いた移動体 1 の旋回半径 r に基づいて経路の旋回部分の曲率を評価できる。

[0165] (態様 6) 態様 1 乃至態様 5 の何れか 1 つに記載の経路計画装置 100 において、前記生成器 46 は、前記複数の候補の探索及び前記目標経路の決定を逐次更新する。

[0166] この構成によれば、周辺環境の経時的な変化に対応できる。詳しくは、目標経路は、移動体 1 と障害物とが干渉しないように障害物の位置に基づいて生成される。障害物は、移動する場合がある。目標経路を逐次更新することによって、移動する障害物に対応した目標経路を生成できる。

[0167] (態様 7) 運転支援システム 1000 は、態様 1 乃至態様 6 の何れか 1 つに記載の経路計画装置 100 と、自動運転を行う移動体 1 に搭載され、前記経路計画装置 100 からの前記目標経路を表示する表示器 15 とを備える。

[0168] この構成によれば、移動体 1 の乗員は、自動運転に用いられる目標経路を表示器 15 を介して確認できる。これにより、乗員は、自動運転における移動体 1 の将来的な挙動を予測できる。

[0169] (態様 8) 態様 7 に記載の運転支援システム 1000 において、前記経路計画装置 100 は、前記複数の候補の中から複数の前記目標経路を決定し、前記表示器 15 は、複数の前記目標経路を表示する。

- [0170] この構成によれば、経路計画装置 100 は、一の目標経路でなく、複数の目標経路を決定する。そして、表示器 15 には、複数の目標経路が表示される。
- [0171] (態様 9) 態様 7 又は態様 8 に記載の運転支援システム 1000 において、前記表示器 15 に表示された複数の前記目標経路の中から前記移動体 1 の自動運転に用いられる一の前記目標経路の選択をユーザから受け付ける受付器 212 をさらに備える。
- [0172] この構成によれば、乗員は、表示器 15 によって提示された複数の目標経路の中から自動運転に用いられる一の目標経路を選択できる。これにより、経路計画装置 100 が経路コストに基づいて目標経路を幾つかに絞り、ユーザが提示された複数の目標経路の中から経路コスト以外の要因も考慮して最終的な目標経路を決定できる。
- [0173] (態様 10) 態様 7 乃至態様 9 の何れか 1 つに記載の運転支援システム 1000 において、前記経路計画装置 100 は、前記複数の前記目標経路に前記経路コストに応じた優先順位を付与し、前記表示器 15 は、前記複数の目標経路の前記優先順位をさらに表示する。
- [0174] この構成によれば、乗員は、表示器 15 に表示された複数の目標経路の優劣、特に、経路コストに関する優劣を知得できる。優先順位は、乗員が一の目標経路を選択する際の助けになる。
- [0175] (態様 11) 経路計画方法は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得することと、始点 S から目標点 G までの移動体 1 の目標経路を前記移動体 1 と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成することとを含み、前記目標経路を生成することは、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。
- [0176] この構成によれば、経路コストに蛇行コストが含まれるので、各候補の蛇行の程度が考慮された上で、目標経路が決定される。経路の蛇行の程度が大

きいと、移動体 1 による障害物の急な迂回、又は、移動体 1 による障害物の多くの迂回が経路中に含まれる可能性がある。自動運転では移動体 1 が障害物との干渉を回避して移動するのは当然であるが、迂回が急であったり、迂回の回数が多かったりすると、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが高まる。経路の蛇行の程度を考慮して目標経路が決定されることによって、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが低い目標経路が生成される。

[0177] (態様 1 2) 経路計画プログラム 4 2 a は、障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する機能と、始点 S から目標点 G までの移動体 1 の目標経路を前記移動体 1 と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する機能とをコンピュータに実現させ、前記目標経路を生成する機能は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む。

[0178] この構成によれば、経路コストに蛇行コストが含まれるので、各候補の蛇行の程度が考慮された上で、目標経路が決定される。経路の蛇行の程度が大きいと、移動体 1 による障害物の急な迂回、又は、移動体 1 による障害物の多くの迂回が経路中に含まれる可能性がある。自動運転では移動体 1 が障害物との干渉を回避して移動するのは当然であるが、迂回が急であったり、迂回の回数が多かったりすると、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが高まる。経路の蛇行の程度を考慮して目標経路が決定されることによって、移動体 1 と障害物との干渉のリスクが低い目標経路が生成される。

請求の範囲

- [請求項1] 障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する取得器と、
始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する生成器とを備え、
前記生成器は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、
前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む経路計画装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の経路計画装置において、
前記生成器は、前記障害物の位置の経時変化を予測して、前記移動体と前記障害物との干渉を回避する前記複数の候補を探索する経路計画装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の経路計画装置において、
前記生成器は、
前記移動体の移動する二次元空間に時間を次元として加えた三次元空間において前記障害物の将来的な予測位置を含む三次元状の障害物領域を作成し、
前記複数の候補を前記三次元空間内において前記障害物領域を避けて探索する経路計画装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の経路計画装置において、
前記蛇行コストは、前記複数の候補のそれぞれにおける曲率に関連する曲率コストを含む経路計画装置。
- [請求項5] 請求項1に記載の経路計画装置において、
前記生成器は、前記移動体の非ホロノミック特性に基づいて前記複数の候補を探索する経路計画装置。
- [請求項6] 請求項1に記載の経路計画装置において、
前記生成器は、前記複数の候補の探索及び前記目標経路の決定を逐

次更新する経路計画装置。

- [請求項7] 請求項1乃至6の何れか1つに記載の経路計画装置と、
自動運転を行う移動体に搭載され、前記経路計画装置からの前記目標経路を表示する表示器とを備える運転支援システム。
- [請求項8] 請求項7に記載の運転支援システムにおいて、
前記経路計画装置は、前記複数の候補の中から複数の前記目標経路を決定し、
前記表示器は、複数の前記目標経路を表示する運転支援システム。
- [請求項9] 請求項8に記載の運転支援システムにおいて、
前記表示器に表示された複数の前記目標経路の中から前記移動体の自動運転に用いられる一の前記目標経路の選択をユーザから受け付ける受付器をさらに備える運転支援システム。
- [請求項10] 請求項9に記載の運転支援システムにおいて、
前記経路計画装置は、前記複数の前記目標経路に前記経路コストに応じた優先順位を付与し、
前記表示器は、前記複数の目標経路の前記優先順位をさらに表示する運転支援システム。
- [請求項11] 障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得することと、
始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成することとを含み、
前記目標経路を生成することは、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、
前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む経路計画方法。
- [請求項12] 障害物の位置に関する情報を含む障害物情報を取得する機能と、
始点から目標点までの移動体の目標経路を前記移動体と前記障害物

との干渉を回避するように前記障害物情報に基づいて生成する機能とをコンピュータに実現させ、

前記目標経路を生成する機能は、前記目標経路の複数の候補を探索し、前記複数の候補の中から経路コストに基づいて前記目標経路を決定し、

前記経路コストは、前記複数の候補のそれぞれの蛇行の程度に関連する蛇行コストを含む経路計画プログラム。