

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年1月2日(02.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/003418 A1

(51) 国際特許分類:
G05D 1/00 (2006.01)

千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/024415

(74) 代理人: 田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.);
〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番
4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(22) 国際出願日: 2018年6月27日(27.06.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

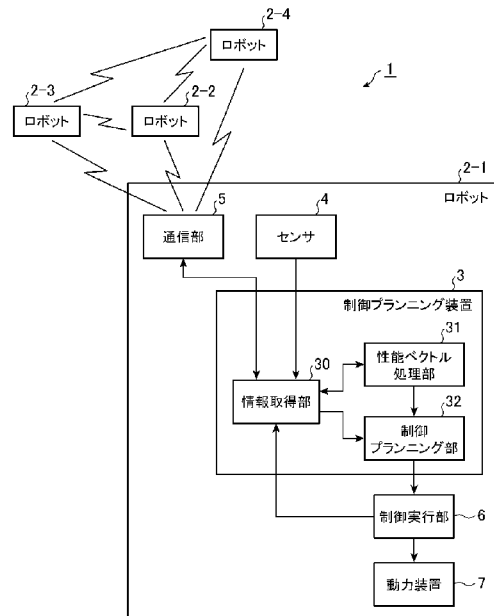
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,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

(72) 発明者: 平嶋 一貴 (HIRASHIMA, Kazuki);
〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
尾崎 敦夫 (OZAKI, Atsuo); 〒1008310 東京都

(54) Title: CONTROL PLANNING DEVICE, ROBOT GROUP SYSTEM, AND CONTROL PLANNING METHOD

(54) 発明の名称: 制御プランニング装置、ロボット群システムおよび制御プランニング方法

[図1]



2-1, 2-2, 2-3, 2-4 Robot
3 Control planning device
4 Sensor
5 Communication unit
6 Control execution unit
7 Power device
30 Information acquisition unit
31 Performance vector processing unit
32 Control planning unit

(57) Abstract: A control planning device (3) updates a performance vector having an element that is a performance value obtained by quantifying relative performance of a machine, and determines an action of the machine in accordance with a control rule based on the performance vector.

(57) 要約: 制御プランニング装置(3)は、機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルを更新し、性能ベクトルに基づく制御則に従って機体の行動を決定する。

[続葉有]

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

制御プランニング装置、ロボット群システムおよび制御プランニング方法 技術分野

[0001] 本発明は、集団を構成し、各々が自律的に行動する複数の機体のそれぞれの行動を決定する制御プランニング装置、ロボット群システムおよび制御プランニング方法に関する。

背景技術

[0002] ロボット群を制御する方法の一つとしてリーダ追従型の制御方法がある。この制御方法は、ロボットに搭載されている機器の種類および性能がロボットごとに異なるヘテロな系を有したロボット群に採用されることが多い。

[0003] 例えば、特許文献1には、リーダ追従型の制御方法を採用したロボット群の制御方法が記載されている。特許文献1に記載された制御方法では、計算能力を有した親ロボット（リーダ機）がロボット群の全ての子ロボットの行動を俯瞰し、個々の子ロボットの最適な行動を決定することで効率的なロボット群の制御を実現している。

[0004] 親ロボットには、周囲環境に存在する検知対象物に接触せずに検知する非接触型センサが搭載されており、子ロボットには、周囲環境に存在する検知対象物に接触して検知する接触型センサが搭載されている。このロボット群システムでは、親ロボットが子ロボットの行動を決定するので、子ロボットが障害物に接触して壊れてしまっても、親ロボットが壊れない限り、ロボット群としては活動を継続できる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平7－93028号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献 1 に記載された制御方法では、親ロボットに非接触型センサが搭載されていても、何らかの影響で親ロボット自体が故障してしまうと、ロボット群としての活動が継続できないという課題があった。

[0007] 本発明は上記課題を解決するものであり、集団を構成する複数の機体の制御における機体の故障に対する耐性を高めることができる制御プランニング装置、ロボット群制御システムおよび制御プランニング方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明に係る制御プランニング装置は、集団を構成し、各々が自律的に行動する複数の機体のそれぞれに搭載され、搭載された機体が行うべき行動を決定する。制御プランニング装置は、情報取得部、性能ベクトル処理部および制御プランニング部を備えている。情報取得部は、機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルに関する情報を、複数の機体から取得する。性能ベクトル処理部は、情報取得部によって取得された性能ベクトルに関する情報に基づいて、機体ごとに設定された性能ベクトルのうち、性能に変化があった機体に設定された性能ベクトルを更新する。制御プランニング部は、性能ベクトルに基づく制御則に従って機体の行動を決定する。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルを更新し、性能ベクトルに基づく制御則に従って機体の行動を決定する。集団を構成する複数の機体のいずれかが故障して性能が変化した場合であってもその機体の性能ベクトルを更新して性能の変化を反映させるので、集団を構成する複数の機体の制御における機体の故障に対する耐性を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施の形態 1 に係るロボット群システムの構成を示すブロック図である。

[図2]性能ベクトルの例を示す図である。

[図3]機体の性能の変化に応じた性能ベクトルの変化を示す図である。

[図4]図4 Aは、実施の形態1に係る制御プランニング装置の機能を実現するハードウェア構成を示すブロック図である。図4 Bは、実施の形態1に係る制御プランニング装置の機能を実現するソフトウェアを実行するハードウェア構成を示すブロック図である。

[図5]実施の形態1に係る制御プランニング方法を示すフローチャートである。

[図6]性能ベクトルに基づくロボット群の制御の例を示す説明図である。

[図7]性能ベクトルに基づくロボット群の制御の別の例を示す説明図である。

[図8]性能ベクトルに基づくロボット群の制御のさらに別の例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明をより詳細に説明するため、本発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係るロボット群システム1の構成を示すブロック図である。ロボット群システム1は、図1に示すように、集団を構成し、各々が自律的に行動するロボット2-1～2-4を備える。制御プランニング装置3は、ロボット2-1～2-4のそれぞれに搭載されている。ロボット2-1に搭載された制御プランニング装置3は、上記集団に設定された制御則に従って、ロボット2-1の行動を決定する。ロボット2-2に搭載された制御プランニング装置3は、ロボット2-2の行動を決定し、ロボット2-3に搭載された制御プランニング装置3は、ロボット2-3の行動を決定し、ロボット2-4に搭載された制御プランニング装置3は、ロボット2-4の行動を決定する。以降では、ロボット2-1～2-4から構成される集団をロボット群と記載し、ロボット群を構成するロボットを、適宜、機体と記載する。

[0012] また、ロボット 2-1～2-4 は、制御プランニング装置 3 の他に、センサ 4、通信部 5、制御実行部 6 および動力装置 7 を備えている。なお、図 1 には、4 台のロボットから構成されたロボット群を示したが、ロボット群システム 1 は、2 台以上 4 台未満のロボットから構成されたロボット群であってもよいし、5 台以上のロボットから構成されたロボット群であってもよい。

[0013] センサ 4 は、ロボットに搭載された機器であり、搭載されたロボットの周辺環境をセンシングする。センサ 4 には、例えば、レーダ、光学センサおよび赤外線センサがある。センサ 4 の種類は、ロボット群の全てのロボットで同一である必要はない。例えば、ロボット 2-1 は、センサ 4 としてレーダを搭載し、ロボット 2-2、2-3 は、センサ 4 として光学センサを搭載し、ロボット 2-4 では、センサ 4 として赤外線センサを搭載してもよい。また、一つのロボットが、センサ 4 としてレーダ、光学センサおよび赤外線センサの全てを備えてもよい。

[0014] 通信部 5 は、自身を備えるロボット（以下、第 1 の機体と記載する）と第 1 の機体以外にロボット群を構成する残りの 1 または複数のロボット（以下、第 2 の機体と記載する）との間で通信を行う。通信部 5 は、ロボット群を構成するロボット以外に、自身の通信可能範囲内のエリアに設置された外部装置との間で通信を行ってもよい。

[0015] 制御実行部 6 は、制御プランニング装置 3 によって決定された行動をとるように、動力装置 7 を制御する。動力装置 7 は、ロボットを動作させる装置であり、モータまたは内燃機関といった動力源と、動力源によって発生された動力を、ロボットの推進力に変換する動力機構とが含まれる。動力機構には、車輪、プロペラなどがある。第 1 の機体と第 2 の機体は、制御実行部 6 および動力装置 7 によって自律的に行動することが可能である。

[0016] 制御プランニング装置 3 は、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれに搭載され、搭載された機体がとるべき行動を決定する。例えば、第 1 の機体に搭載された制御プランニング装置 3 は、第 1 の機体がとるべき行動を決

定し、第2の機体に搭載された制御プランニング装置3は、第2の機体がとるべき行動を決定する。制御プランニング装置3は、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32を備える。

[0017] 情報取得部30は、ロボット群を構成する複数の機体から、性能ベクトルに関する情報を取得する。例えば、情報取得部30は、センサ4および制御実行部6によって得られた性能ベクトルに関する情報を、第1の機体に搭載されたセンサ4および制御実行部6から取得する。さらに、情報取得部30は、通信部5によって第2の機体から受信された性能ベクトルに関する情報を、通信部5から取得する。通信部5は、情報取得部30によって取得された第1の機体の性能ベクトルに関する情報を、1または複数の第2の機体へ送信する。

[0018] 図1において、ロボット2-1に搭載された制御プランニング装置3が備える情報取得部30は、ロボット2-1の性能ベクトルに関する情報を、ロボット2-1に搭載されたセンサ4および制御実行部6から取得する。情報取得部30は、ロボット2-1に搭載された通信部5によって受信されたロボット2-2～2-4のそれぞれの性能ベクトルに関する情報を、当該通信部5から取得する。通信部5は、情報取得部30によって取得されたロボット2-1の性能ベクトルに関する情報を、ロボット2-2～2-4に送信する。

[0019] 性能ベクトルに関する情報は、性能ベクトルの更新に使用される情報であり、例えば、センサ4のセンサ情報および動力装置7のスペック情報である。性能ベクトルとは、機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とするベクトルである。機体の性能は、機体の物理的なスペックおよび機体に搭載された機器の性能である。機体の物理的なスペックは、情報取得部30によって取得された動力装置7のスペック情報に基づいて特定される機体の性能であり、例えば、機体の稼働可能距離、稼働可能時間および最高速度がある。機体に搭載された機器がセンサ4である場合、機器の性能には、レーダ性能、光学センサ性能および赤外線センサ性能がある。

[0020] 性能ベクトル処理部31は、情報取得部30によって取得された性能ベクトルに関する情報に基づいて、機体ごとに設定された性能ベクトルのうち、性能に変化のあった機体に設定された性能ベクトルを更新する。例えば、性能ベクトル処理部31は、情報取得部30によって取得された性能ベクトルに関する情報に基づいて、機体ごとに設定された初期の性能ベクトルのうち、性能に変化があった機体に設定された性能ベクトルを更新する。なお、初期の性能ベクトルは、ロボット群の稼働前に、人手で機体ごとに設定してもよい。さらに、性能ベクトル処理部31は、情報取得部30によって取得された性能ベクトルに関する情報に基づいて、機体ごとの性能ベクトルを算出してもよい。

[0021] 図2は、性能ベクトル31aの例を示す図であり、機体Redの性能ベクトル31a-1と、機体Blueの性能ベクトル31a-2とを示している。図2に示すように、機体Redの性能ベクトル31a-1における性能(1)の性能値は“10”であり、機体Blueの性能ベクトル31a-2における性能(1)の性能値は“2”である。機体Redの性能ベクトル31a-1における性能(2)の性能値は“6”であり、機体Blueの性能ベクトル31a-2における性能(2)の性能値は“8”である。機体Redの性能ベクトル31a-1における性能(3)の性能値は“4”であり、機体Blueの性能ベクトル31a-2における性能(3)の性能値は“3”である。

[0022] 性能値は、正規化された値であってもよい。例えば、ロボット2-1の稼働可能距離が5(km)、最高速度が5(km/sec)であり、ロボット2-2の稼働可能距離が3(km)、最高速度が20(km/sec)である場合に、稼働可能距離の相対値および最高速度の相対値とを0から10までの範囲内の数値となるように正規化する。これにより、性能ベクトルを構成する性能値の比較が容易になる。

[0023] 例えば、ロボット群がロボット2-1およびロボット2-2から構成されている場合、ロボット2-1の稼働可能距離である5(km)は、ロボット

群で最大の稼働可能距離であるので、上記範囲の最大値である10とする。
最大値の10に対して、ロボット2-2の稼働可能距離である3(km)は6となる。ロボット2-2の最高速度である20(km/sec)は、ロボット群で最大の最高速度であるので、上記範囲の最大値である10とする。
最大値の10に対して、ロボット2-1の最高速度である5(km/sec)は2.5となる。

[0024] 性能ベクトル処理部31は、ロボット2-1の稼働可能距離の性能値と最高速度の性能値とを要素とした性能ベクトル[10, 2.5]と、ロボット2-2の稼働可能距離の性能値と最高速度の性能値とを要素とした性能ベクトル[6, 10]とを、制御プランニング部32に出力する。

[0025] レーダ性能に関する性能値は、具体的な性能の内容に分けてもよい。例えば、レーダの探知可能距離を示す性能値と、レーダの分解能を示す性能値に分ける。レーダ性能の内容が詳細であるほど、ロボットの行動を緻密に制御することが可能となる。

なお、レーダ性能の内容が“探知可能距離”および“分解能”である場合に、どちらか一方の性能の内容のみが高いというレーダ性能の優劣を定量的に表現することができない場合が考えられる。この場合、どちらの性能の内容を優先するかを予め設定しておく。

[0026] 情報取得部30は、ロボット群がミッション（行動）を開始してから、性能ベクトルに関する情報を、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれから周期的に取得する。性能ベクトル処理部31は、情報取得部30によって複数の機体のそれぞれから取得された性能ベクトルに関する情報に基づいて、機体ごとに設定された性能ベクトルのうち、性能に変化のあった機体に設定された性能ベクトルを更新する。

[0027] 従来のロボット群の制御では、ロボット群を構成する複数の機体のうち、いずれかの性能が劣化した場合、性能が劣化した機体はないものとして扱われるか、あるいは機体の性能劣化に伴ったロボット群全体の制御効率の低下を補う処理が実行されるだけであった。これに対して、実施の形態1に係る

制御プランニング装置 3 では、性能が劣化した機体をロボット群の制御対象から除くのではなく、性能が異なる新たな機体として扱うことで、機体の性能の変化に応じたロボット群の制御が可能である。

[0028] 図 3 は、機体の性能の変化に応じた性能ベクトル 3 1 a の変化を示す図である。ロボット群がミッションを開始した当初、機体 R e d - 2 の性能ベクトル 3 1 a - 3 における、性能 (1) 、性能 (2) および性能 (3) の各々の性能値は、機体 R e d - 1 の性能ベクトル 3 1 a - 1 と同じであったと仮定する。この後、ロボット群のミッションの途中に、外乱の影響で機体 R e d - 2 の性能 (1) が劣化して、性能 (1) の性能値が “ 1 0 ” から、図 3 に示すように、“ 3 ” に低下した場合を考える。

[0029] 図 3 に示すように、機体 B l u e - 1 の性能ベクトル 3 1 a - 2 における、性能 (1) の性能値は “ 2 ” であり、性能 (2) の性能値は “ 8 ” であり、性能 (3) の性能値は “ 3 ” である。一方、性能 (1) が劣化した機体 R e d - 2 の性能ベクトル 3 1 a - 3 における、性能 (1) の性能値は “ 3 ” であり、性能 (2) の性能値は “ 6 ” であり、性能 (3) の性能値は “ 4 ” である。このように、機体 R e d - 2 は、性能 (1) が劣化したことにより、性能 (2) の性能値が最も高い機体 B l u e - 1 に近い性能になっている。すなわち、機体 R e d - 2 は、機体 R e d - 1 と同じ役割は果たせなくなったが、機体 B l u e - 1 に類似した役割を果たせる機体として扱うことができる。

[0030] また、ロボット群がミッションを開始した当初、機体 B l u e - 2 の性能ベクトル 3 1 a - 4 における、性能 (1) 、性能 (2) および性能 (3) の各々の性能値は、機体 B l u e - 1 の性能ベクトル 3 1 a - 2 と同じであったと仮定する。この後、ロボット群のミッションの途中に、外乱の影響で機体 B l u e - 2 の性能 (3) が劣化して、性能 (3) の性能値が “ 3 ” から、図 3 に示すように、“ 1 ” に低下した場合を考える。

[0031] 機体 B l u e - 2 は、性能 (3) が劣化しても、性能 (2) の性能値が最も高く、機体 B l u e - 1 に近い性能を維持している。すなわち、機体 B l

ue-2は、性能(3)が劣化した後であっても、機体Blue-1と類似した役割を果たせる機体として扱うことができる。このように機体の相対的な性能を数値化した性能値を要素とする性能ベクトルを機体ごとに作成することによって、機体の性能が劣化した場合であっても、ロボット群を構成する複数の機体を、性能ベクトルを基準として分類することができる。

[0032] 制御プランニング部32は、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれに搭載された制御プランニング装置3のうち、自身を備える制御プランニング装置3が搭載された第1の機体の行動を決定する。制御プランニング部32による行動の決定には、第1の機体の性能ベクトルおよび第2の機体の性能ベクトルに基づく制御則が用いられる。性能ベクトル処理部31によって第1の機体の性能ベクトルおよび第2の機体の性能ベクトルのいずれかが更新された場合、制御プランニング部32は、更新後の性能ベクトルに基づく制御則に従って、第1の機体の行動を決定する。

[0033] 制御則には、例えば、ロボット群を構成する機体間の性能ベクトル同士のコサイン類似度に基づく制御則(A)、および、ロボット群を構成する機体の性能ベクトルとこの機体が存在する環境側から要求された性能ベクトルとの間のコサイン類似度に基づく制御則(B)がある。機体が存在する環境とは、機体が存在するエリアまたは機体の近傍に存在するポイントである。ロボット群を構成する機体間の性能ベクトル同士のコサイン類似度に基づく制御則(A)は、図6を用いて詳細を後述する。また、ロボット群を構成する機体の性能ベクトルとこの機体が存在する環境側から要求された性能ベクトルとのコサイン類似度に基づく制御則(B)については、図7および図8を用いて詳細を後述する。

[0034] 次に、制御プランニング装置3の機能を実現するハードウェア構成について説明する。制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の機能は、処理回路によって実現される。すなわち、制御プランニング装置3は、後述する図5に示すフローチャートにおける、各々のステップの処理を実行するための処理回路を

備える。処理回路は、専用のハードウェアであってもよいが、メモリに記憶されたプログラムを実行するCPU（Central Processing Unit）であってもよい。

[0035] 図4Aは、制御プランニング装置3の機能を実現するハードウェア構成を示すブロック図である。図4Bは、制御プランニング装置3の機能を実現するソフトウェアを実行するハードウェア構成を示すブロック図である。図4Aおよび図4Bにおいて、センサインタフェース100は、図1に示したセンサ4によって検出されたセンサ情報を中継するインタフェースである。情報取得部30は、センサインタフェース100を介して、センサ4からセンサ情報を取得する。

[0036] また、通信インタフェース101は、図1に示した通信部5によって送受信される情報を中継するインタフェースである。情報取得部30は、通信インタフェース101を介して、性能ベクトルに関する情報を通信部5から取得する。

[0037] 動力インタフェース102は、図1に示した制御実行部6への制御信号を中継するインタフェースである。制御プランニング部32は、動力インタフェース102を介して、第1の機体がとるべき行動を示す制御信号を、制御実行部6に出力する。制御実行部6は、上記制御信号に従って、図1に示した動力装置7を制御することにより、第1の機体を動作させる。

[0038] 処理回路が、図4Aに示す専用のハードウェアの処理回路103である場合、処理回路103は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）、FPGA（Field-Programmable Gate Array）、またはこれらを組み合わせたものが該当する。制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の機能を別々の処理回路で実現してもよく、これらの機能をまとめて1つの処理回路で実現してもよい。

[0039] 処理回路が、図4Bに示すプロセッサ104である場合に、制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の機能は、ソフトウェア、ファームウェアまたはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現される。なお、ソフトウェアまたはファームウェアは、プログラムとして記述されてメモリ108に記憶される。

[0040] プロセッサ104は、メモリ105に記憶されたプログラムを読み出して実行することで、制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の機能を実現する。すなわち、制御プランニング装置3は、プロセッサ104によって実行されるときに、図5のフローチャートにおけるステップST1からステップST3までの処理が結果的に実行されるプログラムを記憶するためのメモリ105を備えている。これらのプログラムは、制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の手順または方法を、コンピュータに実行させる。なお、メモリ105は、コンピュータを、制御プランニング装置3における、情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32として機能させるためのプログラムが記憶されたコンピュータ可読記憶媒体であってもよい。

[0041] メモリ105は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically EPROM) などの不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVDなどが該当する。

[0042] 制御プランニング装置3における情報取得部30、性能ベクトル処理部31および制御プランニング部32の機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現してもよい。

例えば、情報取得部 30 は専用のハードウェアである処理回路 103 で機能を実現し、性能ベクトル処理部 31 および制御プランニング部 32 は、プロセッサ 104 がメモリ 105 に記憶されたプログラムを読み出して実行することによって機能を実現する。このように、処理回路は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェアまたはこれらの組み合わせによって、上記機能を実現することができる。

[0043] 次に動作について説明する。

図 5 は、実施の形態 1 に係る制御プランニング方法を示すフローチャートである。

情報取得部 30 が、ロボット群を構成する複数の機体から、性能ベクトルに関する情報を取得する（ステップ S T 1）。ここで、情報取得部 30 は、自身を備える制御プランニング装置 3 が搭載された第 1 の機体から、第 1 の機体の性能ベクトルに関する情報を取得し、第 1 の機体以外にロボット群を構成する残りの 1 または複数の第 2 の機体から、第 2 の機体の性能ベクトルに関する情報を取得する。

なお、性能ベクトルに関する情報は、例えば、センサ 4 のセンサ情報および動力装置 7 のスペック情報であるが、前述した初期の性能ベクトルであってもよい。

[0044] 性能ベクトル処理部 31 が、情報取得部 30 によって取得された情報に基づいて、機体ごとに設定された性能ベクトルのうち、性能に変化のあった機体に設定された性能ベクトルを更新する（ステップ S T 2）。性能ベクトル処理部 31 は、情報取得部 30 によって取得された第 2 の機体のセンサ 4 のセンサ情報および動力装置 7 のスペック情報に基づいて、第 2 の機体の性能の変化を認識した場合を例に挙げる。この場合、性能ベクトル処理部 31 は、情報取得部 30 によって取得された第 1 の機体および第 2 の機体のセンサ 4 のセンサ情報および動力装置 7 のスペック情報に基づいて第 2 の機体の性能ベクトルを更新する。

[0045] 制御プランニング部 32 が、性能ベクトルに基づく制御則に従って機体の

行動を決定する（ステップS T 3）。制御プランニング部32は、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれに搭載された制御プランニング装置3のうち、自身を備える制御プランニング装置3が搭載された第1の機体の行動を決定する。例えば、第1の機器の行動の決定には、第1の機体の性能ベクトルと第2の機体の性能ベクトルとのコサイン類似度に基づく制御則が用いられる。

[0046] 制御実行部6は、制御プランニング部32によって決定された行動をとるように、動力装置7を制御する。動力装置7は、制御実行部6からの制御に従って、第1の機体の動作を制御する。これにより、第1の機体および第2の機体は自律的に行動する。

[0047] 例えば、異なる種類の性能を有した機体同士を散らばって行動させる場合、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれが有する制御プランニング部32に対して、機体同士の性能ベクトルのコサイン類似度が大きいものほど機体を遠ざけ、コサイン類似度が小さいものほど機体を近付ける制御則を設定する。コサイン類似度は2つのベクトルがどれだけ類似しているかを示す指標である。コサイン類似度が大きい2つの性能ベクトルは、類似しており、コサイン類似度が小さい2つの性能ベクトルは、類似していない。

[0048] この制御則に従ってロボット群を構成する各々の機体が行動することで、性能が類似する機体が遠ざけられて、性能が類似していない機体が近付けられる。異なる種類の性能のセンサ4を有した機体が空間的に散らばり、様々な内容のセンシングが広範囲に一度に行われるので、効率的なセンシングが可能となる。

なお、制御則は、ロボット群がミッションを開始する前に、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれに予め設定される。ただし、前述したように、ロボット群がミッションを開始した後であっても、性能ベクトルは更新可能である。

[0049] 反対に、類似した性能を有した機体同士を近付けて行動させる場合、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれが有する制御プランニング部32に

対して、機体同士の性能ベクトルのコサイン類似度が小さいものほど機体を遠ざけ、コサイン類似度が大きいものほど機体を近付ける制御則を設定する。この制御則に従ってロボット群を構成する各々の機体が行動することにより、性能が類似する機体が近付けられ、性能が類似していない機体が遠ざかる。この場合、ある機体の性能が劣化しても、この機体と類似した性能の機体が近くに存在するので、性能が劣化した機体を代替させることができる。これにより、機体の性能が変化しても、ロボット群を構成する複数の機体の各々の位置を大幅に変更させることなく、ロボット群の制御を継続できる。

[0050] 類似した性能の機体同士を近付ける制御則が設定された場合、第1の機体が備える制御プランニング部32は、第1の機体の性能ベクトルと、通信部5の通信可能範囲内に存在する全ての第2の機体の性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。

続いて、第1の機体が備える制御プランニング部32は、コサイン類似度が閾値以上の性能ベクトルを有した第2の機体について、第1の機体から第2の機体へ向かう正方向でかつコサイン類似度と同じ長さを有した移動ベクトルを算出する。

一方、コサイン類似度が閾値未満の性能ベクトルを有する第2の機体については、第1の機体が備える制御プランニング部32が、第2の機体から第1の機体へ向かう逆方向であり、1からコサイン類似度を減算した長さを有した移動ベクトルを算出する。

[0051] 第1の機体が備える制御プランニング部32は、通信部5の通信可能範囲内に存在する全ての第2の機体について上記移動ベクトルを算出し、算出した全ての移動ベクトルの和を最終的な移動ベクトルとする。これらの処理を、第1の機体が備える制御プランニング部32は、ロボット群のフォーメーションの変更周期ごとに繰り返す。なお、第1の機体が備える性能ベクトル処理部31は、コサイン類似度を算出する前に、第1の機体の性能ベクトルを更新する。

[0052] 図6は、性能ベクトルに基づくロボット群の制御の例を示す説明図であり

、ロボット群を構成する機体間の性能ベクトル同士のコサイン類似度に基づく制御則（A）の具体例を示している。図6において、ロボット2-1が備える制御プランニング部32には、制御則（A）として、機体同士の性能ベクトルのコサイン類似度が小さいものほど機体を遠ざけ、コサイン類似度が大きいものほど機体を近付ける制御則が設定されている。

[0053] ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1の性能ベクトルとロボット2-1が備える通信部5の通信可能範囲内に存在するロボット2-2およびロボット2-3のそれぞれの性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。コサイン類似度の閾値を0.5とする。このとき、ロボット2-1とロボット2-2の性能ベクトルのコサイン類似度は0.7であり、ロボット2-1とロボット2-3の性能ベクトルのコサイン類似度は0.4であるものとする。

[0054] ロボット2-1の性能ベクトルとロボット2-2の性能ベクトルとのコサイン類似度は0.7で閾値0.5以上である。この場合、ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1からロボット2-2に向かう方向に、コサイン類似度と同じ値（0.7）の長さを有する移動ベクトルaを設定する。

[0055] 一方、ロボット2-1の性能ベクトルとロボット2-3の性能ベクトルとのコサイン類似度は0.4で閾値0.5未満である。この場合、ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-2からロボット2-1に向かう方向に、1からコサイン類似度を減算した値（0.6）の長さを有する移動ベクトルbを設定する。ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、移動ベクトルaと移動ベクトルbとの和の移動ベクトルcを算出する。そして、ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、移動ベクトルcに基づいて、ロボット2-1の移動方向および移動距離を算出する。

[0056] 次に、ロボット群にエリアを監視させる制御について説明する。

まず、情報取得部30は、通信部5を用いて、監視対象の環境側（エリア

）から要求される性能ベクトルを取得する。エリアから要求される性能ベクトルは、エリアごとに設置された外部装置が発信してもよい。また、情報取得部30は、通信部5を用いて、複数のエリアに関する性能ベクトルを管理している外部装置から、複数のエリアのそれぞれから要求される性能ベクトルを一括して取得してもよい。第1の機体が備える制御プランニング部32は、第1の機体の性能ベクトルと、情報取得部30によってエリアから取得された性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。

[0057] 例えば、制御則（B）として、エリアから要求された性能ベクトルとのコサイン類似度が大きい性能ベクトルを有した機体を、このエリアの監視に割り当てるという制御則が、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれが有する制御プランニング部32に設定される。制御則（B）に従ってロボット群を制御することにより、類似した性能のセンサ4を有する機体同士が同じエリアを監視することになる。レーダで監視させたいエリアには、レーダ性能が高い機体が割り当てられ、光学センサで監視させたいエリアには、光学センサ性能が高い機体が割り当てられる。

[0058] 図7は、性能ベクトルに基づくロボット群の制御の例を示す説明図であり、ロボット群を構成する機体の性能ベクトルとこの機体が存在する環境側から要求された性能ベクトルとの間のコサイン類似度に基づく制御則（B）の具体例を示している。図7において、エリア200～202は、機体が存在する環境である。エリア200には、エリア200が要求する性能ベクトルAを管理する外部装置が設置され、エリア201には、エリア201が要求する性能ベクトルBを管理する外部装置が設置され、エリア202には、エリア202が要求する性能ベクトルCを管理する外部装置が設置されている。

[0059] ロボット2-1がエリア200に接近することで、エリア200に設置された外部装置が、ロボット2-1が備える通信部5の通信可能範囲内になったものとする。このとき、ロボット2-1が備える情報取得部30は、通信部5を用いて、エリア200から要求された性能ベクトルAを外部装置から

取得する。同様に、ロボット2-2が備える情報取得部30が、通信部5を用いて、エリア201から要求された性能ベクトルBを取得する。さらに、ロボット2-3が備える情報取得部30が、通信部5を用いて、エリア202から要求された性能ベクトルCを取得する。

[0060] 例えば、ロボット2-1、ロボット2-2およびロボット2-3がそれぞれ備える制御プランニング部32には、制御則(B)として、あるエリアから要求された性能ベクトルとのコサイン類似度が大きい性能ベクトルを有した機体を、このエリアの監視に割り当てるという制御則が設定されている。ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1の性能ベクトルと情報取得部30によって取得された性能ベクトルAとのコサイン類似度を算出する。同様に、ロボット2-2が備える制御プランニング部32は、ロボット2-2の性能ベクトルと情報取得部30によって取得された性能ベクトルBとのコサイン類似度を算出し、ロボット2-3が備える制御プランニング部32は、ロボット2-3の性能ベクトルと情報取得部30によって取得された性能ベクトルCとのコサイン類似度を算出する。

[0061] ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1の性能ベクトルとエリア200から要求された性能ベクトルAとのコサイン類似度が閾値以上である場合、ロボット2-1の行動をエリア200への移動と決定する。ロボット2-1が備える制御実行部6は、制御プランニング部32によって決定された行動をとるように、ロボット2-1の動作を制御する。これにより、ロボット2-1がエリア200の監視に割り当てられる。

[0062] 一方、ロボット2-2の性能ベクトルとエリア201から要求された性能ベクトルBとのコサイン類似度が閾値未満であり、ロボット2-3の性能ベクトルとエリア202から要求された性能ベクトルCとのコサイン類似度が閾値未満である場合、ロボット2-2はエリア201の監視に割り当てられず、ロボット2-3はエリア202の監視に割り当てられない。この場合、ロボット2-2が備える制御プランニング部32は、ロボット2-2がエリア201から離れる行動を決定し、ロボット2-3が備える制御プランニン

グ部 3 2 も、ロボット 2 - 3 がエリア 2 0 2 から離れる行動を決定する。ロボット 2 - 2 が備える制御実行部 6 は、制御プランニング部 3 2 によって決定された行動をとるようにロボット 2 - 2 の動作を制御し、ロボット 2 - 3 が備える制御実行部 6 は、制御プランニング部 3 2 によって決定された行動をとるようにロボット 2 - 3 の動作を制御する。

[0063] 次に、ボロノイ図を用いたロボット群の制御について説明する。

ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれには、制御則 (B) として、第 1 の機体が属するボロノイ領域の重心位置に移動させる制御則が設定されている。第 1 の機体が備える情報取得部 3 0 は、通信部 5 の通信可能範囲内に存在する全ての第 2 の機体から、性能ベクトルを取得する。第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、第 1 の機体の性能ベクトルと情報取得部 3 0 によって取得された第 2 の機体の性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。

[0064] コサイン類似度の閾値を 0. 5 とすると、第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、コサイン類似度が閾値 0. 5 以上である第 2 の機体については、第 1 の機体から第 2 の機体へ向かう、コサイン類似度の値と同じ長さを有した移動ベクトルを設定する。

一方、第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、コサイン類似度が閾値 0. 5 未満である第 2 の機体については、第 2 の機体から第 1 の機体へ向かう、コサイン類似度の値と同じ長さを有した移動ベクトルを設定する。

[0065] 第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、通信部 5 の通信可能範囲内に存在する全ての第 2 の機体について移動ベクトルを設定し、これらの移動ベクトルの和のベクトルと、第 1 の機体の位置から第 1 の機体が属するボロノイ領域の重心へ向かうベクトルとの和を算出する。第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、算出した和のベクトルに基づいて、第 1 の機体の移動方向および移動距離を決定する。第 1 の機体が備える制御プランニング部 3 2 は、この処理を制御の更新周期ごとに繰り返し実行する。第 1 の機体が備える性能ベクトル処理部 3 1 は、コサイン類似度が算出される前に、

第1の機体の性能ベクトルを更新する。

[0066] 次に、ロボット群にポイントを巡回させる制御について説明する。

情報取得部30は、通信部5を用いて、巡回対象の環境側（ポイント）から要求された性能ベクトルを取得する。ポイントから要求される性能ベクトルは、ポイントごとに設置された外部装置が発信してもよい。また、情報取得部30は、通信部5を用いて、複数のポイントに関する性能ベクトルを管理している外部装置から、複数のポイントのそれぞれから要求される性能ベクトルを一括して取得してもよい。第1の機体が備える制御プランニング部32は、第1の機体の性能ベクトルと情報取得部30によってポイントから取得された性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。

[0067] 例えば、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれが有する制御プランニング部32には、制御則（B）として、ポイントから要求された性能ベクトルとのコサイン類似度が大きい性能ベクトルを有した機体が、このポイントを巡回するという制御則が設定されている。制御則（B）に従ってロボット群を制御することにより、類似した性能のセンサ4を有する機体同士が同じポイントを巡回することになる。レーダを有した機体を巡回させたいポイントには、レーダ性能が高い機体の巡回頻度が増加され、光学センサを有した機体を巡回させたいポイントには、光学センサ性能が高い機体の巡回頻度が増加される。

[0068] 図8は、性能ベクトルに基づくロボット群の制御の例を示す説明図であり、ロボット群を構成する機体の性能ベクトルとこの機体が存在する環境側から要求された性能ベクトルとの間のコサイン類似度に基づく制御則（B）の具体例を示している。図8において、ポイントP1には、性能ベクトルAを管理する外部装置が設置され、ポイントP2には、性能ベクトルBを管理する外部装置が設置され、ポイントP3には、性能ベクトルCを管理する外部装置が設置されている。

[0069] ロボット2-1がポイントP1に接近することで、ポイントP1に設置された外部装置が、ロボット2-1が備える通信部5の通信可能範囲内になっ

たものとする。このとき、ロボット2-1が備える情報取得部30は、通信部5を用いて、ポイントP1から要求された性能ベクトルAを外部装置から取得する。同様に、ロボット2-2が備える情報取得部30が、通信部5を用いて、ポイントP2から要求された性能ベクトルBを取得する。さらに、ロボット2-3が備える情報取得部30が、通信部5を用いて、ポイントP3から要求された性能ベクトルCを取得する。

[0070] 例えば、ロボット2-1、ロボット2-2およびロボット2-3がそれぞれ備える制御プランニング部32には、制御則(B)として、あるポイントから要求された性能ベクトルとのコサイン類似度が大きい性能ベクトルを有した機体を、このポイントに巡回させるという制御則が設定されている。ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1の性能ベクトルと、情報取得部30によって取得された性能ベクトルAとのコサイン類似度を算出する。同様に、ロボット2-2が備える制御プランニング部32が、ロボット2-2の性能ベクトルと情報取得部30によって取得された性能ベクトルBとのコサイン類似度を算出し、ロボット2-3が備える制御プランニング部32は、ロボット2-3の性能ベクトルと情報取得部30によって取得された性能ベクトルCとのコサイン類似度を算出する。

[0071] ロボット2-1が備える制御プランニング部32は、ロボット2-1の性能ベクトルとポイントP1から要求された性能ベクトルAとのコサイン類似度が閾値以上である場合、ロボット2-1の行動をポイントP1への移動と決定する。ロボット2-1が備える制御実行部6は、制御プランニング部32によって決定された行動をとるようにロボット2-1の動作を制御する。これにより、ロボット2-1がポイントP1を巡回する。

[0072] 一方、ロボット2-2の性能ベクトルとポイントP2から要求された性能ベクトルBとのコサイン類似度が閾値未満であり、ロボット2-3の性能ベクトルとポイントP3から要求された性能ベクトルCとのコサイン類似度が閾値未満である場合、ポイントP2は、ロボット2-2の巡回ポイントとされず、ポイントP3は、ロボット2-3の巡回ポイントとされない。

[0073] この場合、ロボット 2-2 が備える制御プランニング部 32 は、ポイント P2 を巡回しない経路を決定し、ロボット 2-3 が備える制御プランニング部 32 も、ポイント P3 を巡回しない経路を決定する。ロボット 2-2 が備える制御実行部 6 は、制御プランニング部 32 によって決定された行動をとるように、ロボット 2-2 の動作を制御し、ロボット 2-3 が備える制御実行部 6 は、制御プランニング部 32 によって決定された行動をとるように、ロボット 2-3 の動作を制御する。

[0074] 次に、ポイントで前回にセンシングが実行されてからの経過期間を用いたロボット群の巡回制御について説明する。

ポイントから要求される性能ベクトルを管理する外部装置がポイントごとに設置されている。また、ロボット群を構成する複数の機体のそれぞれには、制御則 (B) として、機体が備えるセンサ 4 のセンシング可能範囲内に存在するポイントのうち、前回にセンシングが実行されてからの経過期間が最も長いポイントを次に巡回するという制御則が設定されている。

[0075] 第 1 の機体が備える情報取得部 30 は、通信部 5 を用いて、センサ 4 のセンシング可能範囲内に存在する全てのポイントに設置された外部装置から、性能ベクトルを取得する。第 1 の機体が備える制御プランニング部 32 は、センシング可能範囲内に存在する全てのポイントについて、第 1 の機体の性能ベクトルとポイントから要求された性能ベクトルとのコサイン類似度を算出する。続いて、第 1 の機体が備える制御プランニング部 32 は、算出した複数のコサイン類似度のうち、前回にセンシングが実行されてからの経過期間が最も長いポイントを、次に巡回するポイントに決定する。

なお、第 1 の機体が備える制御プランニング部 32 は、巡回ポイントを決定する度に、前述した一連の処理を繰り返し行う。第 1 の機体が備える性能ベクトル処理部 31 は、コサイン類似度が算出される前に、第 1 の機体の性能ベクトルを更新する。

[0076] 前述したように、実施の形態 1 に係る制御プランニング装置 3 は、機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルを更新し、性

能ベクトルに基づく制御則に従って機体の行動を決定する。ロボット群を構成する複数の機体のいずれかが故障して性能が変化した場合であっても、その機体の性能ベクトルを更新して性能の変化を反映させるので、ロボット群を構成する複数の機体の制御における、機体の故障に対する耐性を高めることができる。

[0077] 実施の形態1に係る制御プランニング装置3において、制御プランニング部32は、ロボット群を構成する機体間の性能ベクトル同士のコサイン類似度に基づく制御則に従って機体の行動を決定する。これにより、機体間の性能に基づいて、ロボット群の行動を制御することができる。

[0078] 実施の形態1に係る制御プランニング装置3において、制御プランニング部32は、ロボット群を構成する機体についての性能ベクトルと環境側から要求された性能ベクトルとのコサイン類似度に基づく制御則に従って機体の行動を決定する。これにより、ロボット群を構成する機体の性能と環境側から要求された性能とに基づいて、ロボット群の行動を制御することができる。

[0079] 実施の形態1に係るロボット群システムは、図1に示した構成を有することによって、ロボット群を構成する複数の機体のいずれかが故障して性能が変化した場合であっても、その機体の性能ベクトルを更新して性能の変化を反映させる。これにより、ロボット群を構成する複数の機体の制御における、機体の故障に対する耐性を高めることができる。

実施の形態1に係る制御プランニング方法は、図5に示した一連の処理を行うことで、ロボット群を構成する複数の機体の制御における、機体の故障に対する耐性を高めることができる。

[0080] なお、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内において、実施の形態の任意の構成要素の変形もしくは実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明に係る制御プランニング装置は、集団を構成する複数の機体の制御

における機体の故障に対する耐性を高めることができるので、例えば、各種のロボットシステムに利用可能である。

符号の説明

[0082] 1 ロボット群システム、2-1, 2-2, 2-3, 2-4 ロボット、3 制御プランニング装置、4 センサ、5 通信部、6 制御実行部、7 動力装置、30 情報取得部、31 性能ベクトル処理部、31a, 31a-1, 31a-2, 31a-3, 31a-4 性能ベクトル、32 制御プランニング部、100 センサインタフェース、101 通信インタフェース、102 動力インタフェース、103 処理回路、104 プロセッサ、105 メモリ、200, 201, 202 エリア。

請求の範囲

- [請求項1] 集団を構成し、各々が自律的に行動する複数の機体のそれぞれに搭載され、搭載された前記機体の行動を決定する制御プランニング装置であって、
- 前記機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルに関する情報を、複数の前記機体から取得する情報取得部と、
- 前記情報取得部によって取得された前記性能ベクトルに関する情報に基づいて、前記機体ごとに設定された前記性能ベクトルのうち、性能に変化があった前記機体に設定された前記性能ベクトルを更新する性能ベクトル処理部と、
- 前記性能ベクトルに基づく制御則に従って前記機体の行動を決定する制御プランニング部とを備えたこと
- を特徴とする制御プランニング装置。
- [請求項2] 前記性能ベクトルは、前記機体の物理的な性能および前記機体に搭載された機器の性能についての前記性能値を要素としたベクトルであること
- を特徴とする請求項1記載の制御プランニング装置。
- [請求項3] 前記性能値は、正規化された値であること
- を特徴とする請求項1記載の制御プランニング装置。
- [請求項4] 前記制御プランニング部は、前記集団を構成する前記機体間の前記性能ベクトル同士のコサイン類似度に基づく制御則に従って前記機体の行動を決定すること
- を特徴とする請求項1記載の制御プランニング装置。
- [請求項5] 前記制御プランニング部は、前記集団を構成する前記機体についての前記性能ベクトルと環境側から要求された前記性能ベクトルとのコサイン類似度に基づく制御則に従って、前記機体の行動を決定すること
- を特徴とする請求項1記載の制御プランニング装置。

[請求項6] 前記集団であるロボット群を構成し、各々が自律的に行動する複数の前記機体と、

複数の前記機体のそれぞれに搭載され、搭載された前記機体の行動を決定する請求項1から請求項5のいずれか1項記載の制御プログラミング装置とを備えたこと

を特徴とするロボット群システム。

[請求項7] 集団を構成し、各々が自律的に行動する複数の機体のそれぞれの行動を決定する制御プログラミング方法であって、

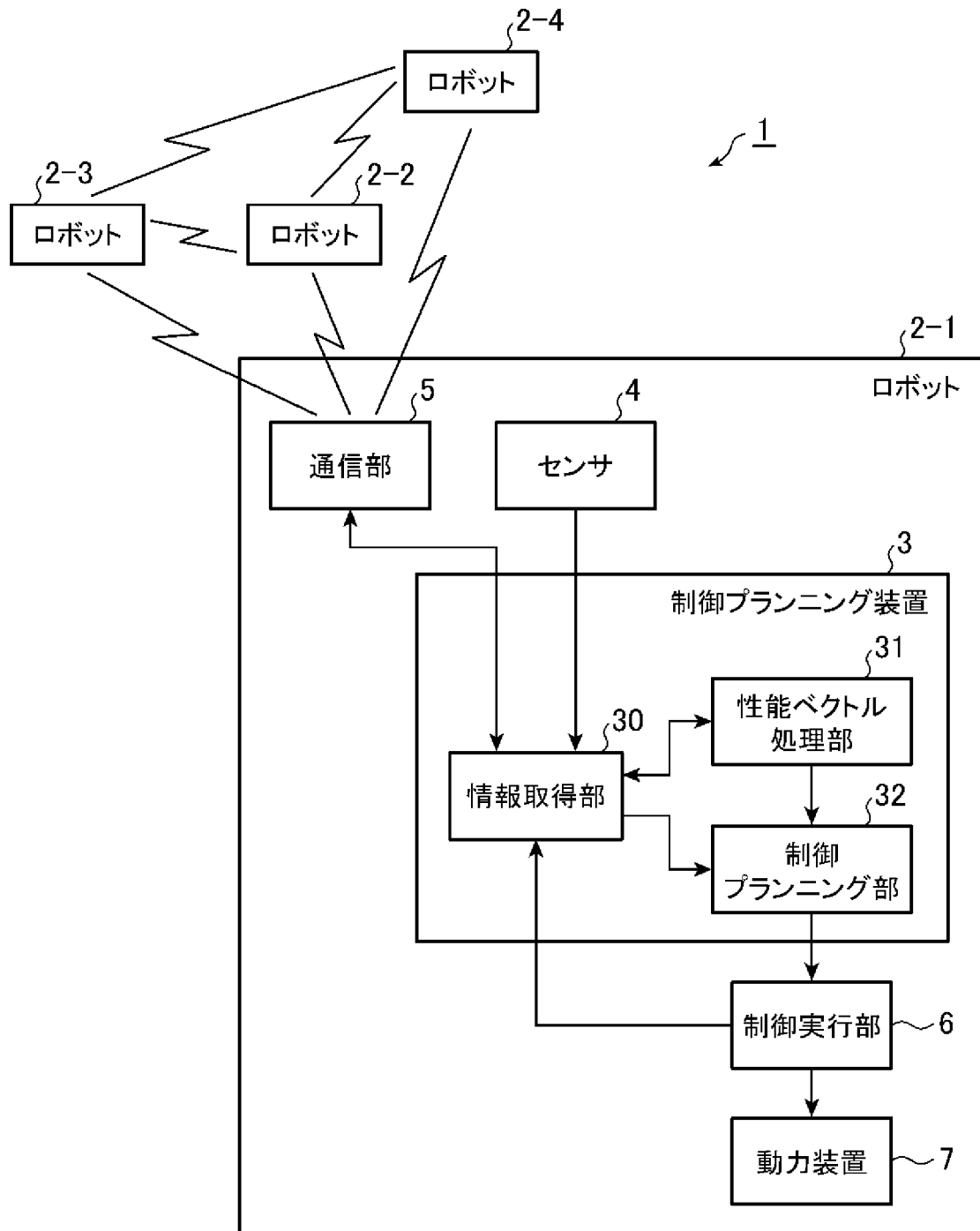
情報取得部が、前記機体の相対的な性能が数値化された性能値を要素とする性能ベクトルに関する情報を、複数の前記機体から取得するステップと、

性能ベクトル処理部が、前記情報取得部によって取得された前記性能ベクトルに関する情報に基づいて、前記機体ごとに設定された前記性能ベクトルのうち、性能に変化があった前記機体に設定された前記性能ベクトルを更新するステップと、

制御プログラミング部が、前記性能ベクトルに基づく制御則に従って前記機体の行動を決定するステップとを備えたこと

を特徴とする制御プログラミング方法。

[図1]



[図2]

機体	性能(1)	性能(2)	性能(3)	31a
Red	10	6	4	31a-1
Blue	2	8	3	31a-2
⋮	⋮	⋮	⋮	

[図3]

機体	性能(1)	性能(2)	性能(3)	31a 31a-1 31a-3 31a-2 31a-4
Red-1	10	6	4	
Red-2	3	6	4	
Blue-1	2	8	3	
Blue-2	2	8	1	
⋮	⋮	⋮	⋮	

[図4]

図4A

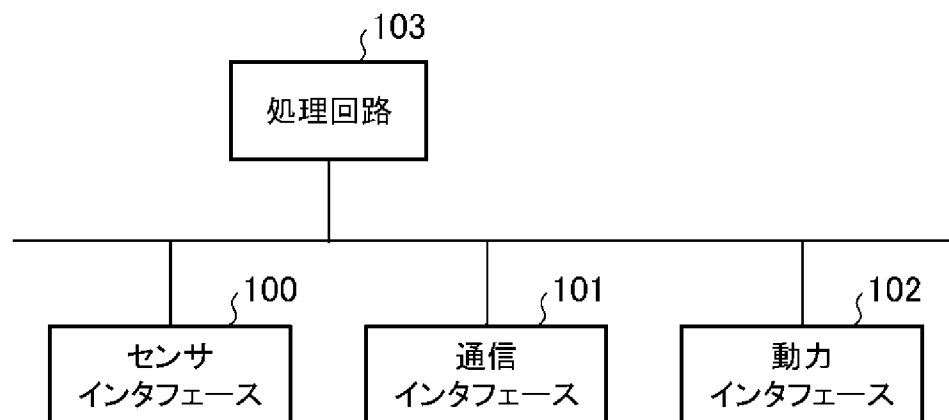
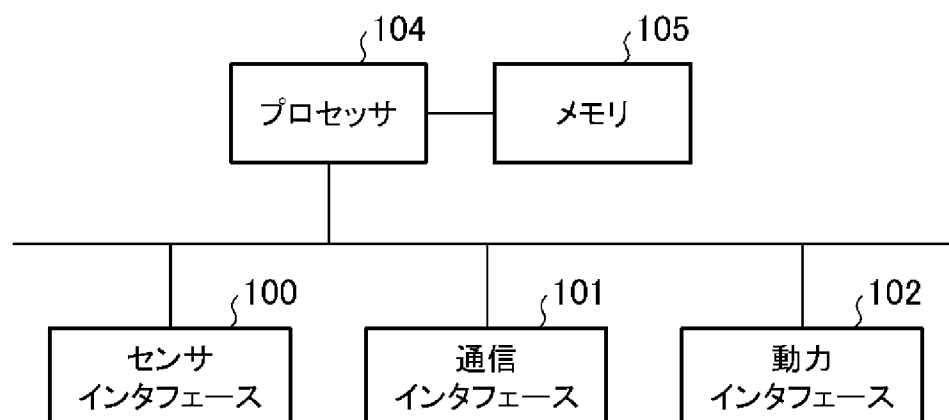
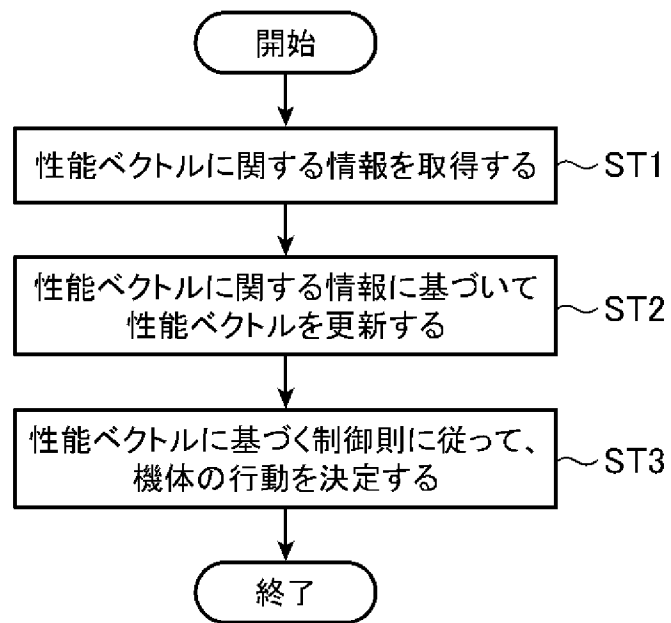


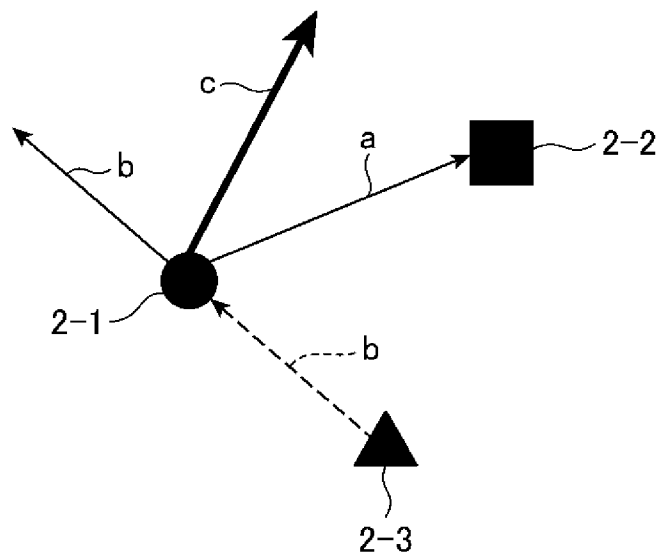
図4B

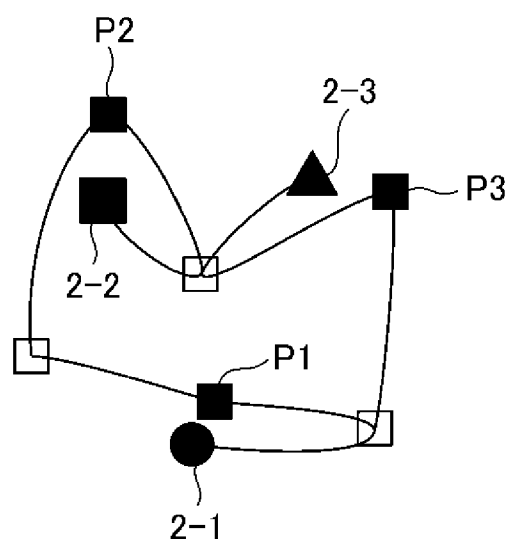
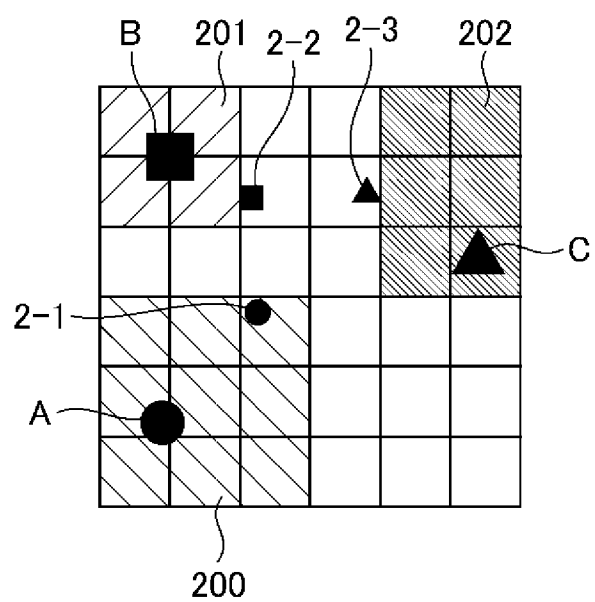


[図5]



[図6]





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/024415

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G05D1/00 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G05D1/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 5-170008 A (TOYOTA MOTOR CORPORATION) 09 July 1993, paragraphs [0008], [0009], [0014]-[0029], fig. 1, 3, 4, 16 (Family: none)	1-3, 6-7 4-5
A	JP 10-261195 A (FUJITSU TEN LTD.) 29 September 1998, paragraphs [0033]-[0038], fig. 1-4 (Family: none)	1-7
A	WO 2015/068249 A1 (HITACHI, LTD.) 14 May 2015, paragraphs [0048]-[0090] & US 2016/0282874 A1, paragraphs [0061]-[0106]	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31.07.2018

Date of mailing of the international search report

14.08.2018

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/024415

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-179665 A (TOSHIBA CORPORATION) 03 July 2001, paragraphs [0016], [0019], [0061], [0063] (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05D1/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05D1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 5-170008 A（トヨタ自動車株式会社）1993.07.09, 段落[0008]-[0009], [0014]-[0029], 図1, 3-4, 16 (ファミリーなし)	1-3, 6-7 4-5
A	JP 10-261195 A（富士通テン株式会社）1998.09.29, 段落[0033]-[0038], 図1-4 (ファミリーなし)	1-7
A	WO 2015/068249 A1（株式会社日立製作所）2015.05.14,	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

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

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.07.2018

国際調査報告の発送日

14.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

黒田 暁子

3U

1180

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	段落[0048]-[0090] & US 2016/0282874 A1, 段落[0061]-[0106] JP 2001-179665 A (株式会社東芝) 2001.07.03, 段落[0016], [0019], [0061], [0063] (ファミリーなし)	1-7