

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年1月17日(17.01.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/013011 A1

- (51) 国際特許分類:
G05D 1/00 (2006.01) *H04N 7/18* (2006.01)
B64C 39/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/024655
- (22) 国際出願日: 2018年6月28日(28.06.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-135071 2017年7月10日(10.07.2017) JP
- (71) 出願人: 株式会社豊田中央研究所(KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO KENKYUSHO) [JP/

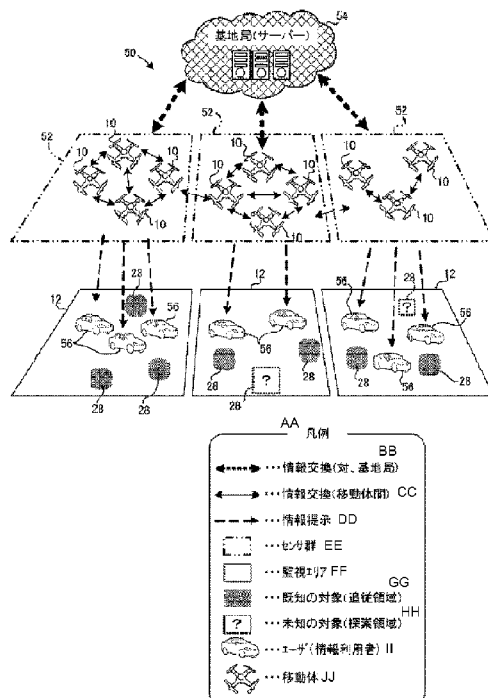
JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 Aichi (JP).

(72) 発明者: 宮野 竜也 (MIYANO, Tatsuya); 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 柴田 一騎 (SHIBATA, Kazuki); 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 神保 智彦 (JIMBO, Tomohiko); 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 中島 淳, 外 (NAKAJIMA, Jun et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 H K 新宿ビル 7 階 太陽国際特許事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: COVERAGE DEVICE, MOVING BODY, CONTROL DEVICE, AND MOVING BODY DISTRIBUTED CONTROL PROGRAM

(54) 発明の名称: カバレッジ装置、移動体、制御装置、移動体の分散制御プログラム



- 54 Base station (server)
AA Legend
BB Information exchange (with base station)
CC Information exchange (between moving bodies)
DD Presentation of information
EE Sensor group
FF Monitored area
GG Known target (tracking region)
HH Unknown target (search region)
II User (information user)
JJ Moving body

(57) Abstract: The objective of the present invention is to perform monitoring control with mutual optimization even if monitoring targets include a mixture of unknown monitoring targets and known monitoring targets. A search degree (information representing an "uncertainty" of information relating to a risk potential 28 in a region 12 in which monitoring is required), and a tracking degree (information represented by the product of a degree of importance of the risk potential and a coverage factor (degree of overlap of the risk potential and a moving body 10)) are mutually analyzed, and a plurality



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

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

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

of moving bodies 10 are allocated for searching or tracking. In a moving body allocating unit 68, a risk potential to be monitored is determined in such a way that the search degree and the tracking degree each satisfy predetermined levels, and a plurality of moving bodies 10 are allocated to the risk potential determined to be a risk potential to be monitored (simultaneous optimization). Each of the simultaneously optimized moving bodies 10 begins to move to the allocated risk potential, and monitors the risk potential.

(57) 要約: 監視対象の中に未知の監視対象及び既知の監視対象が混在しても、相互に最適化を図って監視制御を行う。探索度(監視を必要とする領域12におけるリスクポテンシャル28に関する情報の「不確かさ」を表す情報)及び追従度(リスクポテンシャルの重要度と、被覆率(リスクポテンシャルと移動体10との重複率)との積で表される情報)を相互に解析し、複数の移動体10を、探索又は追従に振分ける。移動体振分け部68では、探索度及び追従度の各々が、予め定めた水準を満足するように、監視すべきリスクポテンシャルを判定し、監視すべきリスクポテンシャルとして判定されたリスクポテンシャルに、複数の移動体10を割り当てる(同時最適化)。同時最適化された各移動体10は、割り当てられたリスクポテンシャルへの移動を開始し、リスクポテンシャルを監視する。

明 細 書

発明の名称：

カバレッジ装置、移動体、制御装置、移動体の分散制御プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、対象領域をセンサ部でカバレッジするカバレッジ装置、移動体、指定された監視対象が監視範囲となるように移動させる制御装置、及び移動体の分散制御プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特開 2 0 1 6 - 1 1 8 9 9 6 号公報には、監視対象に対して対処を行うのに適した位置まで飛行装置を移動制御する監視システムが記載されている。

[0003] より詳しくは、監視システムは、上空から地上を監視する飛行装置と、センタ装置を少なくとも備える。センタ装置は、制御種別ごとに監視対象に対する俯仰角を記憶する記憶部と、制御種別を含む制御信号の入力があると、記憶部を参照して制御種別に対応する俯仰角に相当する目標位置を算出する目標算出部と、目標位置に飛行装置を移動させる飛行装置制御部と、を備えている。なお、特開 2 0 1 6 - 1 1 8 9 9 6 号公報では、複数の移動体（飛行装置）を想定したロジックになっていない。また、監視対象が予め特定されていることを前提としている。

[0004] なお、参考として、複数の移動体を集中管理せずに制御する技術として、ボロノイ領域を定義する分散管理技術がある。

[0005] 例えば、カメラを備えた複数の移動体を、予め定めた領域内に設定されたリスクポテンシャル（監視対象）に移動させ、当該リスクポテンシャルを監視する場合、予め定めた領域をボロノイ領域に分割し、分割した各領域をそれぞれの移動体の担当領域として設定することで、移動体同士の衝突回避が可能となる。

[0006] ボロノイ領域を定義した技術は、複数の移動体を想定した最適なロジックを提供することができる。また、各移動体に対してきめ細かい起動計画を施

す必要がなく、各移動体が近傍とコミュニケーションをとりながら、自律分散的に意思決定することができる。

[0007] さらに、集中処理ではなく、分散処理であるため、計算負荷が小さく、規模の大きさに依存せず、現実的時間内で解を求めることができる。

[0008] なお、移動体は、移動体間の垂直二等分線で囲まれたボロノイ領域内において、リスクポテンシャルの重心位置に移動することを繰り返し行うことになる。また、ボロノイ領域の定義は、時々刻々と変化し得るものである。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、特開2016-118996号公報を含み、関連技術の監視システムでは、監視対象には今まで監視対象となっていない領域である未知の監視対象、及び、監視を継続すべき領域である既知の監視対象等が混在し、複数の移動体による監視制御において、監視すべき監視対象の選択の最適化が難しい。

[0010] 本開示は、監視対象の中に未知の監視対象及び既知の監視対象が混在しても、相互に最適化を図って監視制御を行うことができるカバレッジ装置、移動体、制御装置、移動体の分散制御プログラムを得ることが目的である。

課題を解決するための手段

[0011] 本開示に係るカバレッジ装置は、外部環境情報をセンシングするセンサ部と、センシング情報が得られない外部環境領域を対象領域と定義する定義部と、各対象領域の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理による予測結果に基づき、各対象領域の不確かさに応じた探索度及び各対象領域の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、カバレッジすべき対象領域を判定する判定部と、前記判定部がカバレッジすべきと判定した前記対象領域をカバレッジするためのアクチュエータの振り分けを指示する指示部と、を備えている。

[0012] 本開示のカバレッジ装置によれば、センサ部からセンシング情報が得られない外部環境領域を対象領域として定義し、予測処理による予測結果に基づ

き、探索度及び追従度が所定の水準となるように対象領域を判定する。

[0013] 例えば、カバレッジすべきと判定した対象領域に、今までカバレッジする対象となっていない未知の対象領域と、カバレッジした履歴があり当該カバレッジを継続すべき既知の対象領域とが混在する場合に、未知の対象領域の探索度と、既知の対象領域の追従度とが各々所定の水準となるように、対象領域をカバレッジするためのアクチュエータの振り分けを指示する。このため、相互に最適化を図って監視制御を行うことができる。

[0014] 本開示において、前記探索度が、各対象領域の不確かさの $1 \times$ ノルムであり、前記追従度が、前記対象領域の重要度と、前記対象領域をカバレッジしたときの被覆率との積であることを特徴とする。

[0015] 探索度及び追従度を数値化することで、同時に最適化し得るアクチュエータの振り分けが明確となる。

[0016] 本開示において、前記判定部は、前記対象領域を大域的にカバレッジしていないと判断した場合には、前記対象領域をカバレッジすべきと判定するように構成されていることを特徴とする。

[0017] 対象領域を大域的にカバレッジすることができる。

[0018] 本開示において、前記予測処理が、前記対象領域の状態量の変遷を事前知識情報として取得する取得部と、前記取得部で取得した事前知識情報と、現在から予め定めた過去までの前記アクチュエータによるカバレッジ履歴情報とに基づいて定められる、各対象領域の状態量から各対象領域の状態量の変化量を予測するモデルを用いて、現在から予め定めた未来までの各対象領域の状態量を予測する予測部と、を備えることを特徴とする。

[0019] 対象領域をカバレッジすべきかどうかを判定する予測処理として、対象領域の状態量の変遷を事前知識情報として取得し、取得した事前知識情報と、現在から予め定めた過去までの前記アクチュエータによるカバレッジ履歴情報とに基づいて定められる、各対象領域の状態量から各対象領域の状態量の変化量を予測するモデルを用いて、現在から予め定めた未来までの各対象領域の状態量を予測する。

- [0020] 過去の変遷によって未来の変遷を予測することで、精度の高い予測が可能となる。
- [0021] 本開示において、複数のアクチュエータのカバレッジ履歴情報を集約する集約部をさらに有し、前記集約部は、特定のアクチュエータとカバレッジを共有し得る、特定以外のアクチュエータのカバレッジ履歴情報を集約すると共に、前記モデルを定めるために用いるカバレッジ履歴情報が、前記集約部で集約したカバレッジ履歴情報であることを特徴とする。
- [0022] 単一のアクチュエータで得たモデルを定めるために用いるカバレッジ履歴情報よりも、周囲のアクチュエータで得た予測に用いるカバレッジ履歴情報を集約した方が、より精度の高い予測が可能となる。
- [0023] 本開示において、前記探索度が所定の水準を満たすようにカバレッジすべき対象領域である未知の対象領域のカバレッジと、前記追従度が所定の水準を満たすようにカバレッジすべき対象領域である既知の対象領域のカバレッジとを、それぞれ専用のアクチュエータで対応させることを特徴とする。
- [0024] 予め未知の対象領域のカバレッジを担当するチームと、既知の対象領域のカバレッジを担当するチームとに分担することで、振り分けの管理制御が簡便化できる。なお、移動空間（例えば、飛行高度等）を分けてもよい。
- [0025] 本開示において、前記対象領域が、前記センサ部のセンシング可能領域以外の死角領域であり、当該死角領域は、その位置及び大きさが経時的に変化することを特徴としている。
- [0026] センシング情報が得られない外部環境領域として定義される対象領域は、例えば、センサ部が撮像素子であれば、何等かの障害物によって隠蔽された撮像できない死角領域である。例えば、障害物が車両の場合、当該車両が移動すれば、死角領域が変化することになる。なお、センサ部が赤外線センサであれば、障害物が発熱体となるように、センサ種によって障害物の種類は異なる。
- [0027] 本開示の移動体は、相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサを搭載し、及び互いに位置情報を送受信することで

、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動する移動体であって、予め定めた予測処理により、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理の予測結果に基づき、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように移動する移動制御部を有している。

[0028] 本開示の移動体によれば、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測した予測結果に基づき、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように移動する。

[0029] 例えば、監視すべきと判定した監視対象に、今まで監視対象となっていない未知の監視対象と、監視した履歴があり当該監視を継続すべき既知の監視対象とが混在する場合に、未知の監視対象の探索度と、既知の監視対象の追従度とが各々所定の水準となるように、移動体が移動する。これにより、未知の監視対象域と、既知の監視対象との監視制御を、相互に最適化を図って行うことができる。

[0030] 本開示の制御装置は、相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサをそれぞれ搭載した複数の移動体、及び前記複数の移動体が互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動させる移動体の分散制御システムにおける制御装置であって、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理の予測結果に基づき、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、前記移動体のそれぞれに移動先の監視対象を指定する指定部と、前記指定部で指定された監視対象が監視範囲となるように移動させる移動制御部と、を有している。

[0031] 本開示の制御装置によれば、指定部では、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測した予測結果に基づき、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対

象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、移動体のそれぞれに移動先の監視対象を指定する。

[0032] 移動制御部では、指定部で指定された監視対象が監視範囲となるように移動させる。

[0033] 例えば、監視すべきと判定した監視対象に、今まで監視対象となっていない未知の監視対象と、監視した履歴があり当該監視を継続すべき既知の監視対象とが混在する場合に、未知の監視対象の探索度と、既知の監視対象の追従度とが各々所定の水準となるように、移動体のそれぞれに移動先の監視対象を指定することができる。これにより、未知の監視対象域と、既知の監視対象との監視制御を、相互に最適化を図って行うことができる。

[0034] また、本開示において、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となる場合には、担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準とならない他の移動体の担当領域へ移動すべきであると判定する判定部を更に含み、前記移動制御部は、前記判定部によって移動すべきであると判定された前記他の移動体の担当領域へ自機移動体を移動させることを特徴としている。

[0035] 自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となる場合には、担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準とならない他の移動体の担当領域へ移動すべきであると判定する判定部を備えることで、移動制御部では、移動すべきであると判定された前記他の移動体の担当領域へ自機移動体を移動させることができる。

[0036] 本開示において、前記移動制御部により移動した後の、自機移動体の担当領域内の前記監視対象の監視度合いを示す情報を送信すると共に、他機移動体の担当領域内の前記監視対象の監視度合いを示す情報を受信する情報交信部と、前記情報交信部で受信した情報に基づき、他機移動体の担当領域内の

監視対象へ、現在の自機移動体の担当領域を超えて移動する条件が成立するか否かを判断する判断部と、前記判断部で移動する条件が成立した自機移動体を含む複数の移動体の中から、移動する移動体を確定させる調停を実行する調停部と、をさらに有している。

[0037] 相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、当該担当領域内で移動することで、監視範囲が変更可能なセンサをそれぞれ搭載した複数の移動体を備え、複数の移動体が互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動させる。例えば、衝突を回避しながら移動体を移動する場合の制御として、ボロノイ分割制御が適用可能である。

[0038] 情報交信部は、移動制御手段により移動した後の、監視対象領域の監視度合いを示す情報を送受信する。

[0039] 判断部では、受信した情報に基づき、他機移動体の担当領域へ移動する条件が成立するか否かを判断し、調停部が、判断部で移動する条件が成立した自機移動体を含む複数の移動体の中から、移動する移動体を確定させる調停を実行する。

[0040] これにより、複数の移動体の衝突を回避しつつ、担当領域を逸脱して監視対象領域へ移動させることができ、監視対象領域の被覆率の低減を図ることができる。

[0041] 本開示において、前記判断部が、目的の監視対象までの移動軌跡上における、他機移動体との衝突有無で判断することを特徴とする。

[0042] 目的の監視対象領域までの移動軌跡上に他機移動体が存在しないことを条件とする。目的の監視対象領域までの移動軌跡上に他機移動体が存在する場合、衝突回避を最優先とし、移動を断念する。

[0043] 本開示において、前記調停部が、前記条件の成立までの時間、移動にかかる時間、要求されるセンサ機能の少なくとも1つに基づいて調停することを特徴とする。

[0044] 例えば、調停部における、条件の成立までの時間による調停とは、複数の移動体の内最短に条件が成立した場合に、他機の移動体の移動を制限するた

めの情報を送信することで移動体を選択する。また、移動にかかる時間による調停とは、最も早く目的の監視対象まで移動できる移動体を選択する。さらに、要求されるセンサ機能による調停とは、例えば、移動体毎に、情報として撮影した視覚情報を得る移動体、或いは、超音波センサや赤外線センサによる特殊な信号を得る移動体等が存在するとき、要求される情報に基づいて、移動体を選択する。

[0045] 本開示において、前記予測処理が、前記監視対象の状態量の変遷を事前知識情報として取得する取得部と、前記取得部で取得した事前知識情報と、現在から予め定めた過去までの前記移動体による監視履歴情報とに基づいて定められる、各監視対象の状態量から各監視対象の状態量の変化量を予測するモデルを用いて、現在から予め定めた未来までの前記監視対象の状態量を予測する予測部と、を備えることを特徴とする。

[0046] 監視対象を監視すべきかどうかを判定する予測処理として、監視対象の変遷を事前知識情報として取得し、取得した事前知識情報に基づき、現在から予め定めた過去までの前記移動体による監視履歴情報を生成し、生成した監視履歴情報に基づき、現在から予め定めた未来までの前記監視の変遷を予測する。

[0047] 過去の変遷によって未来の変遷を予測することで、精度の高い予測が可能となる。

[0048] 本開示において、複数の移動体の監視履歴情報を集約する集約部をさらに有し、前記集約部は、特定の移動体と監視を共有し得る、特定以外の移動体の監視履歴情報を集約すると共に、前記モデルを定めるために用いる監視履歴情報が、前記集約部で集約した監視履歴情報であることを特徴とする。

[0049] 単一の移動体で得た予測に用いる監視履歴情報よりも、周囲の移動体で得た予測に用いる監視履歴情報を集約した方が、より精度の高い予測が可能となる。

[0050] 本開示において、前記探索度が所定の水準を満たすように監視すべき監視対象である未知の監視対象の監視と、前記追従度が所定の水準を満たすよう

に監視すべき監視対象である既知の監視対象の監視とを、それぞれ専用の移動体で対応させることを特徴とする。

[0051] 予め未知の監視対象の監視を担当するチームと、既知の監視対象の監視を担当するチームとに分担することで、振り分けの管理制御が簡便化できる。
なお、移動空間（例えば、飛行高度等）を分けてもよい。

[0052] 本開示において、前記探索度が、各監視対象の不確かさの $1 \times$ ノルムであり、前記追従度が、前記監視対象の重要度と、前記監視対象を監視したときの被覆率との積であることを特徴とする。

[0053] 探索度及び追従度を数値化することで、同時に最適化し得るアクチュエータの振り分けが明確となる。

[0054] 本開示において、前記監視対象の移動速度情報、及び移動計画情報を取得する取得部と、前記取得部で取得した移動速度情報に基づき、前記監視対象の移動速度と、前記移動体の移動速度との速度差を判定する判定部と、前記判定部による判定結果により、前記監視対象の移動速度が前記移動体の移動速度よりも速いと判定した場合に、前記取得部で取得した前記移動計画情報に基づき、前記監視対象の現在位置から推測される所定時刻先の推測位置、及び前記所定時刻先の推測位置までの、監視対象の移動が推測される推測移動経路を特定する特定部と、前記特定部で特定された所定時刻先の推測位置へ前記移動体が移動し、かつ、前記推測移動経路に対応して前記移動体が移動するように制御するショートカット制御部と、をさらに有している。

[0055] 移動体を制御する監視対象追従制御装置は、相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサ部をそれぞれ搭載した複数の移動体、及び複数の移動体が互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動させることを基本制御する。

[0056] この基本制御の下において、取得部は監視対象の移動速度情報、及び移動計画情報を取得し、取得した移動速度情報に基づき、監視対象の移動速度と、移動体の移動速度との速度差を判定する。

[0057] 特定部は、判定部による判定結果により、監視対象の移動速度が移動体の

移動速度よりも速いと判定した場合に、取得部で取得した前記移動計画情報に基づき、監視対象の現在位置から推測される所定時刻先の推測位置、及び所定時刻先の推測位置までの、監視対象の移動が推測される推測移動経路を特定する。ショートカット制御部は、特定部で特定された所定時刻先の推測位置へ移動体が移動し、かつ、前記推測移動経路に対応して前記移動体が移動するように制御する。

[0058] これにより、監視対象の追従制御において、監視対象の移動速度が、移動体の移動速度よりも速い場合でも、移動体による監視対象の監視を継続させることができる。

[0059] 本開示において、前記特定部が、予め定められた監視対象の移動経路上に点在し、かつ監視が優先される複数の重要経由地点の中から選択して、推測位置を特定することを特徴とする。

[0060] 監視対象の移動経路上において、監視が優先される重要経由地点の中から選択して、推測位置を特定することで、遅滞なく重要な監視領域の監視を行うことができる。

[0061] 本開示において、前記ショートカット制御部が、前記移動体を、前記推測位置までの最短距離で移動させたときに、前記監視対象よりも先に到達する余剰時間を演算し、演算した余剰時間及び追従対象との距離を最小とするように、前記監視対象の追従移動を継続することを特徴とする。

[0062] また、本開示において、前記ショートカット制御部が、現在の移動体の位置から、前記特定部で特定された所定時刻先の推測位置までを結ぶ円弧状の移動経路であって、前記推測移動経路に対応して前記移動経路で前記移動体が移動するように制御することを特徴とする。

[0063] 推測位置が特定された場合、直線的な移動が最も短い最短時間で推測位置へ到達することができるが、監視対象よりも先に到達する余剰時間を演算し、演算した余剰時間及び追従対象との距離を最小とするように、前記監視対象の追従移動を継続する。例えば、直線的な移動に対して、なるべく監視対象の移動軌跡に近づくように円弧軌跡で移動させ、かつ先回りすることで、

監視対象の監視度合い（被覆率）が十分ではないが、監視対象の移動軌跡に沿った監視を必要最小限継続することができる。

発明の効果

[0064] 本開示では、監視対象の中に未知の監視対象及び既知の監視対象が混在しても、相互に最適化を図って監視制御を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0065] [図1]本実施の形態に係る移動体分散制御システムの概略図である。

[図2]本実施の形態に係る移動体の分散制御システムを示し、移動体を動作させるための制御系のブロック図である。

[図3]移動体のCPUで実行される分散制御プログラムの実行を機能別に分類したブロック図である。

[図4A]本実施の形態に係る移動体において、現在から過去に遡った領域内のリスクポテンシャルの遷移の観測履歴を示す概略図である。

[図4B]複数の移動体による観測履歴の集約状態を示す概略図である。

[図5]本実施の形態に係る移動体において、現在から未来に進んだ領域内のリスクポテンシャルの遷移の観測予測を示す概略図である。

[図6A]本実施の形態に係る移動体が移動する領域のサンプル点を示す座標図である。

[図6B]各座標のサンプル点における状態量に依存する重要度、及び不確かさを示すノルム値の特性図である。

[図7]各座標のサンプル点における状態量及び不確かさを正負の数値で表現した場合の特性図である。

[図8]本実施の形態に係る分散制御部が実行する移動体分散制御のメインルーチンを示すフローチャートである。

[図9A]図8のステップ300の処理の詳細を示す事前知識情報サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図9B]図8のステップ302の処理の詳細を示す観測履歴解析サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図9C]図8のステップ304の処理の詳細を示す観測履歴集約サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図10A]図8のステップ306の処理の詳細を示す予測制御サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図10B]図8のステップ308の処理の詳細を示す移動体振分けサブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図10C]図8のステップ310の処理の詳細を示す情報提供サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[図11]本実施の形態に係る特定の領域において、移動体が既知のリスクポテンシャル又は既知のリスクポテンシャルに振り分けられて移動する状況を示す平面図である。

[図12A]本実施の形態の変形例に係る移動体分散制御システムの概略図であり、固定カメラを自律分散ネットワークに組み込む状態を示す。

[図12B]固定カメラを自律分散ネットワークに組み込まない状態を示す。

[図13]本実施の形態の実施例1に係る移動体の分散制御システムを示し、移動体が移動する領域の平面図である。

[図14A]本実施の形態の実施例1に係るボロノイ分割された領域の平面図であり、リスクポテンシャル指定時を示す。

[図14B]制御則1に基づく移動体の移動後を示す。

[図15A]本実施の形態の実施例1に係る移動体とリスクポテンシャルとの相関関係を示す平面図であり、被覆率＝1の場合を示す。

[図15B]被覆無しの場合を示す。

[図15C] $1 < \text{被覆率}$ の場合を示す。

[図15D] $0 < \text{被覆率} < 1$ の場合を示す。

[図15E]領域内でのボロノイ領域を逸脱して移動可能な移動体を示す。

[図16A]リスクポテンシャルに重要度を設定した場合の優先度合いによる被覆率の変化を示すカバレッジ遷移図である。

[図16B]リスクポテンシャルに重要度を設定した場合の優先度合いによる被覆

率の変化を示すカバレッジ遷移図である。

[図17]本実施の形態の実施例1に係るボロノイ分割された領域の平面図であり、図14Bの状態から制御則2に基づく移動体の移動後を示す。

[図18]本実施の形態の実施例1に係るリスクポテンシャル監視制御ルーチンを示すフローチャートである。

[図19A]本実施の形態の実施例2に係り、所謂早い者勝ちの法則により、目的のリスクポテンシャルへ移動する移動体を決定するようにした、リスクポテンシャル監視制御ルーチンのフローチャートである。

[図19B]本実施の形態の実施例2に係り、所謂早い者勝ちの法則により、目的のリスクポテンシャルへ移動する移動体を決定するようにした、リスクポテンシャル監視制御ルーチンのフローチャートである。

[図20]本実施の形態の実施例3に係り、移動体の分散制御システムを、家屋のセキュリティシステムの監視に用いた場合の例である。

[図21A]本実施の形態の実施例4に係り、移動体の分散制御システムを、事故防止のための交差点のモニタリングに用いた場合の例である。

[図21B]本実施の形態の実施例4に係り、移動体の分散制御システムを、事故防止のための交差点のモニタリングに用いた場合の例である。

[図22]図18のステップ104の制御則1による入力計算サブルーチン、及び、ステップ108の制御則1による入力計算サブルーチンの制御である追従形態選択制御ルーチンを示すフローチャートである。

[図23A]本実施の形態の実施例5に係り、制御則3に基づく移動体とリスクポテンシャルの移動を、時系列で示した移動体の遷移図である。

[図23B]制御則4に基づく移動体10とリスクポテンシャル28の移動を、時系列で示した移動体の遷移図である。

[図24A]実施例5に係る制御則4による追従制御の効果を、比較例と比較することで検証した平面図である。

[図24B]図24Aに対応する比較例である。

発明を実施するための形態

[0066] 図1は、本実施の形態に係る移動体分散制御システム50の概略図である。

[0067] 本実施の形態の移動体分散制御システム50は、複数の移動体10、及び移動体10が監視するために移動する複数の領域12が示されている。

[0068] 図1では、複数の移動体10が3つの群52に分類され、それぞれの群52が3ヶ所の領域12を担当して監視する構成としている。

[0069] なお、移動体10の群構成、監視領域数等は、図1の「3」に限定されるものではなく、単一の群52で単一の領域12を監視する構成であってもよいし、2及び4以上の群52及び領域12であってもよい。

[0070] 図2は、本実施の形態に適用される移動体10（図1参照）を動作させるための制御系のブロック図である。

[0071] 図2に示される如く、移動体10は、領域12の範囲内を無人で移動可能であり、当該移動を含む制御を実行するマイクロコンピュータを備えた制御装置14が搭載されている。

[0072] 制御装置14のマイクロコンピュータは、CPU16A、RAM16B、ROM16C、入出力ポート（I/O）16D及びこれらを接続するデータバスやコントロールバス等のバス16Eを有している。I/O16Dには、監視モジュール18、移動モジュール20、位置認識モジュール22及び通信モジュール24が接続されている。

[0073] 制御装置14は、例えば、ROM16Cに予め記憶された移動体の分散制御プログラムをCPU16Aにロードして実行することで、監視モジュール18、移動モジュール20、位置認識モジュール22及び通信モジュール24の動作を制御する。なお、分散制御プログラムは、CD-ROM、DVDなどの非一時的記録媒体に記録され、非一時的記録媒体からROM16Cにロードされてもよい。

[0074] （監視モジュール18）

[0075] 監視モジュール18に適用されるデバイスは、例えば、カメラが代表的であり、移動体10の位置から特定の監視範囲（視野）を撮像する。

[0076] なお、監視モジュール18は、カメラによる撮像に限定されず、電波（レーダー、レーザー、超音波等）照射等による地理上の特徴物（ランドマーク）の検出等であってもよい。

[0077] （移動モジュール20）

[0078] 本実施の形態に係る移動体10は、飛行体（一例として、ドローン）であり、移動モジュール20に適用されるデバイスとして、独立した駆動源（モータ）で駆動する複数のプロペラを備えており、モータの駆動を制御することで、目的の方向に向けて飛行可能、かつ目的の位置空間で停止（ホバリング）可能である。

[0079] なお、移動体10は、飛行体に限定されず、地上や水上を移動する移動モジュール20であってもよく、複数のデバイスを併用してもよい。さらに、広い概念では、固定配置された監視カメラを、自律分散ネットワークに組み込むことで、移動モジュール20と定義してもよい。

[0080] なお、監視カメラは、撮影範囲が固定であってもよいし、首振り動作機構を備え監視モジュール18の監視範囲が変更可能であってもよい。

[0081] （位置認識モジュール22）

[0082] 位置認識モジュール22は、自機の移動体10の位置を認識する機能であり、位置情報を得るために、デバイスとして、GPS、レーザー、レーダー、超音波、モーションキャプチャー、カメラ、無線通信、無線強度（距離情報）の少なくとも1つのセンサを備えている。

[0083] 位置認識モジュール22は、センサで検出した結果（検出信号）に基づき、自機の移動体10の位置を三次元空間上の座標等によって認識する。

[0084] なお、位置認識モジュール22は、自機の移動体10の位置の認識以外に、後述する通信モジュール24を介して他機の移動体10の位置情報を取得し、相互の距離を演算して複数の移動体10の相対位置関係を認識する。

[0085] （通信モジュール24）

[0086] 通信モジュール24は、デバイスとして、無線通信装置を備える。無線通信は、監視を統括的に管理する基地局（サーバ）54（図1参照）及び／又

は移動体 10 間で通信する機能として、位置情報を送受信する位置情報送受信部と、指定された監視対象（「リスクポテンシャル」、「対象」という場合がある）の監視度合い（「被覆率」という。）に関する情報（被覆率情報）を送受信する被覆率送受信部と、リスクポテンシャルの分担に関する調停情報を送受信する調停情報送受信部と、を備える。なお、通信は、移動体 10 間のみとし、基地局（サーバ）54 は無くてもよい。

[0087] なお、移動体 10 が相互に情報を交換し合う機能によって移動体分散制御システム 50 が成立するのであれば、基地局 54 は必須ではない。過去の情報（ビッグデータ）を管理する情報量によって、設置又は非設置を決めればよい。

[0088] 調停情報とは、移動体 10 がリスクポテンシャルへ移動するか否かの判定を行う情報であり、リスクポテンシャルの符号（正又は負）によって使い分ける。例えば、「正」と定義されたリスクポテンシャルは監視を必要とし、「負」と定義されたリスクポテンシャルは監視を不要とすることを示す。リスクポテンシャルは、本実施の形態で実行される予測制御により特定される探索領域及び追従領域となり得る領域である。

[0089] また、通信モジュール 24 の無線通信は、監視モジュール 18 で監視した結果（例えば、カメラであれば撮像情報）を、基地局 54 へ送信する監視情報送信部を備える。

[0090] 図 1 に示される如く、移動体 10 が監視する領域 12 は、例えば、車両 56 が存在する路面（駐車場等）であり、移動体 10 は車両 56 が通行する路面を監視することで、死角の無い空間データを車両 56（運転者）に提供するようにになっている。

[0091] 図 1 に示す領域 12 において、リスクポテンシャル 28 として、既知のリスクポテンシャル 28 と未知のリスクポテンシャル 28 とが存在している。

[0092] 既知のリスクポテンシャル 28（図 1 では、矩形実線枠「網状」で示している。）は、後述する重要度に基づいて、移動体 10 を向かわせて、リスクポテンシャルを追従する必要がある領域（追従領域）である。

[0093] 未知のリスクポテンシャル 28（図 1 では、矩形点線枠「？マーク」で示している。）は、後述する探索度に基づいて、移動体 10 を向かわせる必要がある領域（探索領域）である。

[0094] なお、未知のリスクポテンシャル 28 は、既知のリスクポテンシャル 28 の経時によって履歴が消去され、未知のリスクポテンシャル 28 となる領域を含む。

[0095] （分散制御プログラムによる情報処理制御）

[0096] 図 3 は、移動体 10 の CPU 16 A（図 2 参照）で実行される分散制御プログラムを機能別にブロック化した図（以下、分散制御部 58 という）。なお、図 3 の分散制御部 58 は、分散制御のためのハードウェア構成を限定するものではないが、マイクロコンピュータに代えて、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）等の専用デバイスやプログラマブルロジックデバイス等のハードウェア構成で実現してもよいし、複数種類のハードウェア構成の組み合わせで実現してもよい。

[0097] 図 3 に示される如く、分散制御部 58 は、事前知識取得部 60 を備える。事前知識取得部 60 では、基地局 54（図 1 参照）等におけるビッグデータ管理サーバにアクセス（オフライン、通信を問わず）し、領域 12 に関する事前知識情報を事前に取得する。

[0098] 領域 12 に関する事前知識情報は、領域 12 においてリスクポテンシャル 28 のダイナミクスを決定するパラメータを少なくとも含む。また、領域 12 に関する事前知識情報は、例えば、領域 12 においてリスクポテンシャル 28 は、どんな頻度で表れるか、どのような挙動をするか、どんな分布で移動するか、或いはどこが重要度が高いか等の情報を更に含む。

[0099] リスクポテンシャル 28 の状態量を x とした場合、以下の演算式（（1）式）が成り立つ。

[0100]

[数1]

$$\dot{x} = f(q, x) \cdots (1)$$

ここで、

$\dot{x}$: 予測対象のダイナミクス(確定的な要素と確率的な要素を含む)

x : 対象の状態量

q : 対象のダイナミクスを決定するパラメータ

(例えば、線形離散時間システムの場合、 $x[k+1] = F(q)x[k] + G(q)$ の行列F、Gの変数をqとする。

[0101] ここで、リスクポテンシャル28の状態量 x は、リスクポテンシャル28の不確かさ及び重要度を含む。

[0102] 事前知識情報取得部60は、履歴解析部62に接続されている。履歴解析部62では、図4Aに示される如く、各移動体10における、予め定めた期間(本実施の形態では、現在時刻 t に対して単位時間毎に回数 T_p だけ遡って($t - T_p$)までの期間)、移動体10による観測履歴を取得する。例えば、回数 T_p が100であれば、100コマ分の過去の観測履歴を取得することになる。

[0103] 取得する時間の分解能(単位時間)は、細かければ細かいほど精度は高くなり、粗ければ粗いほど処理速度を高めることができ、CPU16A(図2参照)の処理能力や、監視すべき領域12の監視精度等によって定めればよい。また、回数 T_p は、領域12内のリスクポテンシャルの変化度合い等を考慮して定めればよい。

[0104] 例えば、観測履歴には、前述した既知のリスクポテンシャル28と未知のリスクポテンシャル28とが混在するが、経時的にその状態量に変化していることが予測される。

[0105] そこで、履歴解析部62では、現在時刻 t から単位時間毎に回数 T_p だけ遡った期間中の既知のリスクポテンシャル28と未知のリスクポテンシャル28との状態量を移動体10毎に把握する。

[0106] i 番目(i は、担当する領域12に存在する複数の移動体10のそれぞれ

に付す番号（正の整数）である。）の移動体 10 によるリスクポテンシャル 28 の観測履歴は以下の演算式（（2）式）で表現することができる。

[0107] [数2]

$$X_i = (x_i(t), x_i(t-1), \dots, x_i(t-T_p)) \quad \dots (2)$$

ここで、

X_i : i 番目の移動体による観測履歴

t : 現在時刻

$t-1$: 現在よりも 1 単位時間前の時刻

$t-T_p$: 現在よりも T_p 単位時間前の時刻

[0108] 履歴解析部 62 は、履歴集約部 64 に接続されている。履歴解析部 62 で解析した、各移動体 10 の情報（ X_i ）は、履歴集約部 64 に集約される。例えば、図 4 B に示される如く、自機の移動体 10 の情報を含み、近傍の他機の移動体 10 の情報との観測履歴の和集合が演算される（（3）式参照）。

[0109] [数3]

$$\bigcup_{j=1}^J X_j \quad \dots (3)$$

ここで、

J : 移動体の総数

[0110] 履歴集約部 64 は予測制御部 66 に接続され、集約された情報は、予測制御部 66 へ送出される。

[0111] 図 5 に示される如く、予測制御部 66 では、各移動体 10 における、予め定めた期間（本実施の形態では、現在時刻 t に対して単位時間毎に回数 T_f だけ進めて（ $t + T_f$ ）までの期間）、移動体 10 の将来のダイナミクス q' を予測する。例えば、回数 T_f が 100 であれば、100 コマ分の未来の観測予測を取得することになる。

[0112] 取得する時間の分解能（単位時間）は、細かければ細かいほど精度は高く

なり、粗ければ粗いほど処理速度を高めることができ、CPU 16 A（図2参照）の処理能力や、監視すべき領域 12 の監視精度等によって定めればよい。また、回数 T_f は、領域 12 内のリスクポテンシャルの変化度合い等を考慮して定めればよい。また、履歴解析部 62 で適用した回数 T_p とは、必ずしも関連させる必要はない。

[0113] 例えば、未来予測には、前述した既知のリスクポテンシャル 28 と未知のリスクポテンシャル 28 とが混在するが、経時的にその位置が変化することが予測される。

[0114] そこで、予測制御部 66 では、現在時刻 t から単位時間毎に回数 T_f だけ進めた期間中の既知のリスクポテンシャル 28 と未知のリスクポテンシャル 28 との状態量を移動体 10 毎に把握（予測）する。

[0115] i 番目（ i は、担当する領域 12 に存在する複数の移動体 10 のそれぞれに付す番号（正の整数）である。）の移動体 10 によるリスクポテンシャル 28 の状態量の予測は以下の演算式（（4）式）で表現することができる。

[0116] [数4]

$$(\hat{x}_i(t+1), \dots, \hat{x}_i(t+T_f)) \dots (4)$$

[0117] 次に、それぞれの移動体 10 での、リスクポテンシャルのダイナミクスを決定するパラメータ q_i を用いた、リスクポテンシャルの状態量の変化量の予測は、演算式（（5）式）で表される。

[0118] [数5]

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}}_i &= f(q_i, \hat{x}_i) \dots (5) \\ (i &= 1, \dots, N_{agent}) \end{aligned}$$

[0119] 予測制御部 66 は、移動体振分け部 68 に接続されており、予測結果（推定されたダイナミクス q' ）を、移動体振分け部 68 へ送出する。

[0120] 移動体振分け部 68 では、探索度及び追従度の各々が、予め定めた水準を満足するように、監視すべきリスクポテンシャルを判定し、監視すべきリス

クポテンシャルとして判定されたリスクポテンシャルに、複数の移動体 10 を割り当てる（同時最適化）。

[0121] 同時最適化された各移動体 10 は、割り当てられたリスクポテンシャルへの移動を開始し、リスクポテンシャルを監視する。

[0122] （探索度）

[0123] 探索度とは、監視を必要とする領域 12 における各リスクポテンシャル 28 に関する情報の「不確かさ」に応じて定まる値であり、探索度は、例えば、各リスクポテンシャル 28 に関する情報の「不確かさ」を表すベクトルの l_2 ノルムである。

[0124] （追従度）

[0125] 追従度は、リスクポテンシャルの重要度と、被覆率（リスクポテンシャルと移動体 10 との重複率）との積で表されるものである。この追従度により、例えば、重要度の高い既知のリスクポテンシャルに対しては追従を継続し、重要度の低い既知のリスクポテンシャルに対しては追従を断続又は中止するといった判断が可能である。

[0126] 本実施の形態では、探索度及び追従度を相互に解析し、監視すべきリスクポテンシャルを判定し、監視すべきリスクポテンシャルとして判定されたリスクポテンシャルに、複数の移動体 10 を振分ける。

[0127] 例えば、図 6 A に示される如く、領域 12 を、矩形のリスクポテンシャル 28 に分類し、各点 P を符号によって区別する。移動体 10 は鎖線 A のように移動させるものとする。

[0128] 各点 P は、それぞれ状態量 x （点 P の符号によって区別）が定められており、リスクポテンシャル 28 は、未サンプル点（白抜き部分）と既サンプル点（網掛け部分）が存在している。

[0129] この図 6 A の不確かさを、図 6 B に示される如く、情報の不確かさで表すことができる。

[0130] 図 6 B の上図の実線で示す特性曲線 B は、図 6 A の既サンプル点（不確かさが最小値）に基づき推定されるリスクポテンシャルの重要度であり、この

重要度が大きければ、重要度が高いと推定される。

[0131] しかし、未サンプル点が多く、不確かさが大きければ大きいほど、この実線の特性曲線Bから離脱し、点線の特性曲線Cと一点鎖線の特性曲線Dのように重要度に拡がりが出ることになる。この拡がりの不確かさの大きさに相当する。

[0132] そこで、不確かさの大きい点、かつ、重要度が高い点を重点的に探索する。不確かさ（ノルム値）に、予め許容水準を定めておき、許容水準よりも大きい不確かさを持つリスクポテンシャルに移動体に向かわせることで、探索度（不確かさ）を下げていく。

[0133] 一方、不確かさが水準よりも低くても、重要度が高い点は、さらなる追従をさせる。

[0134] このような、移動体10の振分けを行い、探索度と追従度の同時最適化を図るようにした。

[0135] ここで、図6Bに示される如く、既サンプル点（例えば、点P1）において、サンプリングしたときから、時間が経過した場合、その経時によって不確かさを大きくしている。すなわち、点P1は、古いデータは信憑性が乏しいという観点から、忘却率を定め、徐々に実線の特性曲線Bから逸脱させるようにした例である。

[0136] なお、図7に示される如く、単純に、未知のリスクポテンシャルの不確かさを負の数（例えば、0未満から-1）で表わし、既知のリスクポテンシャルの重要度を正の数（例えば、0以上から+1）で表してもよい。また、既知のリスクポテンシャルにおいて、対象物（例えば、車両）が存在する場合は「+1」、存在しない場合は「0」と表現して、区別するようにしてもよい。

[0137] 図3に示される如く、移動体振分け部68は、情報処理部70に接続されている。情報処理部70では、移動体振分け部68で振分けられた移動体10から情報を取得すると共に、例えば、領域12内に存在する車両56（図1参照）の運転者等に、死角の無い空間再現データを提供したり、不測の事

態に備えた警告を行う。

[0138] 以下に、本実施の形態の作用を図 8～図 10C のフローチャートに従い説明する。

[0139] 図 8 は、分散制御部 58 が実行される移動体分散制御のメインルーチンを示すフローチャートである。

[0140] ステップ 300 では、事前知識情報を取得する（図 9A 参照、後述）。

[0141] 次のステップ 302 では、観測履歴を解析する（図 9B 参照、後述）。

[0142] 次のステップ 304 では、複数の移動体 10 の間で観測履歴を集約する（図 9C 参照、後述）。

[0143] 次のステップ 306 では、リスクポテンシャル 28 のダイナミクスを決定するパラメータ q の最適な値を求め、リスクポテンシャル 28 の状態量を予測する（図 10A 参照、後述）。

[0144] 次のステップ 308 では、リスクポテンシャル 28 の状態量の予測結果に基づいて、監視すべきリスクポテンシャルを判定し、移動体 10 を振り分ける（図 10B 参照、後述）。

[0145] 次のステップ 310 では、取得した情報を適用する。すなわち、情報を必要としている利用者に提供する。

[0146] 図 9A は、図 8 のステップ 300 の処理の詳細を示す事前知識情報サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[0147] ステップ 312 では、ビッグデータ管理サーバへアクセスし、次いでステップ 314 へ移行して、監視する領域 12 を指定し、ステップ 316 へ移行する。

[0148] ステップ 316 では、ビッグデータ管理サーバから、ステップ 314 で指定した領域 12 に関する事前知識情報として、リスクポテンシャル 28 のダイナミクスを決定するパラメータ q を取得する。更に、例えば、領域 12 においてリスクポテンシャル 28 は、どんな頻度で表れるか、どのような挙動をするか、どんな分布で移動するか、或いはどこが重要度が高いか等の情報を取得し、このルーチンは終了する。

- [0149] 図9Bは、図8のステップ302の処理の詳細を示す観測履歴解析サブルーチンを示す制御フローチャートである。
- [0150] ステップ320では、現在時刻 t から単位時間毎に遡る回数 T_p を設定し、ステップ322へ移行する。
- [0151] ステップ322では、単位時間毎の観測履歴を取得して、ステップ324へ移行する。
- [0152] ステップ324では、演算式（（2）式）に基づき、リスクポテンシャル28の回数 T_p 分の単位時間前から遷移した状態量 x を特定し、このルーチンは終了する。
- [0153] 図9Cは、図8のステップ304の処理の詳細を示す観測履歴集約サブルーチンを示す制御フローチャートである。
- [0154] ステップ326では、まず、集約する移動体10を特定する。集約は同一の群52の全ての移動体10であってもよいが、自機の移動体10の近傍に位置する他機の移動体10に限定する方が、精度を低下させず、効率的に情報の精度を高めることができる。
- [0155] 次のステップ328では、演算式（（3）式）に基づき、複数の移動体10で得られたリスクポテンシャルの状態量を集約し、このルーチンは終了する。これにより、自機の移動体10が特定した観測履歴の精度を高めることができる。
- [0156] 図10Aは、図8のステップ306の処理の詳細を示す予測制御サブルーチンを示す制御フローチャートである。
- [0157] ステップ330では、事前知識情報として取得した、リスクポテンシャル28のダイナミクスを決定するパラメータ q と、複数の移動体10で得られたリスクポテンシャルの状態量を集約した結果とに基づいて、リスクポテンシャル28のダイナミクスを決定するパラメータ q の最適な値を求める。
- [0158] ステップ331では、現在時刻 t から単位時間毎に進ませる回数 T_f を設定し、ステップ332へ移行する。
- [0159] ステップ332では、演算式（（5）式）に基づき、リスクポテンシャル

28の状態量の変化を予測して、リスクポテンシャル28の状態量を予測することを繰り返すことにより、リスクポテンシャル28の回数T f 分の状態量x'を予測し、このルーチンは終了する。

[0160] 図10Bは、図8のステップ308の処理の詳細を示す移動体振分けサブルーチンを示す制御フローチャートである。

[0161] ステップ336では、リスクポテンシャル28の状態量の予測結果から、各リスクポテンシャル28の不確かさの数値を取り込み、探索度を算出する。例えば、各リスクポテンシャルの不確かさを表すベクトルのノルム値で探索度を表現することで、不確かさが大きいほど探索度が大きくなる。

[0162] 次のステップ338では、ステップ336で算出した探索度が所定の水準を満たすように、監視すべきリスクポテンシャル28を判定する。

[0163] 次のステップ340では、リスクポテンシャル28の状態量の予測結果から、各リスクポテンシャル28の重要度を取り込み、ステップ342へ移行する。

[0164] ステップ342では、追従度を演算する。すなわち、追従度は、重要度×被覆率で表される。次のステップ344では、ステップ342で得た追従度が所定の水準を満たすように、監視すべきリスクポテンシャル28を判定し、ステップ346へ移行する。

[0165] ステップ346では、探索と追従とが同時に最適化するように、リスクポテンシャル28への移動体10の振り分けを実行し、次いで、ステップ348へ移行して、探索及び追従の実行を指示し、このルーチンは終了する。

[0166] 図10Cは、図8のステップ310の処理の詳細を示す情報提供サブルーチンを示す制御フローチャートである。

[0167] ステップ350では、情報を取得したか否かを判断し、否定判定された場合は、このルーチンは終了する。

[0168] また、ステップ350で肯定判定されると、ステップ352へ移行して、死角カバレッジ情報を生成する。例えば、車両に対する情報として、死角の無い空間再現データを生成し、ステップ354へ移行して利用者へ情報を提

供する。さらに詳しく言えば、駐車場内で駐車するスペースを捜している運転者に、駐車場全体のマップを提供することで、運転者は戸惑うことなく駐車スペースへ移動することができる。また、駐車場内において、歩行者の存在を警告することで、安全な運転を喚起することができる。

[0169] 図11は、特定の領域12において、移動体10が、探索度が所定の水準を満たすように監視すべき未知のリスクポテンシャル28、又は追従度が所定の水準を満たすように監視すべき既知のリスクポテンシャル28に振り分けられて移動する状況を示す平面図である。なお、図11では、各移動体10を区別するため末尾に符号「A」、「B」、「C」を付し、各リスクポテンシャル28を区別するため末尾に符号「A」、「B」、「C」、「D」、「E」を付すこととする。

[0170] 移動体10Aは、既知のリスクポテンシャル28Aに向かい、被覆率1（100%）で情報を収集することができる。

[0171] 移動体10Bは、既知のリスクポテンシャル28Bに向かうが、被覆率を高めるため、リスクポテンシャル28Bの範囲を移動することで、被覆率を高めて情報を収集することができる。

[0172] 移動体10Cは、まず、未知のリスクポテンシャル28Cに振り分けられ、その範囲を移動する。この結果、未知のリスクポテンシャル28Cは既知となり、移動体10Cは、次の未知のリスクポテンシャル28Dに振り分けられ、その範囲を移動する。この結果、未知のリスクポテンシャル28Dは既知となり、移動体10Cは、さらに次の既知のリスクポテンシャル28Eに振り分けられ、被覆率1（100%）で情報を収集することができる。

[0173] （本実施の形態の変形例）

[0174] 本実施の形態では、特定の領域12を監視する群52内に存在する複数の移動体10に対して、探索度が所定の水準を満たすように監視すべき未知のリスクポテンシャル28に振り分けるか、追従度が所定の水準を満たすように監視すべき既知のリスクポテンシャル28に振り分けるかの割合は、1：1（50%ずつ）の確率とした。言い換えれば、探索と追従との同時最適化

の結果に依存して、移動体 10 は探索するか追従するかに振り分けられている。

[0175] これに対して、変形例では、予め、探索専用の移動体 10（図 12 では、網掛けされた移動体 10 S）と、追従専用の移動体 10（図 12 では、白抜きされた移動体 10 F）とに分類した。なお、図 12 では、探索チームとして 3 台の移動体 10 S と追従チームとして 2 台の移動体 10 F とを配備しているが、この数及び割合は、限定されるものではない。また、専用の移動体 10 S 又は 10 F に加え、本実施の形態のように探索又は追従の何れにも振り分け可能な移動体 10 を混在させてもよい。

[0176] さらに、移動体 10 の一部又は全部に対して探索又は追従専用ではなく、振り分けの比率を何れかに重視するような比率としてもよい（例えば、8 : 2、3 : 7 等）。

[0177] なお、領域 12 に配置された固定カメラ 72 を分散制御システムのネットワーク範囲としてもよい。図 12 A は固定カメラ 72 を分散制御システムのネットワークの範囲とした斜視図であり、図 12 B は固定カメラ 72 を分散制御システムのネットワークの範囲としない斜視図である。

「実施例」

[0178] 以下に、本実施の形態の移動体分散制御システム 50 を適用したリスクポテンシャル 28 への移動制御において、ボロノイ領域を用いた実施例を説明する。

[0179] （実施例 1）

[0180] 図 13 は、実施例 1 に係る移動体の分散制御システムに適用される移動体 10 及び、移動体 10 が移動する領域 12 が示されている。

[0181] 各移動体 10 の制御装置 14 では、位置認識モジュール 22 からの位置情報に基づいて、図 13 に示す領域 12 をボロノイ分割する。

[0182] ボロノイ分割とは、各ポイント（ここでは、移動体 10 の位置）の勢力圏を分析するものであり、移動体 10 までの距離が最短となる点の集合を 1 つのポリゴンで表したとき、それぞれをボロノイ領域という。例えば、図 13

において、二次元平面におけるボロノイ分割では、ボロノイ分割の境界線は、移動体 10 を結ぶ線分の垂直二等分線（図 13 の鎖線 26）となり、鎖線 26 で区画された各ボロノイ領域（1）～（n）には、必ず 1 機の移動体 10 が存在する。なお、変数 n はボロノイ分割数であり、図 13 では $n = 17$ である。

[0183] 実施例 1 では、領域 12 の範囲で、移動体 10 は相互に自由に移動しており、その都度、ボロノイ領域は変化することになる。図 13 は、各移動体 10 が、点線の位置から実線の位置に移動したときのボロノイ領域となる。

[0184] また、実施例 1 では、図 13 に示す領域 12 において、図 14 A に示すように、本実施の形態で特定された探索領域及び追従領域である監視対象（リスクポテンシャル）28 を指定する。

[0185] 実施例 1 では、1 単位のリスクポテンシャル 28 の面積は、1 機の移動体 10 の監視モジュール 18 で監視し得る監視範囲の面積と同等としている。すなわち、矩形網状に図示されたリスクポテンシャル 28 の中心に 1 機の移動体 10 の中心が重なることで、リスクポテンシャル 28 の全てが監視範囲となる。

[0186] なお、リスクポテンシャル 28 の面積と監視範囲の面積とは必ずしも 1 : 1 である必要はない。

[0187] 図 14 A の各移動体 10 の位置は、図 13 の位置と同一であり、各移動体 10 は、相互に位置情報を送受信しながら、自機の移動体 10 のボロノイ領域内でリスクポテンシャル 28 に向けて移動することになる。

[0188] 図 14 B は、図 14 A に対して各移動体 10 が移動した結果であり、ボロノイ領域を維持しながらリスクポテンシャル 28 に向けて移動する従来技術の制御である（制御則 1）。

[0189] ここで、制御則 1 では、全てのリスクポテンシャル 28 を、移動体 10 の監視範囲とすることができない状況が発生する。

[0190] すなわち、指定されたリスクポテンシャル 28 の監視度合いは、被覆率で表現することができる。被覆率は、移動体 10 の監視領域の面積／リスクポ

テンシャル 28 の面積」である。なお、百分率で表現してもよい（「移動体 10 の監視領域の面積／リスクポテンシャル 28 の面積」×100%）。

[0191] 制御則 1 に基づく、図 14 B では、被覆率が 1 未満（100%未満）のリスクポテンシャル 28 が存在していることがわかる。その一方で、リスクポテンシャル 28 が存在しないボロノイ領域では、移動体 10 が全く機能していない。

[0192] すなわち、全ての移動体 10 の監視領域の面積が、指定されたリスクポテンシャル 28 の全面積よりも大きくても、制御則 1 に縛られた制御では、全てのリスクポテンシャル 28 を監視することができない。

[0193] そこで、本実施の形態では、制御則 1 に加え、移動体 10（の監視範囲）とリスクポテンシャル 28 との位置関係に基づいて、自機の移動体 10 のボロノイ領域を逸脱して、被覆率が不足（ $0 < \text{被覆率} < 1$ ）しているリスクポテンシャル 28 に移動する制御（制御則 2）を確立した。

[0194] 図 15 A～図 15 E は、移動体 10（の監視範囲）とリスクポテンシャル 28 との位置関係として考え得る状況を示している。

[0195] 図 15 A は、単一のボロノイ領域内で、1 区画のリスクポテンシャル 28 に 1 機の移動体 10 が対応した状況であり、1 機の移動体 10 の監視範囲の面積がリスクポテンシャル 28 の面積と一致することになり、被覆率は 1 となり、理想的な関係である。

[0196] 図 15 B は、移動体 10 が担当するボロノイ領域にリスクポテンシャル 28 が存在しない場合であり、最も効率の悪い関係である（状況 1）。

[0197] 図 15 C は、2 つのボロノイ領域に跨って指定された 1 区画のリスクポテンシャル 28 を、それぞれのボロノイ領域を担当する 2 機の移動体 10 で対応した場合であり、2 機の移動体 10 の監視範囲の面積がリスクポテンシャル 28 の面積よりも広くなり、被覆率は 1 より大きく（ $2 = 200\%$ ）となり、移動体 10 の監視範囲が余剰となる関係である（状況 2）。

[0198] 一方、図 15 D は、単一のボロノイ領域内で、3 区画のリスクポテンシャル 28 に 1 機の移動体 10 が対応した状況であり、被覆率が 1 未満（0.3

33・・・)であり、リスクポテンシャル28の監視として不十分な関係である。

[0199] 図15Aの関係では、移動体10は現状況を維持することが好ましい。

[0200] 図15Bの関係(状況1)では、1機の移動体10の監視範囲が無駄となっている状況であり、言い換えれば、図15Bの移動体10は、別のリスクポテンシャル28に割り当てることができる状況である。

[0201] 図15Cの関係(状況2)では、2機の移動体10がそれぞれ1/2の監視範囲を無駄にしている状況であり、言い換えれば、ボロノイ領域の縛りがなければ、図15Cの2機の移動体10の内の1機の移動体10は、別のリスクポテンシャル28に割り当てることができる状況である。

[0202] 一方、図15Dの関係では、2区画のリスクポテンシャル28が監視できていない状況である。

[0203] 本実施の形態では、図15B及び図15Cの状況(移動体の監視範囲が余剰となっている状況1及び状況2)と、図15Dの状況(移動体10の監視範囲が不足している状況)とを認識し、ボロノイ領域の維持(制御則1)の制御を逸脱して、移動体10を移動させることを容認した制御則2を設定した(図15E参照)。

[0204] また、本実施の形態では、リスクポテンシャル28に重要度の差がある場合、重要度に応じて移動体10の移動を制御するようにしている。

[0205] 図16A及び図16Bは、重要度に基づく移動体10の移動制御について示している。

[0206] 重要度は、例えば、0を超える数値～1以下の数値で表現され、1が最も重要度が高いものとし、図16A及び図16Bでは、重要度1のリスクポテンシャル28Aと、重要度0.5のリスクポテンシャル28Bが存在することを想定している。

[0207] 例えば、図16Aに示される如く、第1の区画に重要度0.5のリスクポテンシャル28Bが存在し、移動体10がカバレッジ(監視)した場合、重要度からみると、移動体の監視面積は、50%の能力しか使っていないので

、被覆率は、 $1 / 0.5 = 2$ となる。また、第2の区画に重要度1の2個のリスクポテンシャル28Aが存在し、一方のリスクポテンシャル28Aを、移動体10がカバレッジ（監視）した場合、重要度からみると移動体10の監視面積は、100%の能力を使っているので、被覆率は、 $1 / (1 + 1) = 0.5$ となる。

[0208] ここで、重要度を加味した被覆率の総合的な評価として、評価指標で表現する。評価指標は、数値が高いほど被覆率が向上する。

[0209] 図16Aにおける、2区画の評価指標は、 $0.5 + 1 = 1.5$ となる。

[0210] 一方、図16Bに示される如く、第1の区画に重要度0.5のリスクポテンシャル28Bと重要度1のリスクポテンシャル28Aが存在し、リスクポテンシャル28Aを移動体10がカバレッジ（監視）した場合、被覆率は、 $1 / (0.5 + 1) = 0.67$ となる。また、第2の区画に重要度1のリスクポテンシャル28Aが存在し、移動体10がカバレッジ（監視）した場合、被覆率は、 $1 / 1 = 1$ となる。

[0211] 図16Bにおける、2区画の評価指標は、 $1 + 1 = 2$ となる。

[0212] すなわち、重要度が高いリスクポテンシャル28を優先的にカバレッジした方が、全体の被覆率を向上することができる。

[0213] 制御則2による移動体10の移動制御では、以下の条件が設定され、移動体10間の調停によって移動する移動体10が選定される。

[0214] （条件1） 各移動体10が、監視範囲が不足しているリスクポテンシャル28（「正」と定義）まで移動する移動軌跡上に、他機の移動体10が存在しないこと。

[0215] （条件2） 条件1が成立した移動体10が、他機の移動体10に対して、移動を宣言する。

[0216] 移動の宣言とは、「正」と定義されたリスクポテンシャル28を、「負」に書き替える。また、移動軌跡上も「負」に書き替える。これにより、最先に移動を宣言した移動体10にのみ、移動が許可され、複数の移動体10が単一のリスクポテンシャル28に向かい、衝突等が発生することを回避する

ことができる。

[0217] 図 1 7 は、上記制御則 2 の制御によって、図 1 4 B の状態から移動体 1 0 が移動した結果であり、全てのリスクポテンシャル 2 8 に対して、1 : 1 の関係で移動体 1 0 の移動範囲が対応されることがわかる。

[0218] 以下に、実施例 1 の作用を図 1 8 のフローチャートに従い説明する。なお、このフローチャートでは、本実施の形態の予測制御で特定した探索領域及び追従領域が、リスクポテンシャル 2 8 として設定されていることを前提としている。

[0219] 図 1 8 は、本実施の形態に係るリスクポテンシャル監視制御ルーチンを示すフローチャートであり、主として、移動体 1 0 の移動制御に特化した流れを示している。

[0220] ステップ 1 0 0 では、自機の移動体 1 0 の情報を収集する。すなわち、領域 1 2 (図 1 3 参照)での自機の位置情報を認識すると共に、他機の移動体 1 0 へ位置情報を送信する。基地局へ自機の移動体 1 0 の情報を送信してもよい。

[0221] 次のステップ 1 0 2 では、他機の移動体 1 0 (領域 1 2 に存在する自機以外の移動体 1 0) の情報を収集する。すなわち、他機の位置情報を認識し、ステップ 1 0 4 へ移行する。基地局から他機の移動体 1 0 の情報を収集してもよい。

[0222] ステップ 1 0 4 では、制御則 1 による入力計算を実行する。すなわち、各移動体 1 0 のボロノイ領域を逐次設定すると共に、ボロノイ領域内にリスクポテンシャル 2 8 が存在する場合は、リスクポテンシャル 2 8 を被覆するように移動する制御を実行する。

[0223] 次のステップ 1 0 6 では、自機の移動体 1 0 の現状の状況を把握する。すなわち、自機の移動体のボロノイ領域内にリスクポテンシャル 2 8 が存在しない状況 (状況 1)、又は自機の移動体のボロノイ領域のリスクポテンシャル 2 8 が移動体の監視面積に比べて小さい (被覆率が 1 より大きい) 状況 (状況 2) であるか、それ以外かを判断する

- [0224] ステップ106で肯定判定、すなわち、状況1又は状況2であると判断された場合は、ステップ108へ移行して、制御則2による入力計算を実行する。すなわち、自機の移動体10のボロノイ領域外で、被覆率が1を下回る（被覆率 <1 ）リスクポテンシャル28に向けて移動をするか否かを調停し、調停により決定した移動体10が自機のボロノイ領域を逸脱して、当該リスクポテンシャル28へ移動する制御を実行し、ステップ110へ移行する。
- [0225] また、ステップ106で否定判定された場合は、ステップ110へ移行する。
- [0226] ステップ110では、全てのリスクポテンシャル28の被覆が達成したか否かが判断され、肯定判定された場合は、このルーチンは終了する。また、ステップ110で否定判定された場合は、ステップ100へ戻り、上記工程を繰り返す。
- [0227] なお、リスクポテンシャル28の総面積が、複数の移動体10が監視し得る総面積を上回っている場合は、移動体10が掛け持ちをして、時系列でリスクポテンシャル28の情報を得るようにしてもよい。
- [0228] 実施例1によれば、複数の移動体10の領域12内での自由移動中の衝突回避を目的として、制御則1に基づきボロノイ領域を設定したことによる、リスクポテンシャル28の被覆率低下を是正するべく、制御則2として、被覆率の低いリスクポテンシャル28への移動を調停し（例えば、早い者勝ち）、ボロノイ領域を逸脱して移動させることで、リスクポテンシャル28の被覆率を向上することができる。
- [0229] （実施例1の作用効果）
- [0230] 実施例1では、複数の移動体を集中管理せずに制御する技術として、ボロノイ領域を定義する分散管理技術を適用したものである。
- [0231] 複数の移動体を、予め定めた領域内に設定されたリスクポテンシャル28に移動させ、当該リスクポテンシャル28を監視する場合、予め定めた領域をボロノイ領域に分割し、分割した各領域をそれぞれの移動体の担当領域と

して設定することで、移動体同士の衝突回避が可能となる。

[0232] ボロノイ領域を定義した技術は、複数の移動体を想定した最適なロジックを提供することができる。また、各移動体に対してきめ細かい起動計画を施す必要がなく、各移動体が近傍とコミュニケーションをとりながら、自律分散的に意思決定することができる。

[0233] しかしながら、従来のボロノイ領域を定義した自律分散制御では、それぞれの担当する領域に1機の移動体に対応し得るリスクポテンシャル28が存在すればよいが、定常的に、以下のような状況が発生することが予想される。

[0234] (状況1) 担当領域にリスクポテンシャル28が存在せず、移動体としての監視機能を果たさない(所謂、遊んでいる移動体が存在する)。例えば、自機移動体の担当領域内の各リスクポテンシャル28の不確かさに応じた探索度及び各リスクポテンシャル28の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となる場合である。

[0235] (状況2) 2以上の担当領域に跨って、1機の移動体で監視可能なリスクポテンシャル28が存在する場合に、それぞれの担当領域の移動体が、余力をもって2以上の移動体で監視する。

[0236] (状況3) 1つの担当領域内に、1機の移動体では監視が不十分となるリスクポテンシャルが存在する。

[0237] 実施例1では、自律分散制御の下、リスクポテンシャル28に対する移動体が監視し得る監視領域の比率である被覆率を向上することができる。

[0238] (実施例2)

[0239] 本実施の形態において、図18のフローチャートに基づくリスクポテンシャル監視制御を実行する場合、特に制御則2において、リスクポテンシャル28へ移動する移動体10同士の干渉(衝突)を回避するための調停が必要となる。図19A及び図19Bは、所謂早い者勝ちの法則により、目的のリスクポテンシャル28へ移動する移動体10を決定するようにした実施例2(実施例1をより詳細に記載した実施例2)としての、リスクポテンシャル

監視制御ルーチンのフローチャートである。

[0240] 図 19 A に示される如く、ステップ 120 では、図 13 に示す領域 12 内で初期のボロノイ領域を設定し、次いでステップ 122 へ移行して移動体 10 をそれぞれのボロノイ領域内でランダムで移動させ、ステップ 124 へ移行する。

[0241] ステップ 124 では、リスクポテンシャル 28 の指定があったか否かが判断され、否定判定された場合は、ステップ 126 へ移行して、自機位置情報を送信すると共に他機位置情報を受信し、次いでステップ 128 へ移行して移動体 10 の相対位置に基づき、ボロノイ領域を設定し、ステップ 120 へ戻る。

[0242] また、ステップ 124 で肯定判定された場合は、ステップ 130 へ移行して、現時点でのボロノイ領域内でのリスクポテンシャル 28 の有無を検索し、次いで、ステップ 132 へ移行して、被覆率を演算して、図 19 B のステップ 134 へ移行する。

[0243] ステップ 134 では、演算された被覆率によって処理を分岐する。

[0244] すなわち、ステップ 134 で、被覆率 = 1 と判定された場合は、リスクポテンシャル 28 の面積と移動体 10 の監視範囲面積とが 1 : 1 であり、制御則 1 での制御でリスクポテンシャル 28 の監視が可能と判断し、ステップ 136 へ移行して、制御則 1 に基づきリスクポテンシャル 28 へ移動し、ステップ 156 へ移行する。この場合、移動体 10 は、自機のボロノイ領域（担当領域）内で、リスクポテンシャル 28 を全て被覆できる（図 15 A の状態参照）。

[0245] また、ステップ 134 で、被覆率 < 1 と判定された場合は、ステップ 138 へ移行して、制御則 1 に基づき、移動体 10 を自機のボロノイ領域内のリスクポテンシャル 28 へ移動させ、次いでステップ 140 へ移行して、調停情報（リスクポテンシャル 28 を完全に被覆できていない旨を示す正のリスクポテンシャル）を送信し、ステップ 156 へ移行する。この場合、移動体 10 は、自機のボロノイ領域（担当領域）内で、少なくともリスクポテンシ

ャル 28 の一部は被覆できる（図 15 D の状態参照）。

[0246] 一方、ステップ 134 で、被覆率 > 1 （リスクポテンシャル 28 が存在しない場合を含む）と判定された場合は、他機のボロノイ領域に存在するリスクポテンシャル 28 を被覆し得ると判断し（図 15 B 及び図 15 C の状態参照）、ステップ 142 へ移行して、調停情報（正のリスクポテンシャル）を受信したか否かを判断する。

[0247] ステップ 142 で否定判定された場合は、ステップ 120 へ戻る。また、ステップ 142 で肯定判定された場合は、ステップ 144 へ移行して正のリスクポテンシャルへ移動するまでの障害の有無を判別し、次いでステップ 146 へ移行して、障害の有無を判断する。ステップ 146 で、「障害有り」と判断された場合は、ステップ 120 へ戻る。また、ステップ 146 で、「障害無し」と判断された場合は、ステップ 148 へ移行して、書替情報（リスクポテンシャル 28 が被覆されていることを示す負のリスクポテンシャル及び移動軌跡の負ポテンシャル）を受信したか否かを判断する。このステップ 148 で否定判定されると、ステップ 150 へ移行する。この時点で、リスクポテンシャル 28 へ移動する占有権を得たことになる（早い者勝ちの法則）。また、ステップ 148 で肯定判定された場合は、占有権がないと判断し、ステップ 120 へ戻る。

[0248] ステップ 150 では、制御則 2 に基づき、リスクポテンシャルへ移動し、次いでステップ 152 へ移行して、自機位置情報を送信すると共に他機位置情報を受信し、次いでステップ 154 へ移行して、自機の移動体 10 が占有権を得たことを宣言するため、調停情報を書替える書替情報（正のリスクポテンシャル→負のリスクポテンシャル）、並びに移動軌跡の負ポテンシャル情報を送信し、ステップ 156 へ移行する。

[0249] ステップ 156 では、移動体 10 の相対位置に基づき、ボロノイ領域を設定し、次いでステップ 158 へ移行して、リスクポテンシャル 28 の監視情報（例えば、撮像情報）を基地局へ送信し、ステップ 160 へ移行する。ステップ 160 では、リスクポテンシャル 28 が解消したか否かを判断し、否

定判定された場合は、ステップ 158 へ戻る。また、ステップ 160 で肯定判定された場合は、ステップ 120 へ戻る。

[0250] (実施例 3)

[0251] 図 20 は、実施例 3 に係り、移動体 10 の分散制御システムを、家屋のセキュリティシステムの監視に用いた場合の例である。

[0252] 図 20 に示される如く、家屋 30 の周囲には、壁 32 が設けられており、壁 32 で囲まれた敷地内を、固定の監視カメラ 34 で監視している。敷地内には、3 台の移動体 10 を適用しているが、移動体 10 は、敷地をボロノイ分割し、相互の衝突を回避しながら移動する。

[0253] 例えば、監視カメラ 34 で不審者 36 の存在を検知した場合、検知した領域を重点的に監視するために、リスクポテンシャル 28 を設定する。このとき、ボロノイ領域があった場合、1 台の移動体 10 では、リスクポテンシャル 28 を十分被覆できないが、制御則 2 に基づき、3 台の移動体 10 をリスクポテンシャル 28 へ移動させることができる。

[0254] なお、敷地に死角が有る場合、当該死角を重点的に監視するようにしてもよい。また、実施例 3 の監視例では、家屋 30 の敷地内を監視するようにしたが、駐車場とされた敷地でもよい。駐車場の場合、駐車する車両の台数、位置によって固定の監視カメラの死角が変動するため、移動体 10 による監視は有効となる。

[0255] (実施例 4)

[0256] 図 21 A 及び図 21 B は、実施例 4 に係り、移動体 10 の分散制御システムを、事故防止のための交差点のモニタリングに用いた場合の例である。

[0257] 図 21 A に示される如く、車両 38 が走行可能な優先道路 40 に対して、路地 42 が交差した交差点 44 において、優先道路 40 には監視カメラ 46 を設置して、車両 38 の接近を監視する。また、交差点 44 には、予め領域 12 を設定し、3 台の移動体 10 を適用しているが、移動体 10 は、敷地をボロノイ分割し、相互の衝突を回避しながら移動する。

[0258] 例えば、図 21 B に示される如く、監視カメラ 46 で車両 38 の接近を検

知した場合、車両 5 6 の進行方向側の路地 4 2 (図 2 1 B の上側の路地 4 2) から自転車 4 8 等が飛び出すことを予測して、当該路地 4 2 を含む領域を重点的に監視するために、リスクポテンシャル 2 8 を設定する。このとき、ボロノイ領域があった場合、1 台の移動体 1 0 では、リスクポテンシャル 2 8 を十分被覆できないが、制御則 2 に基づき、3 台の移動体 1 0 をリスクポテンシャル 2 8 へ移動させることができる。

[0259] 移動体 1 0 で撮影した画像情報は、車両 3 8 へ送信されることで、運転者は事前に危険を察知することができる。

[0260] なお、図 2 0 では家屋 3 0 の敷地での監視、及び、図 2 1 A 及び図 2 1 B では交差点 4 4 での事前の危険察知をモニタリングする例を示した、その他の例として、例えば、山やビル等において、通常は広い範囲での監視を複数の移動体 1 0 で実行し、災害時に要救助者の位置を特定して、通常の範囲よりも狭い領域をリスクポテンシャルとして指定して、重点的に搜索するレスキュー活動にも適用可能である。

[0261] (実施例 5)

[0262] ところで、図 1 7 は、リスクポテンシャル 2 8 が移動体 1 0 の移動前 (図 1 4 B 参照) に対して、位置が変化していない (移動していない) ことを前提としている。以下、移動していないリスクポテンシャル 2 8 を静的リスクポテンシャル 2 8 という。

[0263] 一方、リスクポテンシャル 2 8 は、移動する場合がある。例えば、人、バイク、車両等をリスクポテンシャル 2 8 とした場合、それぞれの移動速度で時々刻々と位置が変化することになる。このような、移動が可能なリスクポテンシャル 2 8 を、前記静的リスクポテンシャルに対して、「動的リスクポテンシャル 2 8」と定義する。なお、本実施の形態では、静的リスクポテンシャル 2 8、動的リスクポテンシャル 2 8 は、同じリスクポテンシャル 2 8 であるという観点から、符号は同一とし、必要に応じて、「静的」、「動的」を区別するようにした。

[0264] 動的リスクポテンシャル 2 8 は、以下の 2 種類に分類することができる。

- [0265] (分類1) 動的リスクポテンシャル28は、移動体10の移動速度よりも、最高移動速度が遅い。
- [0266] (分類2) 動的リスクポテンシャル28は、移動体10の移動速度よりも、最高移動速度が速い。
- [0267] 分類1の場合は、動的リスクポテンシャル28が直線的に移動したとしても、移動体10は常に追従が可能である。
- [0268] 一方、分類2の場合は、動的リスクポテンシャル28が直線的に移動したとき、移動体10は追従できない状況が発生し得る。
- [0269] そこで、実施例5では、前述した制御則1及び制御則2に加え、分類1の状況と分類2の状況とを区別して、分類1では制御則3の追従制御を実行し、分類2では制御則4の追従制御を実行する移動体10の移動制御を構築した。
- [0270] この制御則3又は制御則4は、前述した制御則1及び制御則2の何れの処理においても選択する必要がある。
- [0271] このため、本実施の形態では、リスクポテンシャル監視制御(図18で詳細を説明)において、制御則1による移動制御のための入力計算、及び制御則2による移動制御のための入力計算の前提処理として、追従のための選択制御(図22で詳細を説明)を実行している。
- [0272] 制御則3又は制御則4の実行は、自機である移動体10の移動速度 v_1 (最高速度)と、追従対象となる動的リスクポテンシャル28の移動速度 v_2 (最高速度)とを比較した結果に基づいて、選択される($v_1 : v_2$)。
- [0273] 移動体10の移動速度が、動的リスクポテンシャル28の移動速度と同じ又はリスクポテンシャル28の移動速度よりも速いと判定された場合($v_1 > v_2$)は、収集したリスクポテンシャル28の推測情報で計算した動的リスクポテンシャル28の位置を目標として追従制御を実行する(制御則3)。
- [0274] すなわち、動的リスクポテンシャル28が直線的に移動しても、移動体10は確実に追従移動が可能となる。

- [0275] 一方、移動体 10 の移動速度が、動的リスクポテンシャル 28 の移動速度と等しい、又は、動的リスクポテンシャル 28 の移動速度よりも遅いと判定された場合 ($v_1 \leq v_2$) は、収集したリスクポテンシャル 28 の推測情報で計算した動的リスクポテンシャル 28 の位置から、さらに、数段階先に移動するであろう（移動すると推測される）推測位置を目標とした追従制御する（制御則 4）。
- [0276] すなわち、動的リスクポテンシャル 28 が直線的に移動した場合、移動体 10 は動的リスクポテンシャル 28 に対して、徐々に引き離されていくことになる。
- [0277] ここで、移動体 10 は追従移動制御にタイムラグがなければ、理論上、 $v_1 = v_2$ で追従移動することが可能であるが、実装上は、 $v_1 = v_2$ を制御則 4 の対象とした。
- [0278] このように、制御則 4 による追従制御では、移動体 10 の移動軌跡が、動的リスクポテンシャル 28 の移動軌跡上から逸脱することになるが、例えば、推測位置が重要な経由地点である場合は、その途中の移動軌跡を省略しても、当該推測位置での監視を優先する方が、監視の重要性を確保することができる。
- [0279] 上記図 18 のリスクポテンシャル監視制御ルーチンにおいて、ステップ 104 で実行する制御則 1 による入力計算、及び、ステップ 108 で実行する制御則 2 による入力計算の何れにおいても、移動体 10 とリスクポテンシャル 28 の移動速度の相関関係（分類 1 及び分類 2）が関与することになる。
- [0280] そこで、図 18 のステップ 104 及びステップ 108 の実行に際し、追従の制御則の形態（制御則 3 又は制御則 4）を決定する処理（追従のための選択制御）が実行される。
- [0281] 図 22 は、図 18 のステップ 104 の制御則 1 による入力計算サブルーチン、及び、ステップ 108 の制御則 1 による入力計算サブルーチンの制御である追従形態選択制御ルーチンを示すフローチャートである。
- [0282] 図 22 のステップ 200 では、自機の移動体 10 の情報を収集し、次いで

、ステップ202で、他機の移動体10の情報を収集し、ステップ204へ移行する。

[0283] ステップ204では、リスクポテンシャル28の推測情報を収集する。例えば、車両に搭載されたナビゲーションシステム等の情報を取得することで、将来の走行状況を把握することができる。

[0284] 次のステップ206では、図18における移動制御の状態が、ボロノイ領域内かボロノイ領域外かを判断する。

[0285] ステップ206でボロノイ領域内であると判定された場合は、図22のサブルーチンは、図18のステップ104の制御則1の下で実行された制御であると判断し、ステップ208へ移行して制御則1による入力計算を行い、ステップ212へ移行する。

[0286] また、ステップ206でボロノイ領域外であると判定された場合は、図22のサブルーチンが、図18のステップ108の制御則2の下で実行された制御であると判断し、ステップ210へ移行して制御則2による入力計算を行い、ステップ212へ移行する。

[0287] 次のステップ212では、自機である移動体10の移動速度 v_1 （最高速度）と、追従対象となるリスクポテンシャル28の移動速度 v_2 （最高速度）とを比較して、何れが速いかを判定する（ $v_1 : v_2$ ）。

[0288] このステップ212において、移動体10の移動速度が、リスクポテンシャル28の移動速度と同じ又はリスクポテンシャル28の移動速度よりも速いと判定された場合（ $v_1 > v_2$ ）は、ステップ214へ移行して、ステップ204で収集したリスクポテンシャル28の推測情報で計算したリスクポテンシャル28の位置を目標とした追従制御（制御則3）に設定し、ステップ218へ移行する。

[0289] また、ステップ212において、移動体10の移動速度が、リスクポテンシャル28の移動速度と等しい、又は、リスクポテンシャル28の移動速度よりも遅いと判定された場合（ $v_1 \leq v_2$ ）は、ステップ216へ移行して、ステップ204で収集したリスクポテンシャル28の推測情報で計算した

リスクポテンシャル 28 の位置から、さらに、数段階先に移動するであろう推測位置を目標とした追従制御（制御則 4）に設定しステップ 218 へ移行する。

[0290] この場合、移動体 10 とリスクポテンシャル 28 を結ぶ線上で離れる方向に移動する場合は追いつかない場合があるが、リスクポテンシャル 28 が車両であり、移動中に蛇行、右左折、Uターン、停止等が介在される場合は、移動体 10 は推測位置までショートカット（例えば、先回り）することが可能である。

[0291] ステップ 218 では、それぞれで設定された制御入力を実行し、図 22 のサブルーチンは終了する（ステップ 106 又はステップ 110 へ戻る）。

[0292] なお、上記ステップ 212 では、移動体 10 の移動速度 v_1 （最高速度）が、リスクポテンシャル 28 の移動速度 v_2 （最高速度）よりも僅かに速ければ、制御則 3 となるようにした。これは、理論的には問題ないが、実装上において、「移動体 10 が追従する」という観点から、 $v_1 > v_2$ であり、かつ一定以上の速度差 Δv ($= v_1 - v_2$) があることが好ましい。

[0293] 図 23A 及び図 23B に基づき、実施例 5 の詳細を説明する。

[0294] 図 23A は、実施例 5 で説明した制御則 3 に基づく、移動体 10 とリスクポテンシャル 28 の移動を、時系列で示したものである。

[0295] 時間ステップ 1 において、ボロノイ領域境界線である鎖線 26 で区画されたそれぞれの領域 A1、A2 内で、移動体 10 はリスクポテンシャル 28 をカバーしている。

[0296] 時間ステップ 2 ～時間ステップ 4 において、リスクポテンシャル 28 が移動したとしても、移動体 10 の移動速度の方が、リスクポテンシャル 28 の移動速度よりも速いため、移動体 10 は、常にリスクポテンシャル 28 に追従し、カバーすることができる。

[0297] 図 23B は、実施例 5 で説明した制御則 4 に基づく、移動体 10 とリスクポテンシャル 28 の移動を、時系列で示したものである。

[0298] 時間ステップ 1 において、ボロノイ領域境界線である鎖線 26 で区画され

たそれぞれの領域 A 1、A 2 内で、移動体 10 はリスクポテンシャル 28 をカバーしている。

[0299] ここで、時間ステップ 2 において、リスクポテンシャル 28 が移動体 10 よりも速く移動すると、移動体 10 はリスクポテンシャル 28 に追従しようとして移動を開始する。このとき、移動体 10 は、時間ステップ 3 及び時間ステップ 4 を推測して、移動体 10 は時間ステップ 3 のリスクポテンシャル 28 の位置を考慮しつつ、時間ステップ 4 の位置へショートカットする。これにより、リスクポテンシャル 28 の位置を見失うことがない。

[0300] 図 24 A 及び図 24 B は、実施例 5 に係る制御則 4 による追従制御の効果を、比較例と比較することで検証した図である。図 24 A 及び図 24 B では、ボロノイ領域境界線である鎖線 26 で区画されたそれぞれの領域 A 1、A 2 内でリスクポテンシャル 28 が第 1 の位置 A から第 2 の位置 B へ直線的に移動し、その後、90° 方向を変えて第 3 の位置 C へ移動しているものとする。

[0301] 図 24 B に示す比較例では、移動体 10 の移動速度がリスクポテンシャル 28 よりも移動速度よりも遅いため、リスクポテンシャル 28 が第 1 の位置 A から移動を開始して第 2 の位置 B に到達したときと同一時刻に、移動体 10 は、リスクポテンシャル 28 の第 1 の位置 A と第 2 の位置 B との間の直線上を移動中となる。

[0302] その後、リスクポテンシャル 28 が第 3 の位置 C に移動するため、移動体 10 は、リスクポテンシャル 28 の第 1 の位置 A と第 2 の位置 B との間から、リスクポテンシャル 28 に向けて移動するが、その途中で、リスクポテンシャル 28 は第 3 の位置 C に到達し、追いつかない。最悪は、移動体 10 はリスクポテンシャルを見失う場合がある。

[0303] 一方、図 24 A に示す実施例 2 では、リスクポテンシャル 28 が第 1 の位置 A から第 2 の位置 B へ移動する時点で、第 3 の位置 C を推測する。このため、移動体 10 は、第 2 の位置 B を認識しつつ、円弧状に第 3 の位置 C へ移動する。

- [0304] このショートカットにより、リスクポテンシャル28が第3の位置に到達する時点で、移動体10も第3の位置Cに到達することができる。なお、時間的に先回りするようにしてもよい。
- [0305] なお、図24Aで示した移動体10の円弧状の軌跡は、第2の位置Bを重視する度合いに基づいて円弧の曲率半径等を設定すればよい。第2の位置Bが重要であればあるほど、移動体10は第2の位置Bの近傍を通過することになる。この場合、第3の位置Cへの到達が若干遅れる場合もある。
- [0306] 以上説明した如く、実施例5では、移動体10の移動速度と、リスクポテンシャル28の移動速度との関係（分類1又は分類2）で、追従制御の形態（制御則3又は制御則4）を選択し、リスクポテンシャル28の移動軌跡と同一の移動では追いつかない移動体10に対して、リスクポテンシャル28の移動の数ステップ分先を推測して、所謂ショートカット（先回りを含む）するようにしたため、結果的に、リスクポテンシャル28を見失うことがない。また、先回りの軌跡を、リスクポテンシャル28の移動軌跡上の重要度を考慮することで、リスクポテンシャル28の途中の状態も確実に監視することができる。
- [0307] なお、上記全ての実施の形態における領域12（外部環境領域、担当領域）は、陸海空を問わず設定可能である。
- [0308] センシングを目的別で言えば、監視、調査、レスキュー、モニタリング、及び予報等が挙げられる。より具体的には、比較的狭い領域の場合、駐車場での車両や歩行者の監視、交差点での車両の往来のモニタリング、家屋等の不審者監視等がある。また、比較的広い領域の場合、発掘調査、災害現場での遭難者の搜索（レスキュー）、山林の状況管理、天候調査による予報等がある。
- [0309] また、移動体10（アクチュエータ）として、空撮可能なドローンを挙げたが、例えば、車両、ボート等の他の移動体を自律分散制御するようにしてもよい。
- [0310] 2017年7月10日に出願された日本国特許出願2017-135071号の開示は、その

全体が参照により本明細書に取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 外部環境情報をセンシングするセンサ部と、
 センシング情報が得られない外部環境領域を対象領域と定義する定義部と、
 各対象領域の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理による予測結果に基づき、各対象領域の不確かさに応じた探索度及び各対象領域の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、カバレッジすべき対象領域を判定する判定部と、
 前記判定部がカバレッジすべきと判定した前記対象領域をカバレッジするためのアクチュエータの振り分けを指示する指示部と、
 を備えるカバレッジ装置。
- [請求項2] 前記探索度が、各対象領域の不確かさの1×ノルムであり、
 前記追従度が、前記対象領域の重要度と、前記対象領域をカバレッジしたときの被覆率との積である、請求項1記載のカバレッジ装置。
- [請求項3] 前記判定部は、
 前記対象領域を大域的にカバレッジしていないと判断した場合には、前記対象領域をカバレッジすべきと判定するように構成されている、請求項1又は請求項2記載のカバレッジ装置。
- [請求項4] 前記予測処理が、
 前記対象領域の状態量の変遷を事前知識情報として取得する取得部と、
 前記取得部で取得した事前知識情報と、現在から予め定めた過去までの前記アクチュエータによるカバレッジ履歴情報とに基づいて定められる、各対象領域の状態量から各対象領域の状態量の変化量を予測するモデルを用いて、現在から予め定めた未来までの各対象領域の状態量を予測する予測部と、
 を備える、請求項1～請求項3の何れか1項記載のカバレッジ装置。

[請求項5] 複数のアクチュエータのカバレッジ履歴情報を集約する集約部をさらに有し、

前記集約部は、特定のアクチュエータとカバレッジを共有し得る、特定以外のアクチュエータのカバレッジ履歴情報を集約すると共に、

前記モデルを定めるために用いるカバレッジ履歴情報が、前記集約部で集約したカバレッジ履歴情報である、請求項4記載のカバレッジ装置。

[請求項6] 前記探索度が所定の水準を満たすようにカバレッジすべき対象領域である未知の対象領域のカバレッジと、前記追従度が所定の水準を満たすようにカバレッジすべき対象領域である既知の対象領域のカバレッジとを、それぞれ専用のアクチュエータで対応させる、請求項1～請求項5の何れか1項記載のカバレッジ装置。

[請求項7] 前記対象領域が、前記センサ部のセンシング可能領域以外の死角領域であり、当該死角領域は、その位置及び大きさが経時的に変化する、請求項1～請求項6の何れか1項記載のカバレッジ装置。

[請求項8] 相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサを搭載し、及び互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動する移動体であって、
予め定めた予測処理により、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理の予測結果に基づき、自機の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように移動する移動制御部を有する移動体。

[請求項9] 相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサをそれぞれ搭載した複数の移動体、及び前記複数の移動体が互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動させる移動体の分散制御システムにおける制御装置であって、

予め定めた予測処理により、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理の予測結果に基づき、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、前記移動体のそれぞれに移動先の監視対象を指定する指定部と、

前記指定部で指定された監視対象が監視範囲となるように移動させる移動制御部と、
を有する制御装置。

[請求項10]

自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となる場合には、担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準とならない他の移動体の担当領域へ移動すべきであると判定する判定部を更に含み、

前記移動制御部は、前記判定部によって移動すべきであると判定された前記他の移動体の担当領域へ自機移動体を移動させる、請求項9記載の制御装置。

[請求項11]

前記移動制御部により移動した後の、自機移動体の担当領域内の前記監視対象の監視度合いを示す情報を送信すると共に、他機移動体の担当領域内の前記監視対象の監視度合いを示す情報を受信する情報交信部と、

前記情報交信部で受信した情報に基づき、他機移動体の担当領域内の監視対象へ、現在の自機移動体の担当領域を超えて移動する条件が成立するか否かを判断する判断部と、

前記判断部で移動する条件が成立した自機移動体を含む複数の移動体の中から、移動する移動体を確定させる調停を実行する調停部と、
をさらに有する請求項10記載の制御装置。

[請求項12]

前記判断部が、目的の監視対象までの移動軌跡上における、他機移

動体との衝突有無で判断する請求項 1 1 記載の制御装置。

[請求項13] 前記調停部が、前記条件の成立までの時間、移動にかかる時間、要求されるセンサ機能の少なくとも 1 つに基づいて調停することを特徴とする請求項 1 1 又は請求項 1 2 記載の制御装置。

[請求項14] 前記予測処理が、
前記監視対象の状態量の変遷を事前知識情報として取得する取得部と、

前記取得部で取得した事前知識情報と、現在から予め定めた過去までの前記移動体による監視履歴情報とに基づいて定められる、各監視対象の状態量から各監視対象の状態量の変化量を予測するモデルを用いて、現在から予め定めた未来までの前記監視対象の状態量を予測する予測部と、

を備える請求項 1 0～請求項 1 3 の何れか 1 項記載の制御装置。

[請求項15] 複数の移動体の監視履歴情報を集約する集約部をさらに有し、
前記集約部は、特定の移動体と監視を共有し得る、特定以外の移動体の監視履歴情報を集約すると共に、

前記モデルを定めるために用いる監視履歴情報が、前記集約部で集約した監視履歴情報である請求項 1 4 記載の制御装置。

[請求項16] 前記探索度が所定の水準を満たすように監視すべき監視対象である未知の監視対象の監視と、前記追従度が所定の水準を満たすように監視すべき監視対象である既知の監視対象の監視とを、それぞれ専用の移動体で対応させる請求項 1 0～請求項 1 5 の何れか 1 項の制御装置。

[請求項17] 前記探索度が、各監視対象の不確かさの $1 \times$ ノルムであり、
前記追従度が、前記監視対象の重要度と、前記監視対象を監視したときの被覆率との積である請求項 1 0～請求項 1 6 の何れか 1 項記載の制御装置。

[請求項18] 前記監視対象の移動速度情報、及び移動計画情報を取得する取得部

と、

前記取得部で取得した移動速度情報に基づき、前記監視対象の移動速度と、前記移動体の移動速度との速度差を判定する判定部と、

前記判定部による判定結果により、前記監視対象の移動速度が前記移動体の移動速度よりも速いと判定した場合に、前記取得部で取得した前記移動計画情報に基づき、前記監視対象の現在位置から推測される所定時刻先の推測位置、及び前記所定時刻先の推測位置までの、監視対象の移動が推測される推測移動経路を特定する特定部と、

前記特定部で特定された所定時刻先の推測位置へ前記移動体が移動し、かつ、前記推測移動経路に対応して前記移動体が移動するように制御するショートカット制御部と、

をさらに有する請求項 10～請求項 17 の何れか 1 項記載の制御装置。

[請求項19] 前記特定部が、予め定められた監視対象の移動経路上に点在し、かつ監視が優先される複数の重要経由地点の中から選択して、推測位置を特定する請求項 18 記載の制御装置。

[請求項20] 前記ショートカット制御部が、
前記移動体を、前記推測位置までの最短距離で移動させたときに、前記監視対象よりも先に到達する余剰時間を演算し、演算した余剰時間及び追従対象との距離を最小とするように、前記監視対象の追従移動を継続する、請求項 18 又は請求項 19 記載の制御装置。

[請求項21] 前記ショートカット制御部が、
現在の移動体の位置から、前記特定部で特定された所定時刻先の推測位置までを結ぶ円弧状の移動経路であって、前記推測移動経路に対応して前記移動経路で前記移動体が移動するように制御する、請求項 18 又は請求項 19 記載の制御装置。

[請求項22] 相互に干渉しない担当領域に配置されると共に、監視範囲が変更可能なセンサをそれぞれ搭載した複数の移動体、及び前記複数の移動体

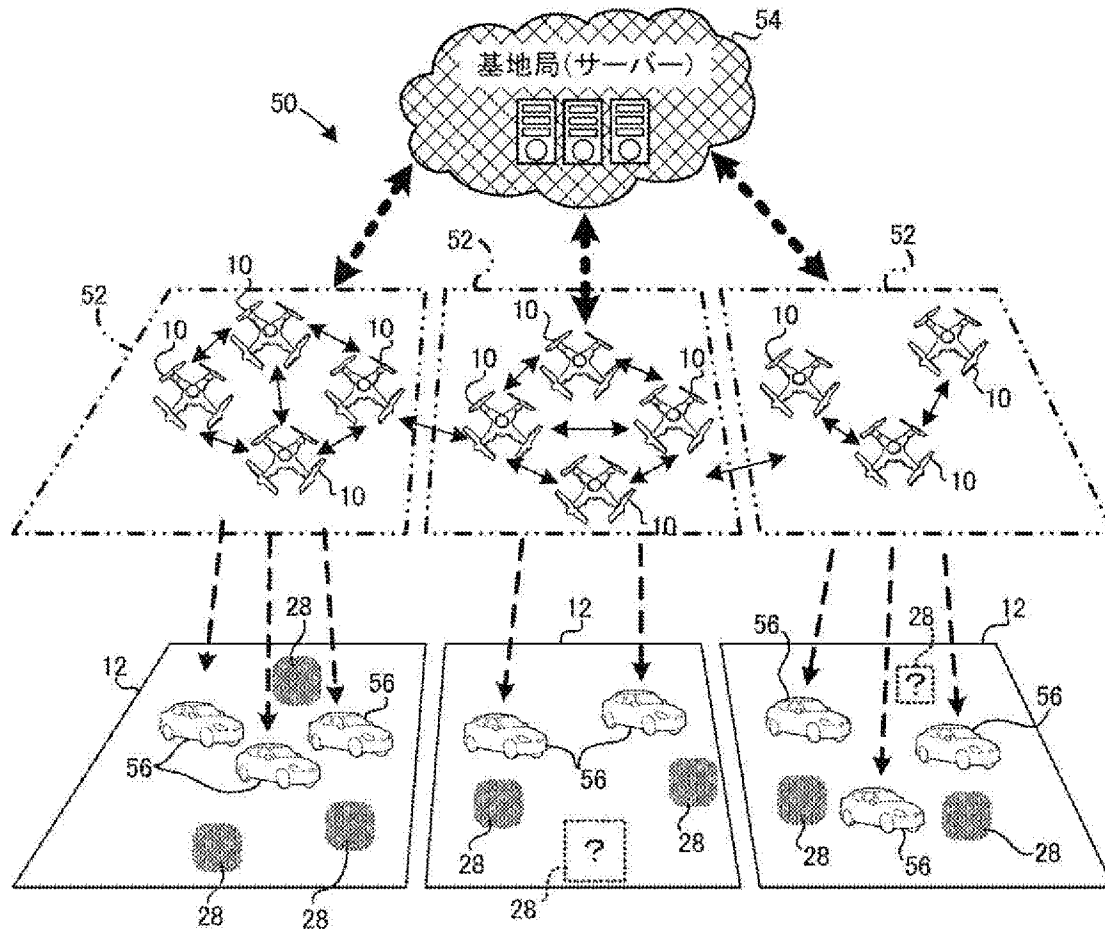
が互いに位置情報を送受信することで、衝突を回避しながら担当領域を変更するように移動させる移動体の分散制御システムにおける分散制御プログラムであって、

予め定めた予測処理により、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさ及び重要度を含む状態量を予測する予測処理の予測結果に基づき、自機移動体の担当領域内の各監視対象の不確かさに応じた探索度及び各監視対象の重要度に応じた追従度が各々所定の水準となるように、前記移動体のそれぞれに移動先の監視対象を指定し、

指定された前記監視対象が監視範囲となるように移動させる、

分散制御処理をコンピュータに実行させるための分散制御プログラム。

[図1]



凡例

←····→ ... 情報交換(対、基地局)

←····→ ... 情報交換(移動体間)

---> ... 情報提示

···· (dashed box) ... センサ群

□ (solid box) ... 監視エリア

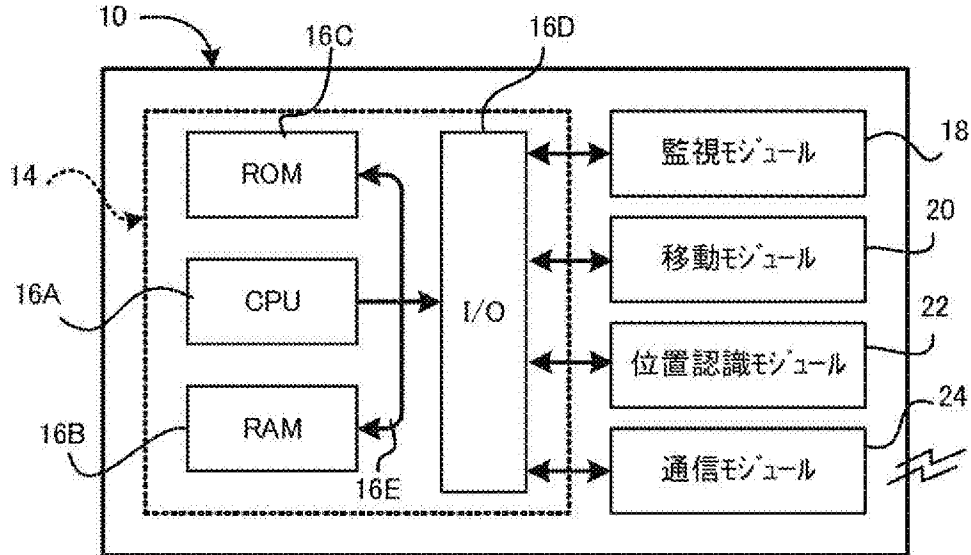
■ (hatched box) ... 既知の対象(追従領域)

□ (box with ?) ... 未知の対象(探索領域)

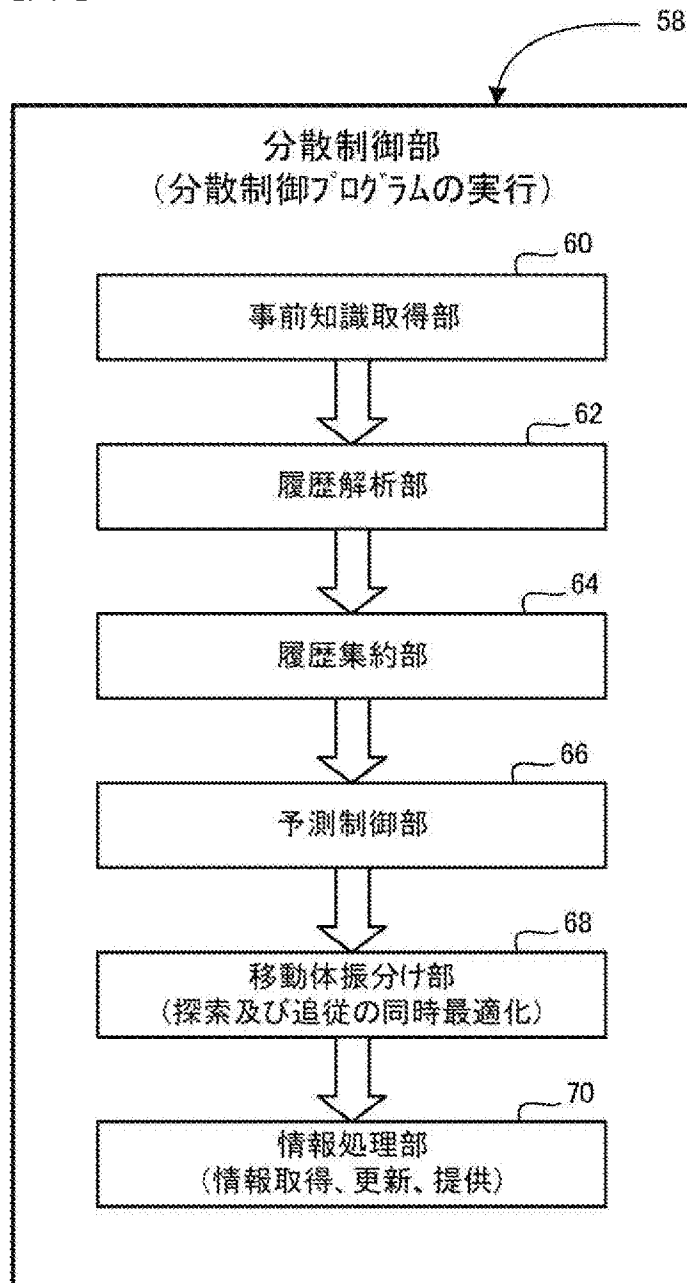
⚡ (car icon) ... ユーザ(情報利用者)

⚡ (drone icon) ... 移動体

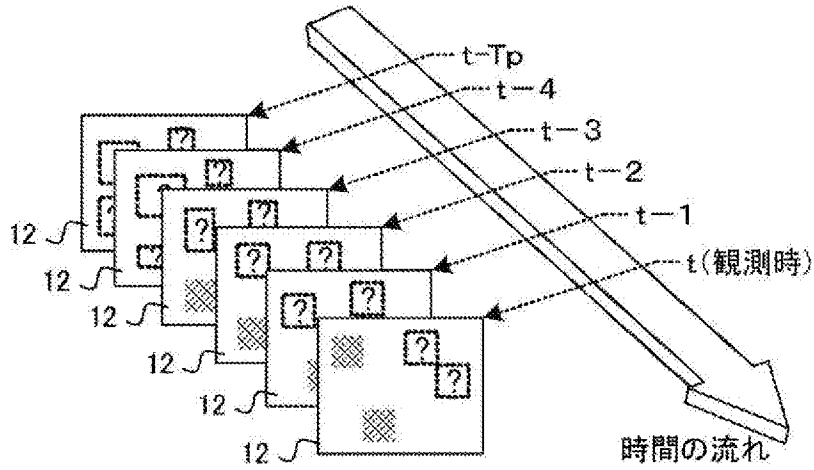
[図2]



[図3]



[図4A]

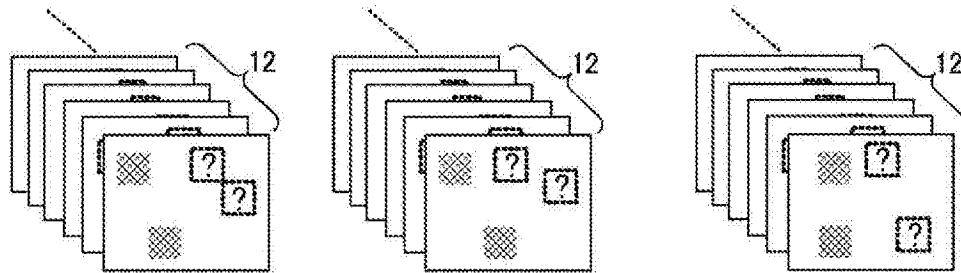


[図4B]

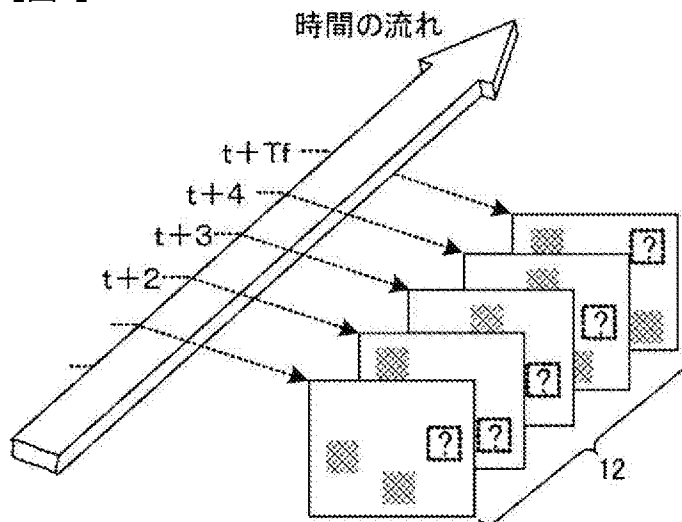
移動体(No.j1)

移動体(No.j2)

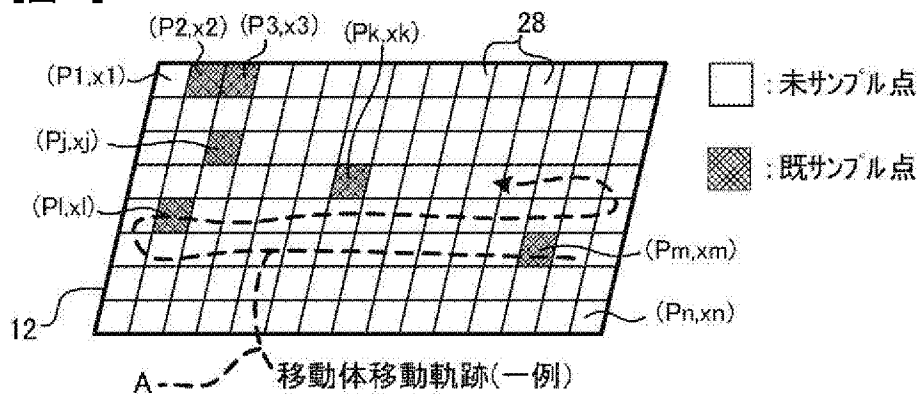
移動体(No.j|Nj|)



[図5]

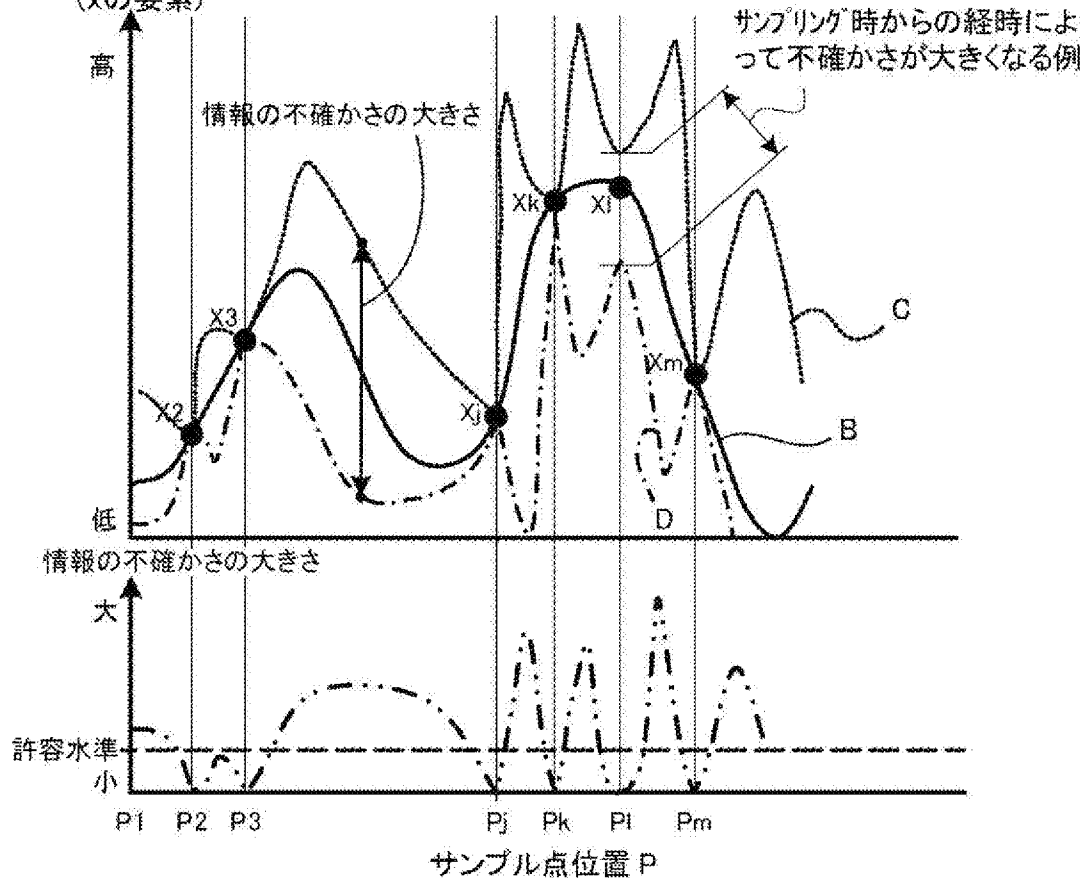


[図6A]



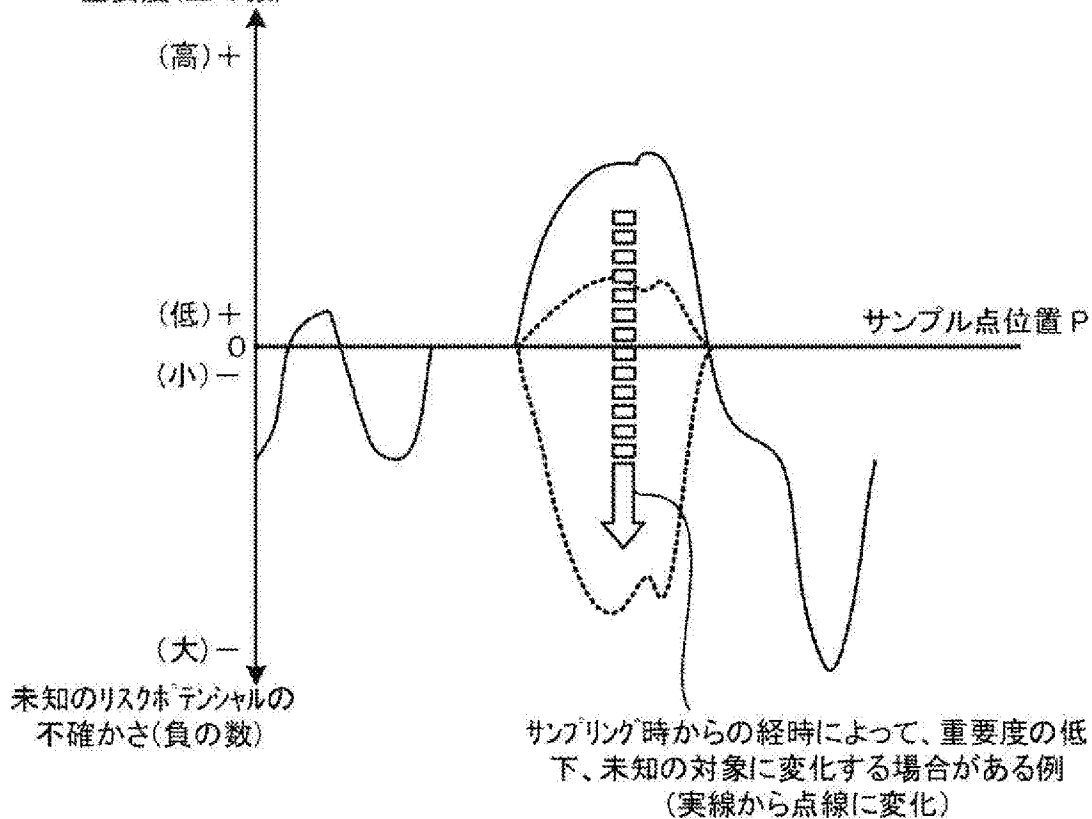
[図6B]

リスクポテンシャルの重要度
(x の要素)

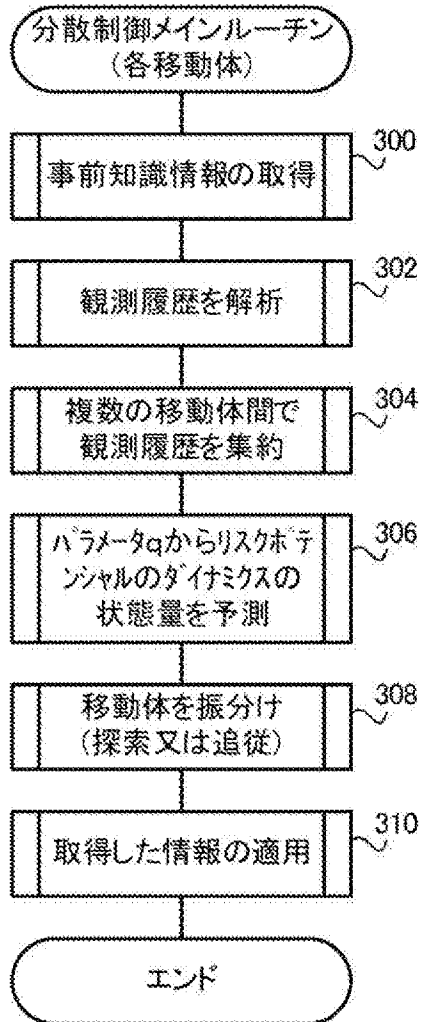


[図7]

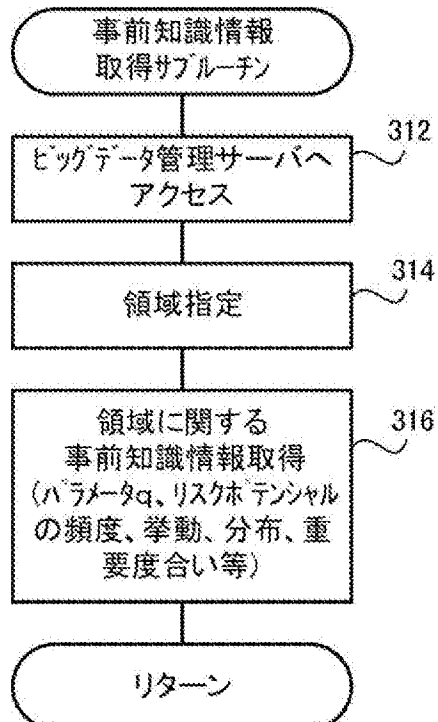
既知のリスクポテンシャルの
重要度(正の数)



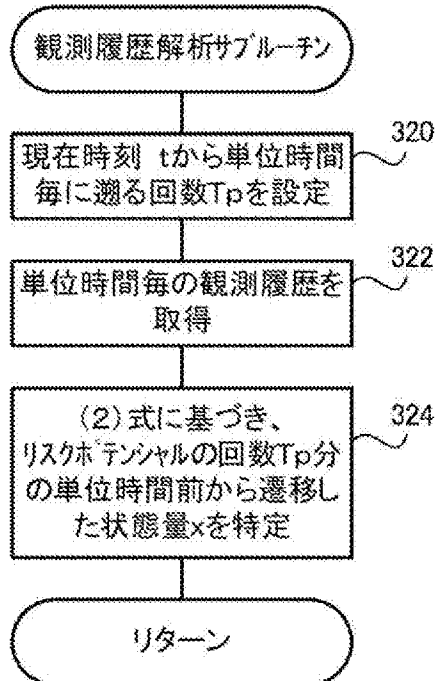
[図8]



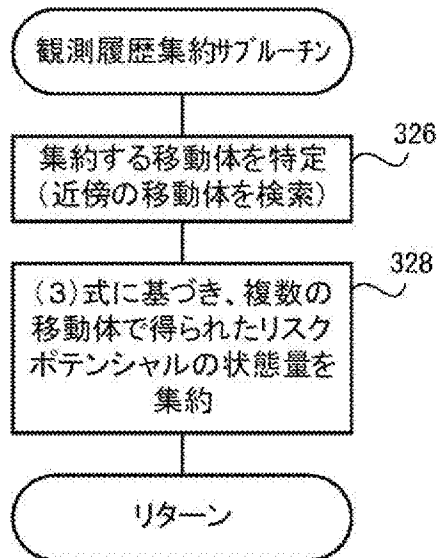
[図9A]



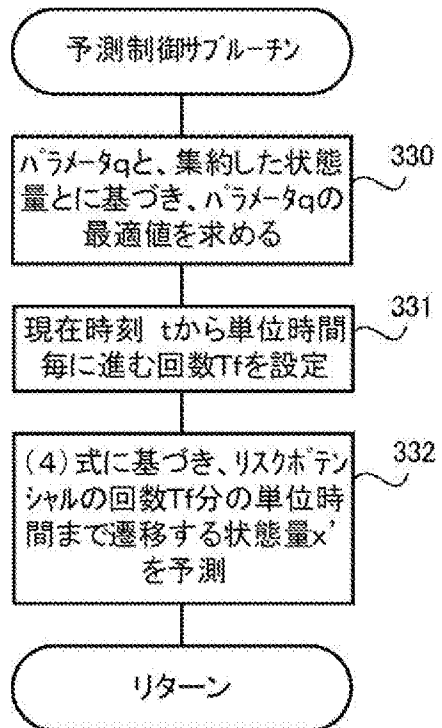
[図9B]



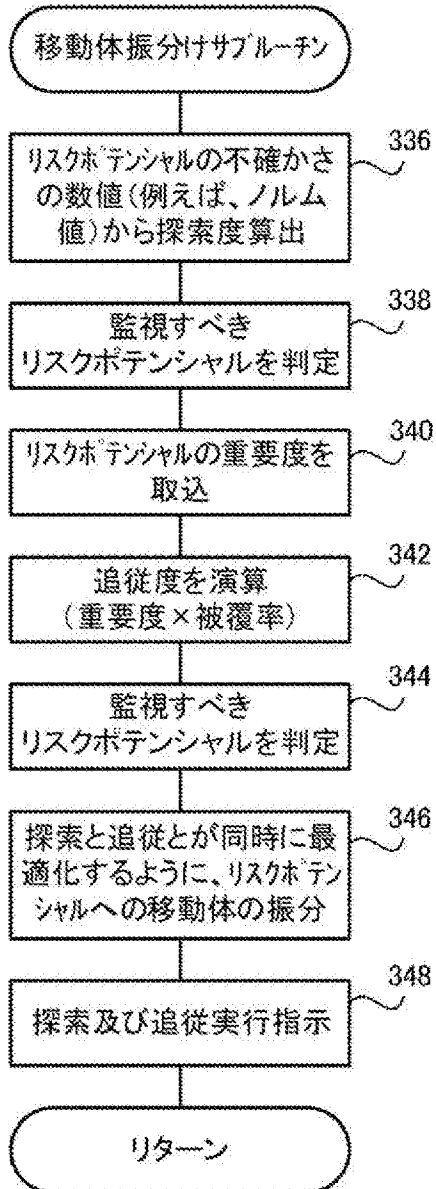
[図9C]



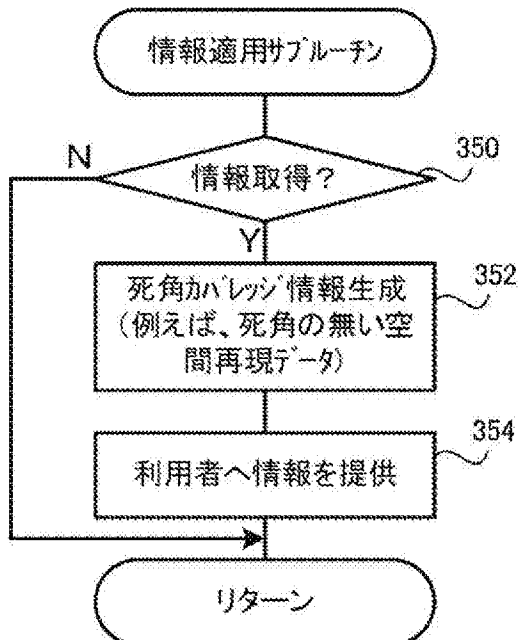
[図10A]



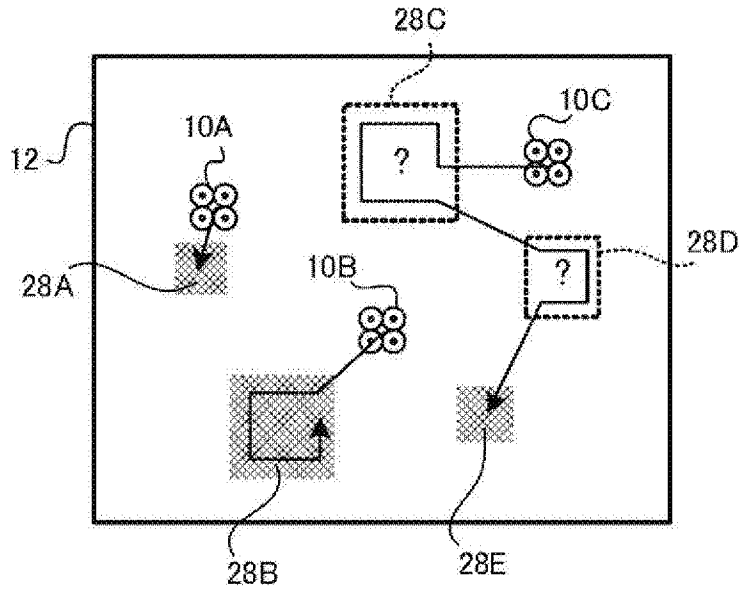
[図10B]



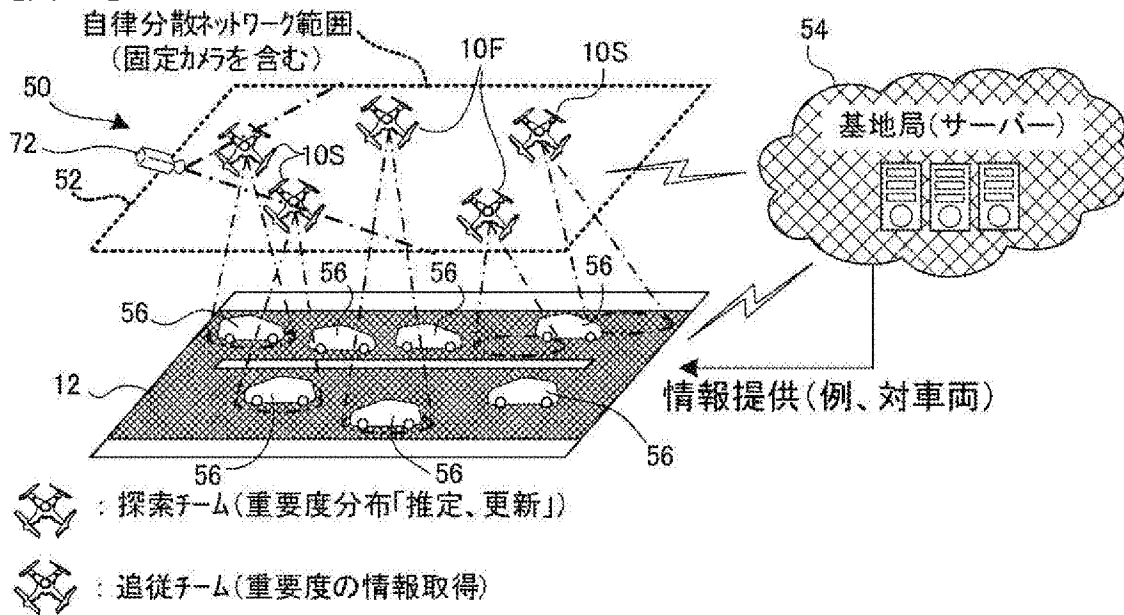
[図10C]



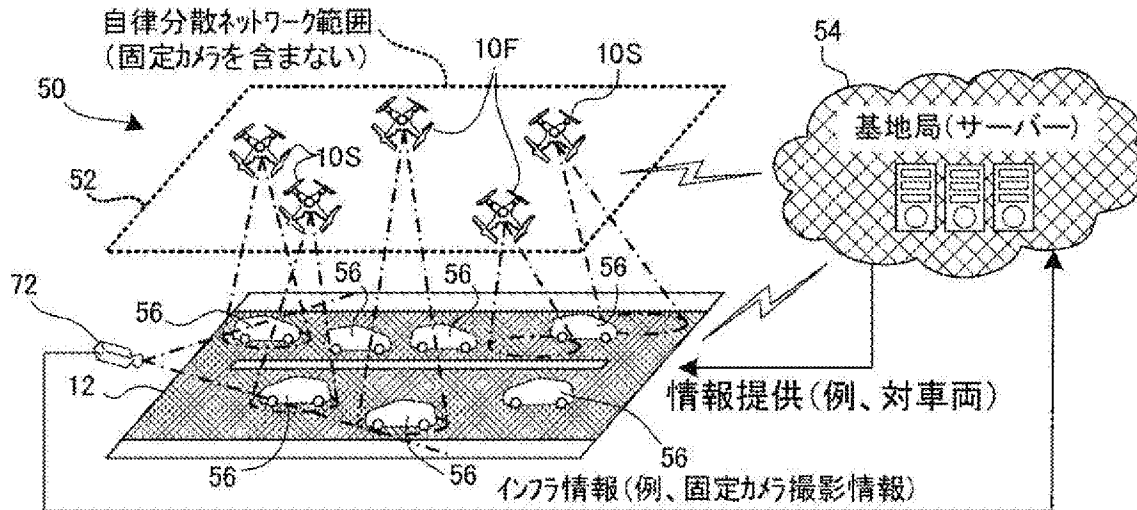
[図11]



[図12A]



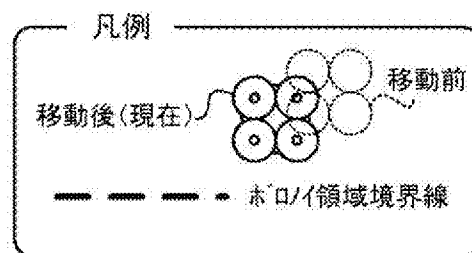
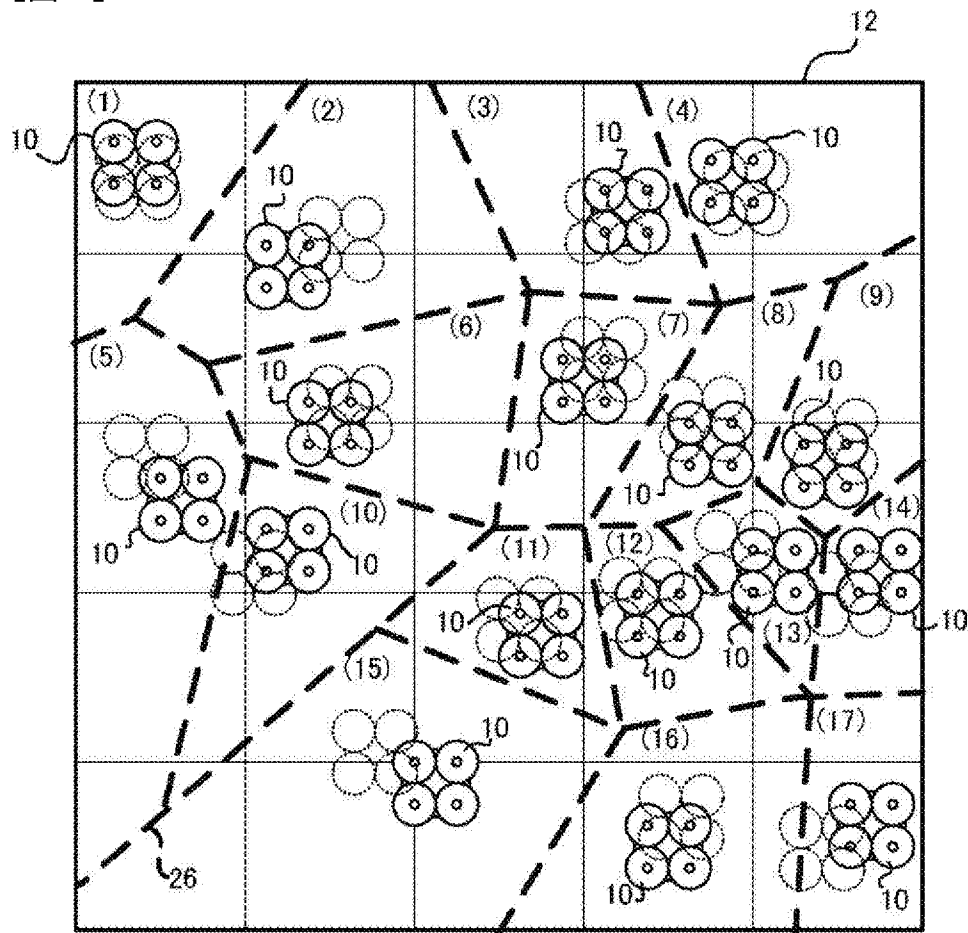
[図12B]



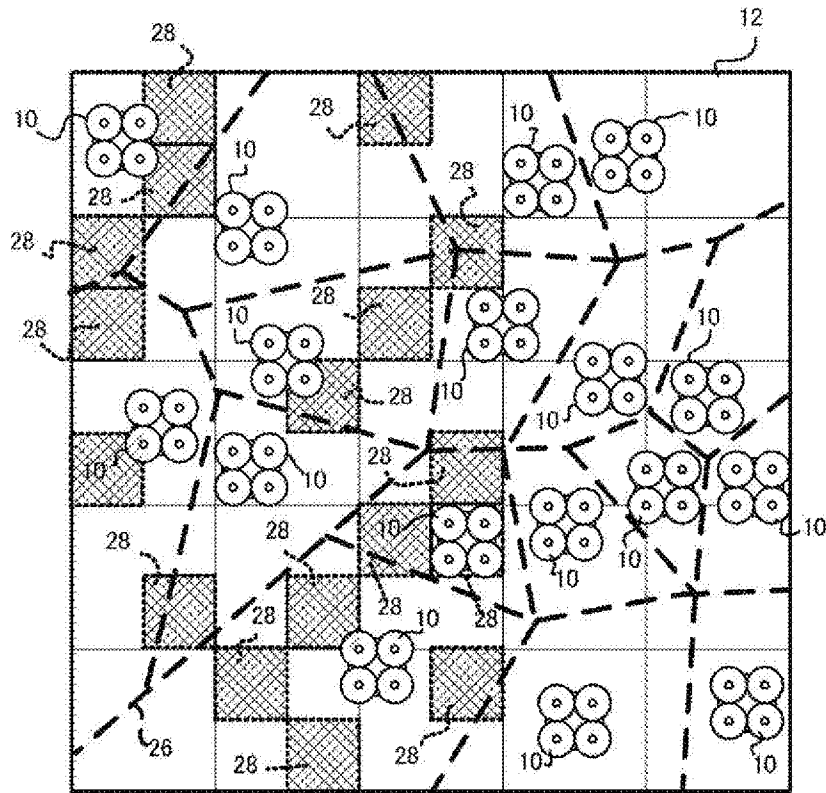
✈ : 探索チーム(重要度分布「推定、更新」)

✈ : 追従チーム(重要度の情報取得)

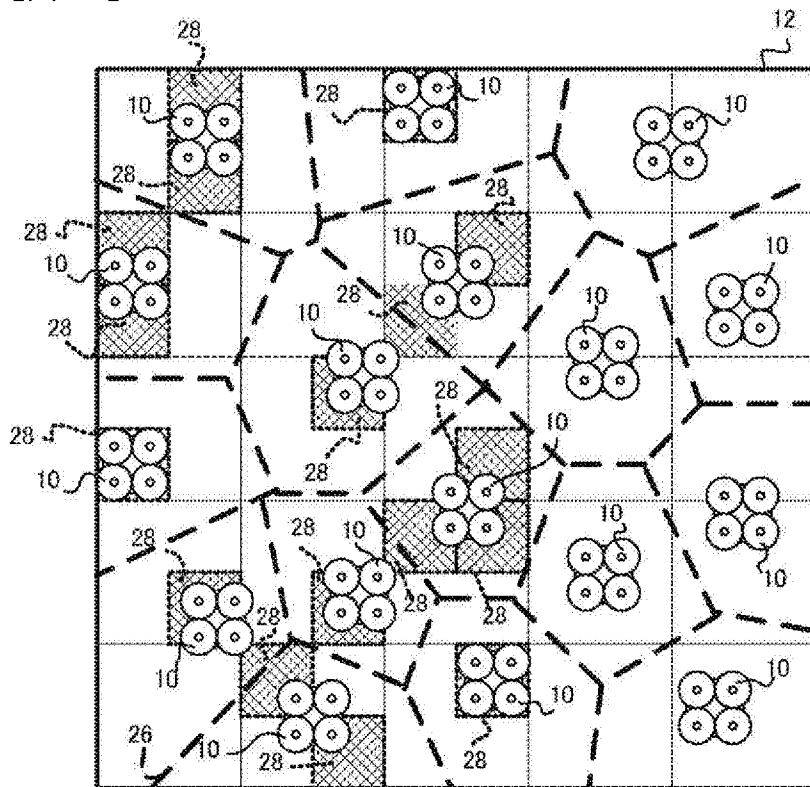
[図13]



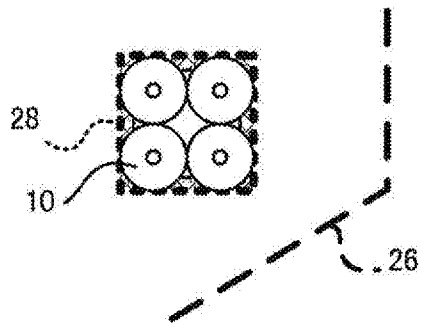
[図14A]



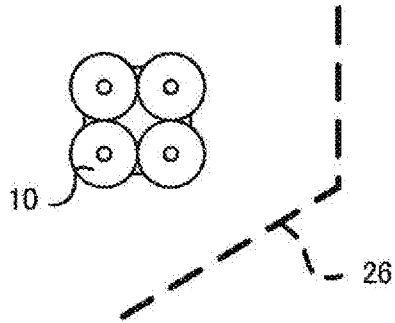
[図14B]



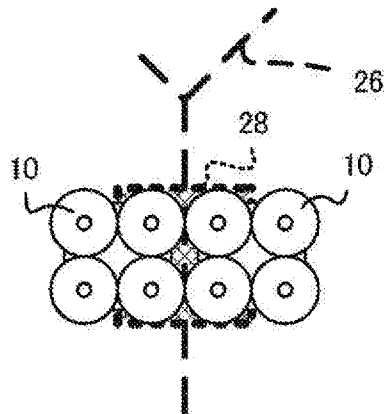
[図15A]



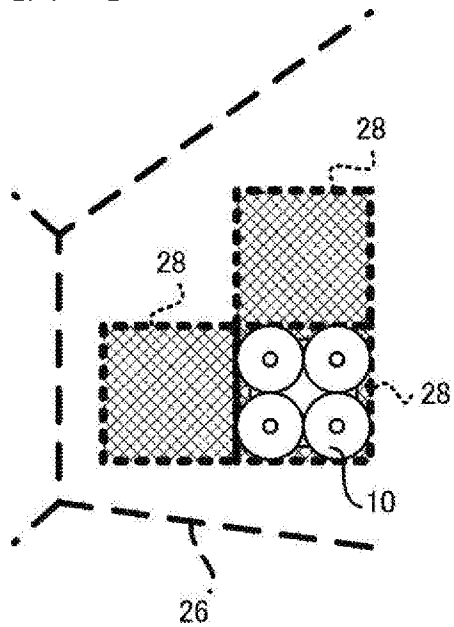
[図15B]



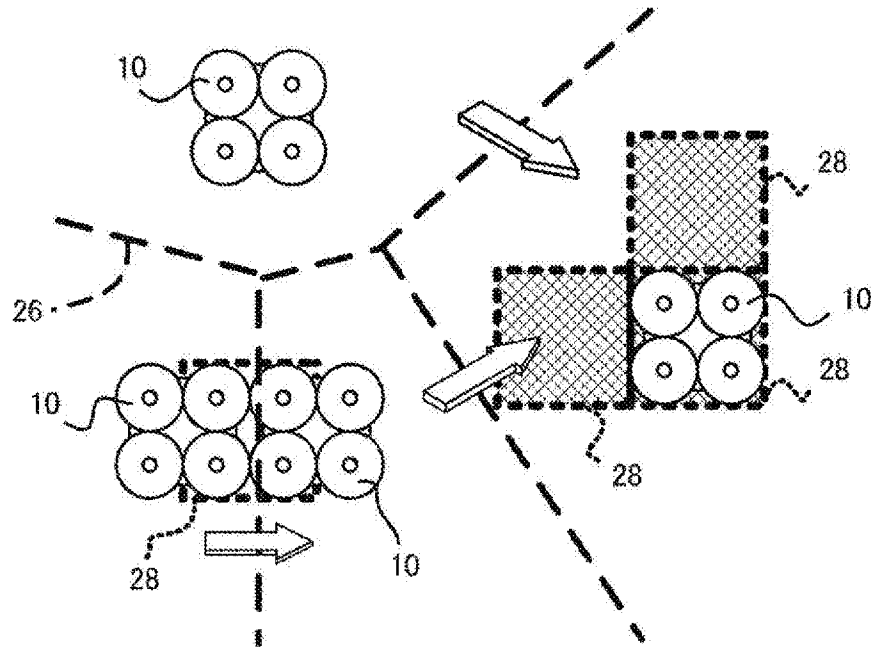
[図15C]



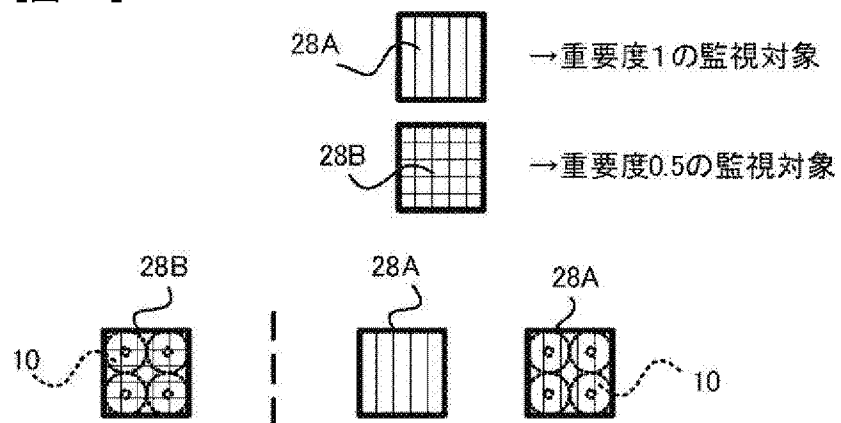
[図15D]



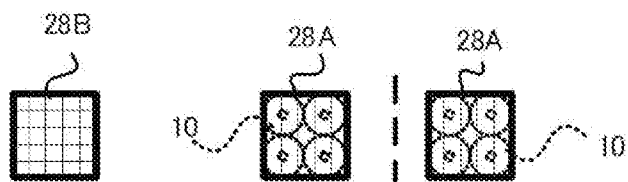
[図15E]



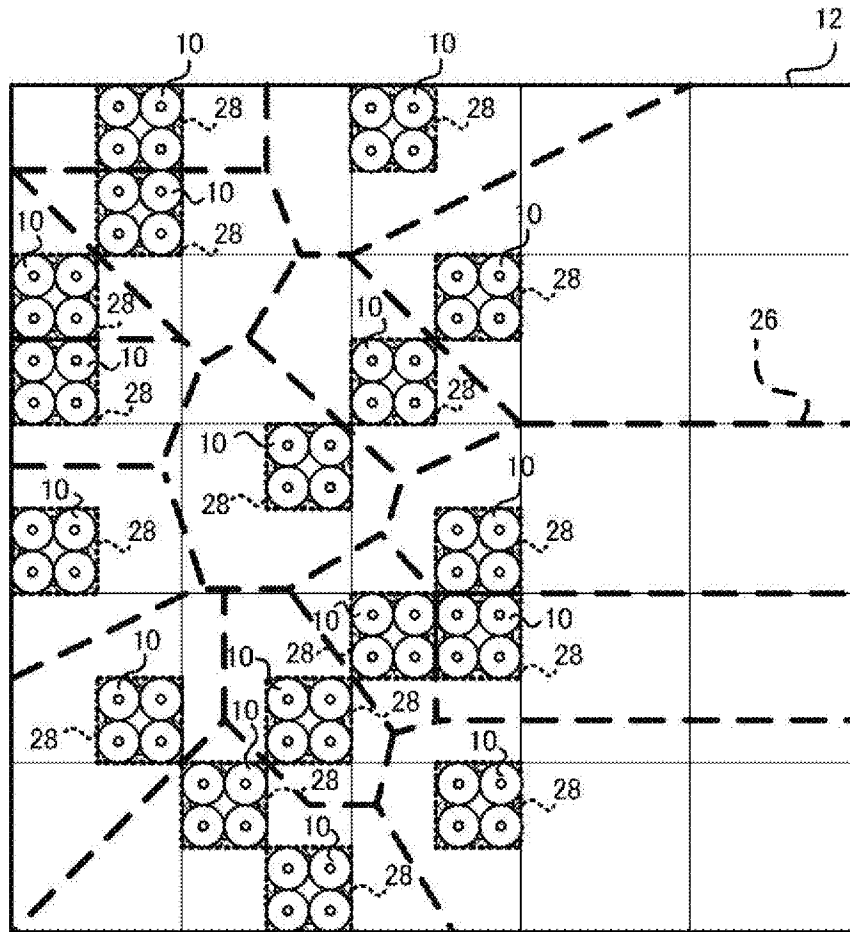
[図16A]



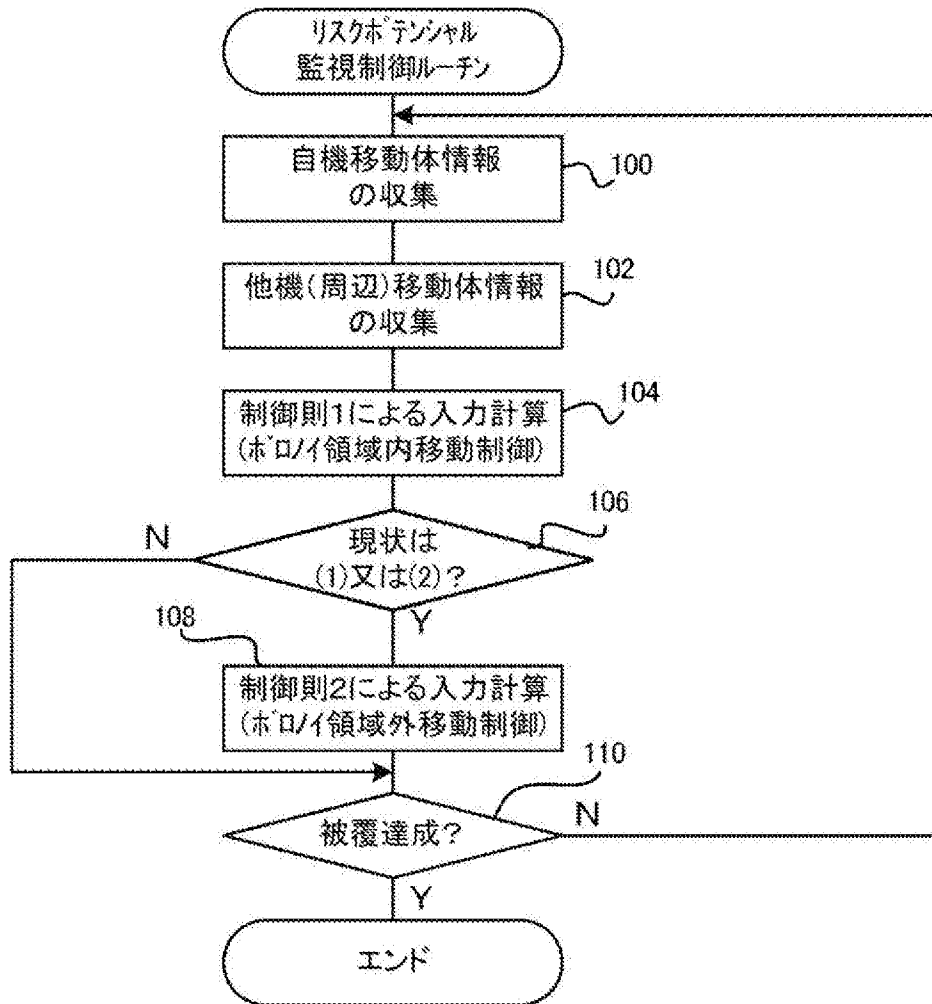
[図16B]



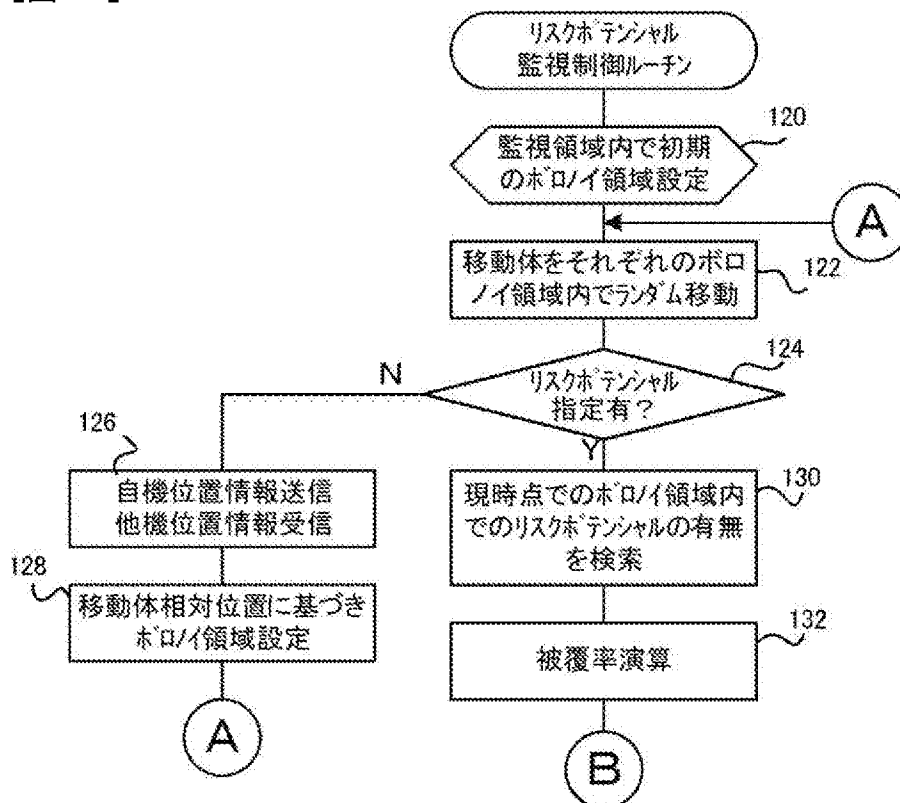
[図17]



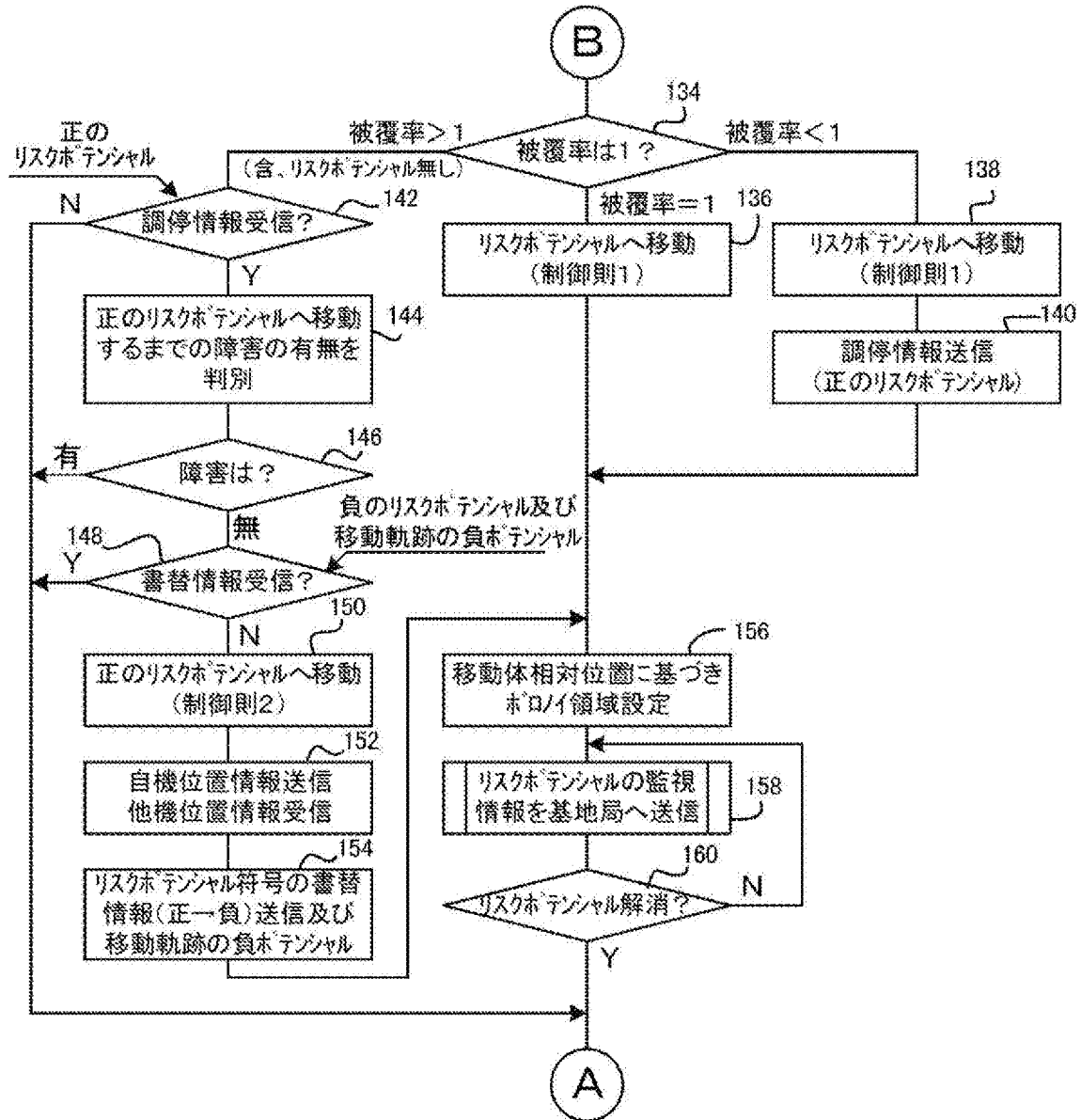
[図18]



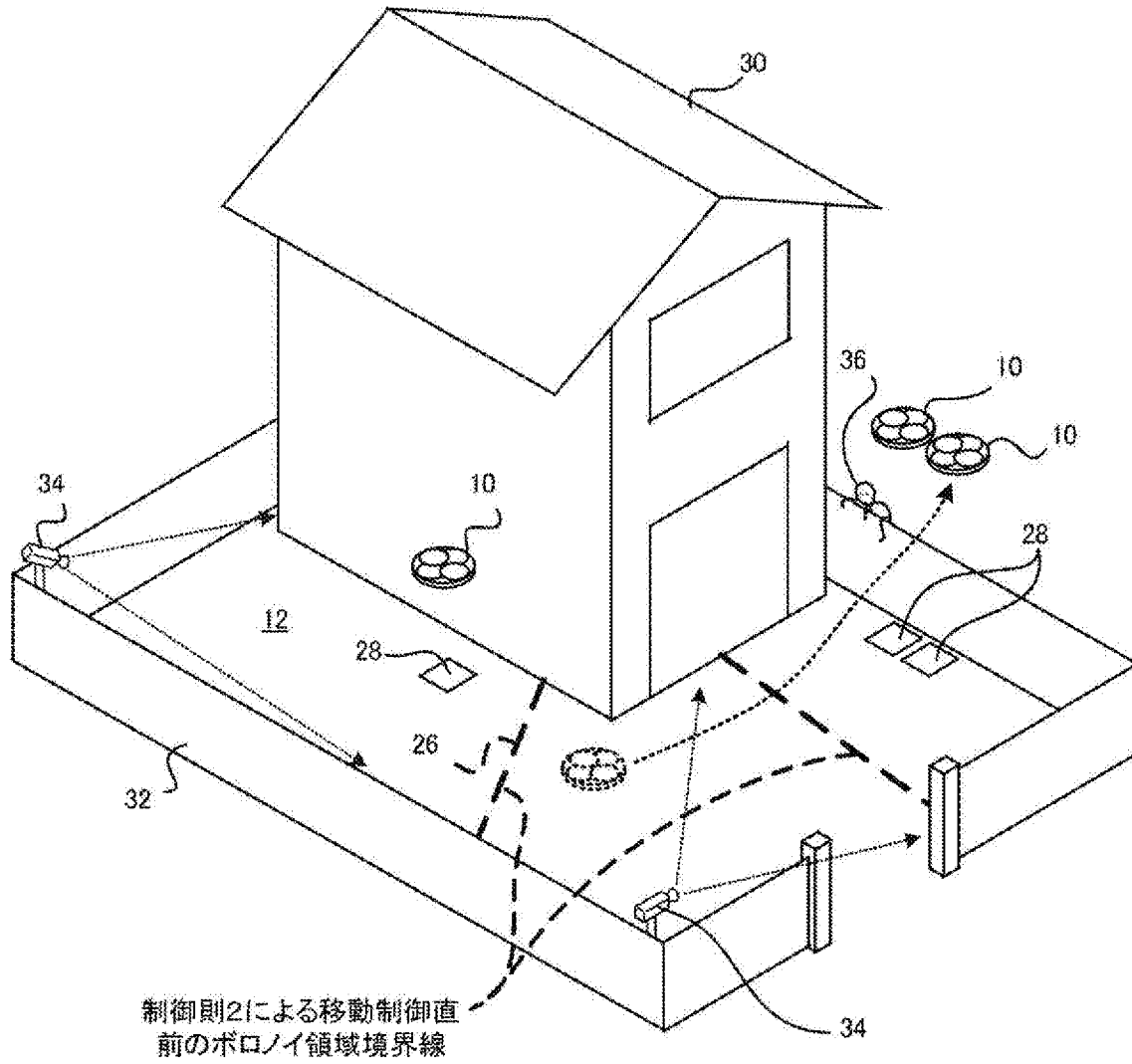
[図19A]



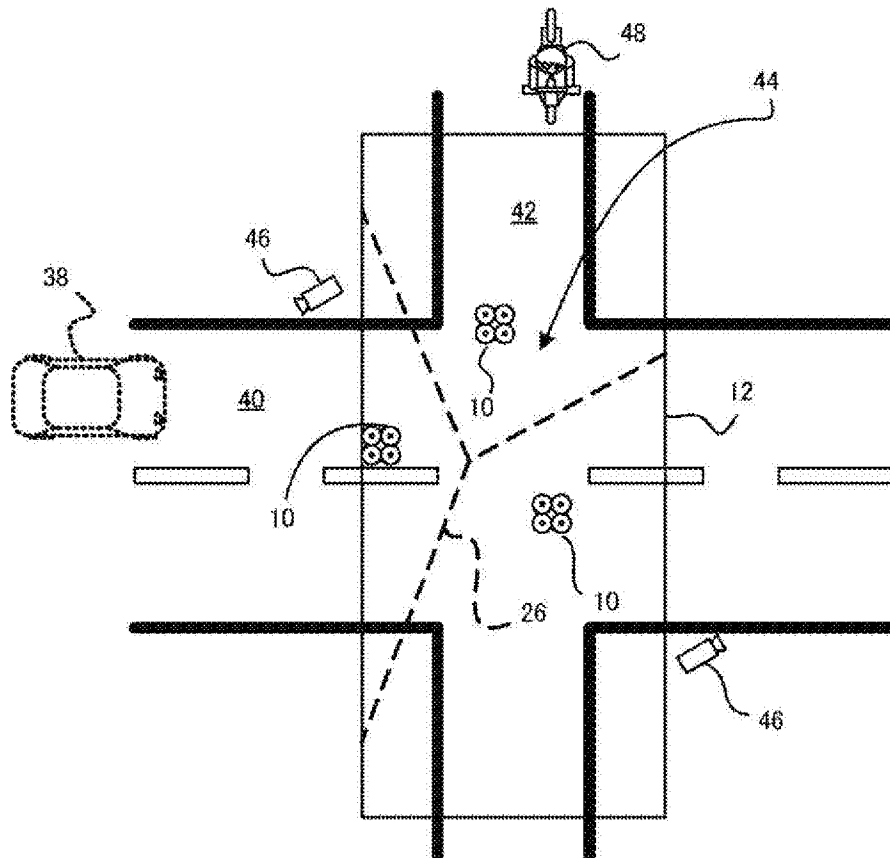
[図19B]



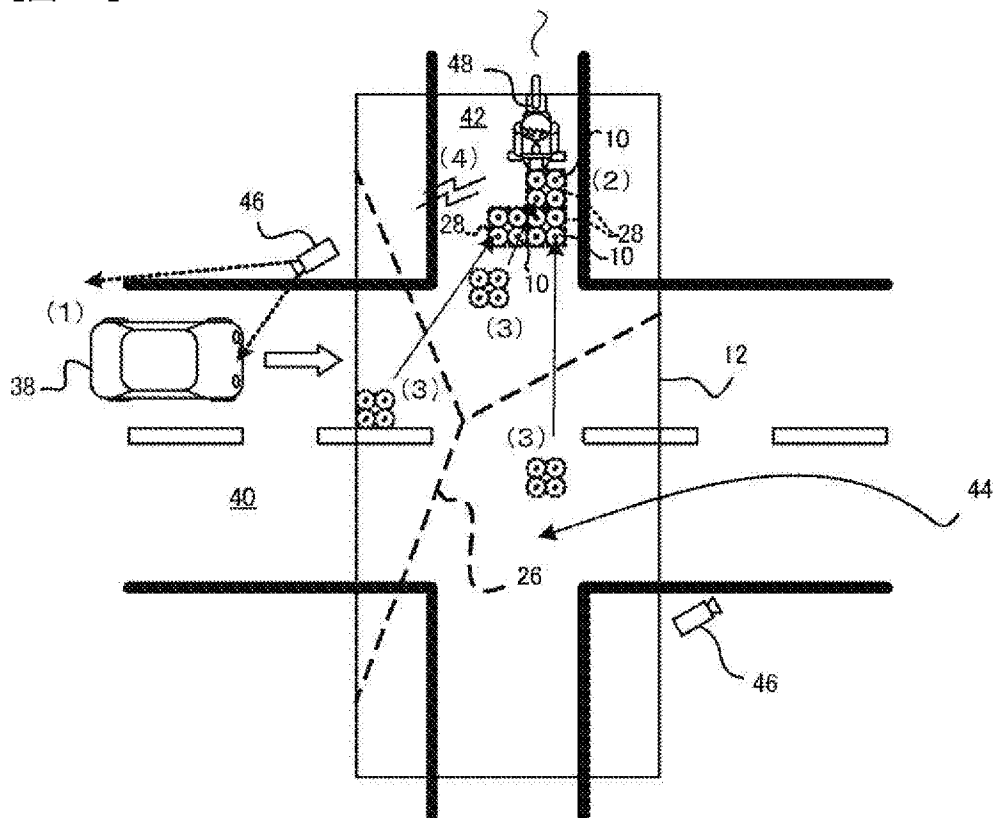
[図20]



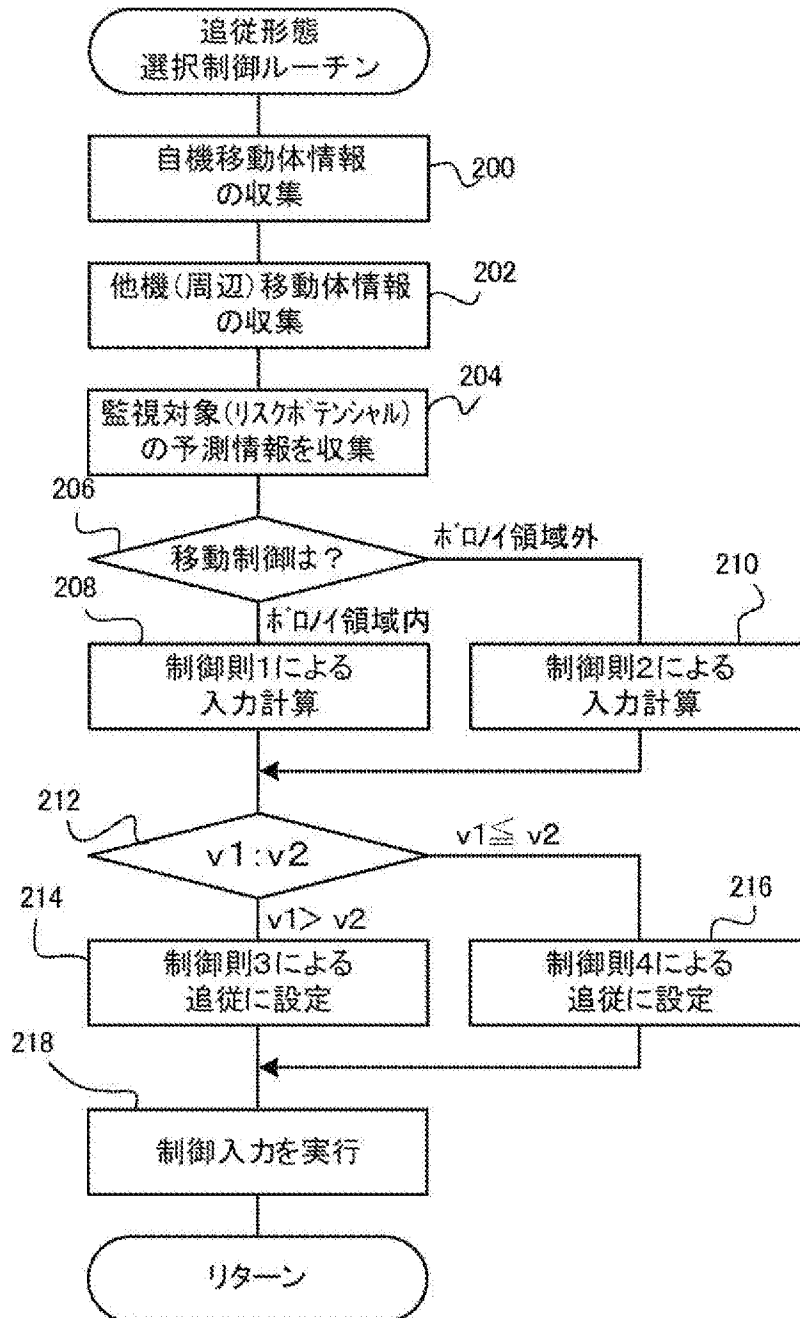
[図21A]



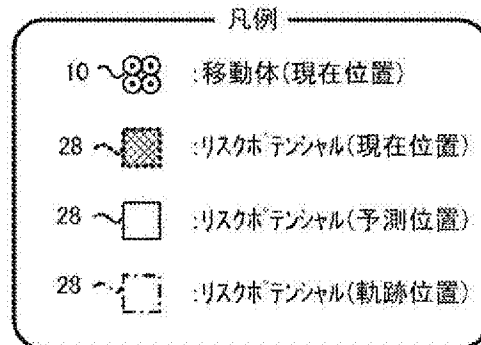
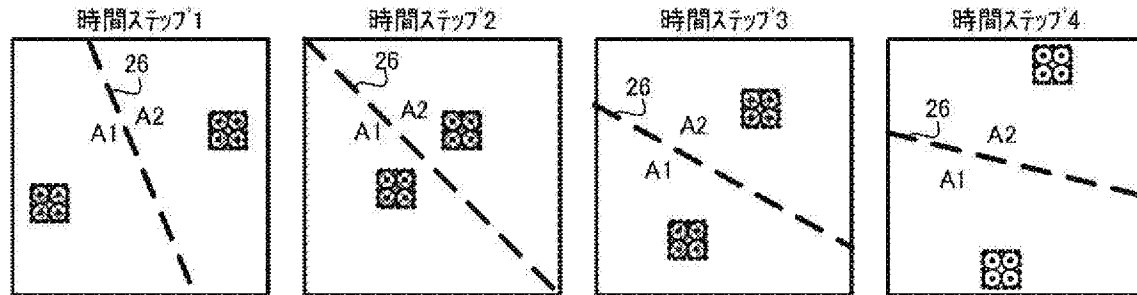
[図21B]



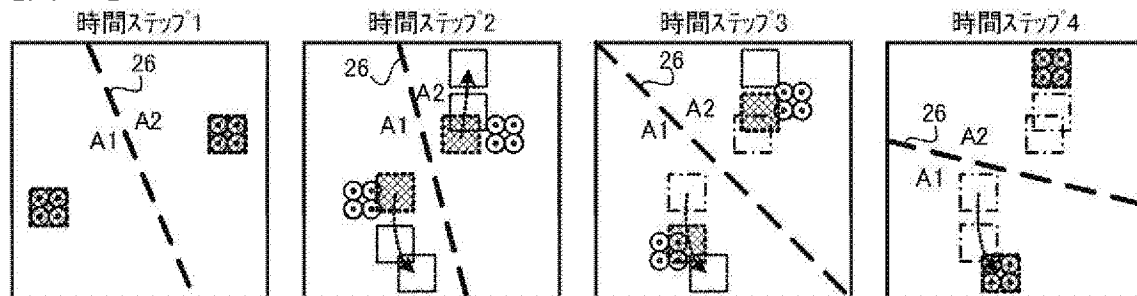
[図22]



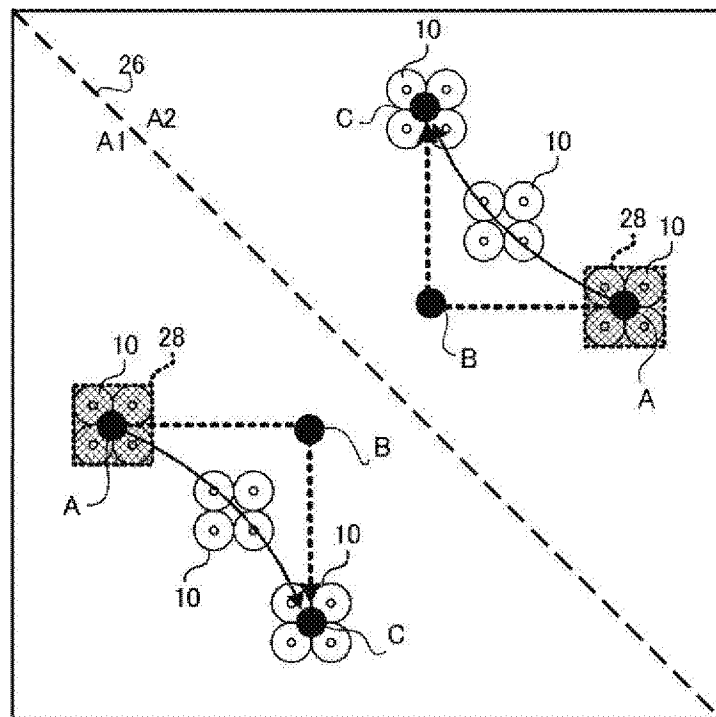
[図23A]



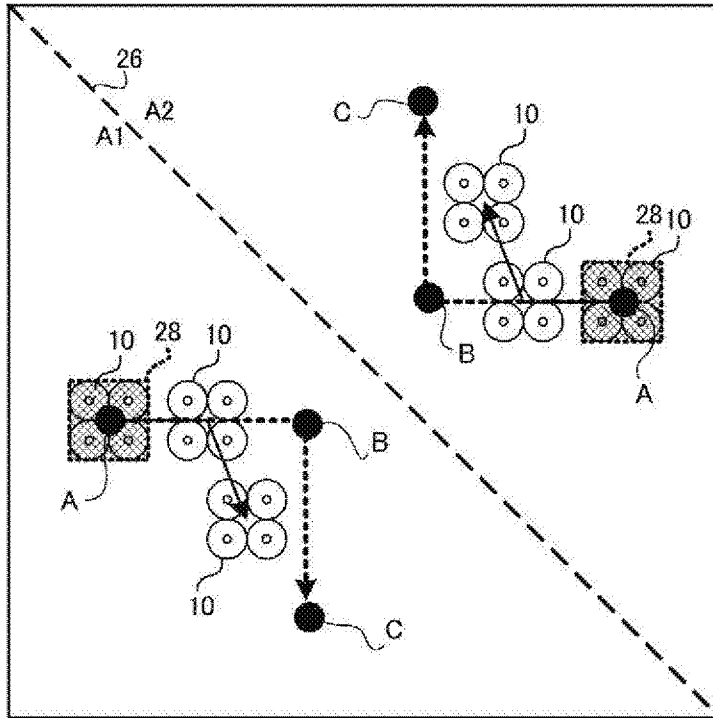
[図23B]



[図24A]



[図24B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/024655

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G05D1/00 (2006.01) i, B64C39/02 (2006.01) i, H04N7/18 (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, B64C39/02, H04N7/18

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.
A	WO 2015/171593 A1 (GEORGIA TECH RESEARCH CORPORATION) 12 November 2015, paragraphs [0042]-[0068], fig. 7-11 & JP 2017-519279 A & US 2017/0072565 A1	1-22
A	JP 2011-48736 A (FUJITSU LIMITED) 10 March 2011, paragraphs [0012]-[0070], fig. 1-14 (Family: none)	1-22

☒ 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 05.09.2018	Date of mailing of the international search report 18.09.2018
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/JP2018/024655

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2018-92256 A (TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.) 14 June 2018, paragraphs [0039]-[0120], fig. 1-9 (Family: none)	1-22

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, B64C39/02(2006.01)i, H04N7/18(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, B64C39/02, H04N7/18

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
A	WO 2015/171593 A1 (GEORGIA TECH RESEARCH CORPORATION) 2015.11.12, 段落[0042]-[0068], 図 7-11 & JP 2017-519279 A & US 2017/0072565 A1	1-22
A	JP 2011-48736 A (富士通株式会社) 2011.03.10, 段落[0012]-[0070], 図 1-14 (ファミリーなし)	1-22

☒ 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

05.09.2018

国際調査報告の発送日

18.09.2018

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）

影山 直洋

3 U

5785

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
P, A	JP 2018-92256 A (株式会社豊田中央研究所) 2018.06.14, 段落[0039]-[0120], 図 1-9 (ファミリーなし)	1-22