

(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
2017年11月23日(23.11.2017)



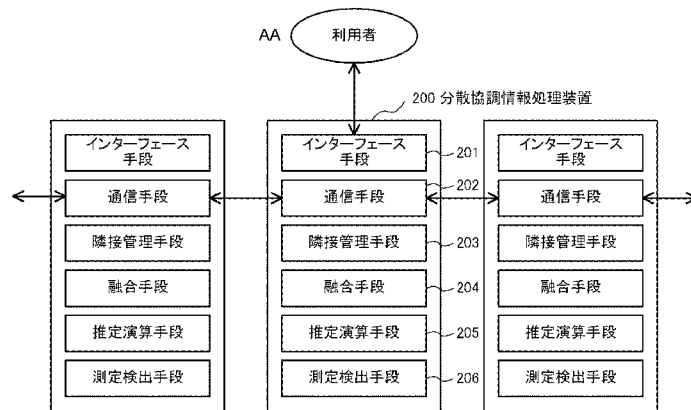
(10) 国際公開番号

WO 2017/199909 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 9/46 (2006.01) G06F 11/16 (2006.01)
G01S 13/89 (2006.01) G06F 13/00 (2006.01)
G06F 1/14 (2006.01) G06F 15/173 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/018200
- (22) 国際出願日: 2017年5月15日(15.05.2017)
- (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 2016-099441 2016年5月18日(18.05.2016) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 加美 伸治(KAMI Nobuharu); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 工藤 健太郎(KUDOU Kentarou); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 池田 昇平(IKEDA Shohei); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 下坂 直樹 (SHIMOSAKA Naoki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 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,

(54) Title: DISTRIBUTED COOPERATIVE INFORMATION PROCESSING DEVICE, DISTRIBUTED COOPERATIVE INFORMATION PROCESSING METHOD, AND RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: 分散協調情報処理装置、分散協調情報処理方法、及び記録媒体



- 200 Distributed cooperative information processing device
201 Interface means
202 Communication means
203 Neighbor management means
204 Merging means
205 Estimate computation means
206 Measurement/detection means
AA User

(57) Abstract: In order to eliminate the need for a centralized server, which would create a single point of failure in a system, and stably perform an estimate assessment process even when a node malfunction or the like occurs, the distributed cooperative information processing device according to the present application is a distributed cooperative information processing device distributed and disposed within a prescribed field, wherein the device comprises: a measurement/detec-

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, 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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

tion means that uses a sensor device to measure the surrounding environment; an estimate computation means that generates, on the basis of the results of measuring the surrounding environment, estimate assessment information indicating the likelihood of a hypothetical set of states occurring in the surrounding environment; a communication means that receives estimate assessment information generated by another distributed cooperative information processing device within the field; a neighbor management means that manages information on other distributed cooperative information processing devices; and a merging means for merging estimate assessment information generated by the local device and estimate assessment information received from another distributed cooperative information processing device.

(57) 要約: システムの単一障害点となる集中サーバを不要にするとともに、ノード故障等があっても安定して推定判断処理を行うため、本発明の分散協調情報処理装置は、所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置であって、センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する測定検出手段と、周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する推定演算手段と、フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信する通信手段と、他の分散協調情報処理装置の情報を管理する隣接管理手段と、自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する融合手段とを有する。

明 細 書

発明の名称：

分散協調情報処理装置、分散協調情報処理方法、及び記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、分散協調情報処理装置、分散協調情報処理方法、及び記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 近年のＩＣＴ（Information and Communication Technology）に関連するハードウェア及びソフトウェア技術の発展に基づき、小型で高い演算処理能力及び通信処理能力を備えた装置が増えてきている。一方で、所定のレベルを超える非常に高い処理能力を要する場合は、依然として大型で高価な装置が必要になる。

[0003] そこで、様々な用途又は要求性能を満たす大型で高価な装置を設計するのではなく、ある程度の性能を有する小型の装置を大量に組み合わせて大型の装置と同等の性能を実現するシステムが検討されている。センサーフュージョン又はデータフュージョンは、その一例であり、高価で高性能なセンシング装置ではなく、比較的安価な多数のセンサーデバイスを組み合わせて高度なシステムを実現する。

[0004] 例えば、分散レーダーセンサーネットワークは、複数のレーダーセンサーを分散配置し、様々な地点におけるセンシング情報を集めて高い探知能力を実現する（例えば、非特許文献１を参照）。分散レーダーセンサーネットワークでは、複数のレーダーセンサーを分散配置するため、地形的な要因等である一方向からの探索が難しい場合でも、多方向から測定することで、監視可能な範囲を拡張できる利点がある。

[0005] 分散レーダーセンサーネットワークのように、多数のセンシング情報等を融合して高度な情報を実現するシステムでは、比較的高い頻度でデータフュージョンが実行される。データフュージョンとは、種類が異なる複数の情報

を集めて融合することで、より高度な情報に加工する手法である。例えば、特許文献1には、複数のレーダーセンサーで測定された情報を統合して情報の精度を向上させる手法が記載されている。また、特許文献2には、監視対象物の識別分類のために、複数のセンサーデータを融合する手法が記載されている。

[0006] 特許文献1及び2、並びに非特許文献1に記載された手法は、集中サーバに情報を集約させて演算することを前提としている。しかし、集中サーバを用いずに局所的な情報のみで隣接ノードと協調しながら分散して処理を実行する技術も検討されている。例えば、非特許文献2には、ネットワークで接続された複数のノード同士が情報を交換又は更新することで、それぞれのノードが有する変数が全体の平均値に収束するように設計されたAverage Consensus法が記載されている。この仕組みを利用して、複数のセンサーノード等で取得されたデータから最尤状態を推定する手法が検討されている。

[0007] 本発明に関連する発明として、特許文献3ないし6がある。特許文献3は、通信システムにおいて、自律協調型サブシステムを生成する方法を開示している。特許文献4は、観測対象に関する情報を融合する技術を開示している。特許文献5は、外部環境を認識する技術を開示している。特許文献6は、自律分散制御ノードからなるネットワークにおける経路の制御に関する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開平10-104354号公報
特許文献2：米国特許第7283938号明細書
特許文献3：特開平05-300149号公報
特許文献4：特開平06-266560号公報
特許文献5：特開平08-063581号公報
特許文献6：特開2005-210461号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1: Jing Liang, Qilian Liang, "Design and analysis of distributed radar sensor networks", IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, VOL. 22, NO. 11, NOVEMBER 2011

非特許文献2: Lin Xiao, Stephen Boyd, Sanjay Lall, "A scheme for robust distributed sensor fusion based on average consensus", Proceedings of the 4th International symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '05), April 24-27, 2005, pp.63-70

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 上述したように、特許文献1及び2、並びに非特許文献1に記載された手法は、データを融合する際に、集中サーバで一元的に管理して処理することが前提となっている。そのため、例えば、大規模なシステムの場合は、大量のデータをリアルタイムに収集して処理する必要があり、ネットワークにおける通信負荷及び集中サーバにおける計算負荷が大きくなる。また、分散して配置されたセンサー等を備える個々の装置も集中サーバとの長距離通信が必要になるため、その装置の部品点数が増大し、消費電力も大きくなる。さらに、集中サーバは、システムの単一障害点となるため、耐障害性に課題がある。

[0011] 一方、非特許文献2に記載された手法は、各ノードが有する変数の算術平均値への収束を利用することから、算術和で融合した情報の平均値から計算できる情報しか扱えない。したがって、非特許文献2に記載された手法を用いてより一般的な演算を行うには、ネットワークに現在参加しているノード数の情報が必要である。そのため、非特許文献2に記載された手法は、平均値以外の演算を必要とする高度な情報融合には使えない。すなわち、非特許文献2に記載された分散手法を用いた最尤推定処理では、一般的な推定判断情報の融合処理ができないという問題点があった。例えば、Average Consensus法を用いれば、完全分散演算に基づく求めたい変数の算術平均に高速に収束させることが可能であり、平均推定等は可能である。しかし、非特許文献

2に記載された手法では、より一般的な確率的な推定判断情報の融合処理はできない。また、そのような高度な融合処理を行う上で、予測できないノード故障等に基づいて現在正常に動作しているノード数に変動する場合を考慮した、安定した演算を実現できる仕組みがない。

[0012] 特許文献3ないし6も、上記問題点を解決する技術を開示していない。

[0013] 本発明は、上述したような背景技術が有する課題を解決するためになされたものである。本発明の目的は、システムの単一障害点となる集中サーバを不要にするとともに、ノード故障等があっても安定して推定判断処理を行うことができる分散協調情報処理装置、分散協調情報処理方法及び記録媒体を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 上記目的を達成するため本発明の一形態における分散協調情報処理装置は、
、
所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置であって、
、
センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する測定検出手段と、
周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する推定演算手段と、
フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信する通信手段と、
他の分散協調情報処理装置の情報を管理する隣接管理手段と、
自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する融合手段と
を有する。

[0015] 本発明の一形態における分散協調情報処理方法は、
所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置が実行する分散協調情報処理方法であって、
センサーデバイスを用いて周囲環境を測定し、

周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成し、

フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信し、

他の分散協調情報処理装置の情報を管理し、

自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する。

[0016] 本発明の一形態における記録媒体は、

所定のフィールド内に分散して配置されるコンピュータに、

センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する処理と、

周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する処理と、

フィールド内の他のコンピュータで生成された推定判断情報を受信する処理と、

推定判断情報を受信する他の分散協調情報処理装置の情報を管理する処理と、

他のコンピュータの情報を管理する処理と、

自装置で生成した推定判断情報と他のコンピュータから受信した推定判断情報とを融合する処理と

を実行させるプログラムをコンピュータ読み取り可能に記憶する。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、システムの単一障害点となる集中サーバを不要にするとともに、ノード故障等があっても安定して推定判断処理を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第1の実施の形態に係る分散協調情報処理システムの一構成例を示すブロック図である。

[図2]図1に示した分散協調情報処理装置の機能を実現する情報処理装置のハ

ードウェアの一構成例を示すブロック図である。

[図3]図2に示した分散協調情報処理装置における融合処理で用いるチャンネル構成及び処理の一例を示す模式図である。

[図4]第2の実施の形態に係る分散協調情報処理装置の一構成例を示すブロック図である。

[図5]本発明の第1具体例の構成を示す概念図である。

[図6]図5に示した分散小型レーダーシステムにおける資源利用量の調整例を示す模式図である。

[図7]図5に示した分散小型レーダーシステムで利用者が参照できる情報例を示す模式図である。

[図8]本発明の第2具体例の構成を示す概念図である。

[図9]本発明の第3具体例の構成を示す概念図である。

[図10]第1の実施形態の概要を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 次に本発明について図面を用いて説明する。

[0020] (第1の実施の形態)

図1は、第1の実施の形態に係る分散協調情報処理システムの一構成例を示すブロック図である。

[0021] 図1に示すように、第1の実施の形態の分散協調情報処理システムは、所定のフィールド内に分散して配置された複数(図1では3台)の分散協調情報処理装置200を備える。分散協調情報処理システムにおいて、各分散協調情報処理装置200が、通信可能に接続されてネットワークが形成された構成である。以下では、ネットワークを形成する分散協調情報処理装置200を単に「ノード」と称す場合がある。

[0022] 分散協調情報処理装置200は、インターフェース手段201、通信手段202、隣接管理手段203、融合手段204、推定演算手段205、及び測定検出手段206を備える。

[0023] インターフェース手段201は、分散協調情報処理システムの利用者に情

報を提示する、又は利用者からの動作コマンド等を受け付ける、C L I (Command Line Interface) 又はG U I (Graphical User Interface) 等である。利用者は、分散協調情報処理装置200が有する情報を、不図示の表示装置を用いて、テーブル形式、テキスト形式、グラフ、地図、又は地形図等の視覚的情報として参照する。あるいは、利用者は、不図示の入力装置(キーボード、マウス等)を用いて、上記各手段の設定パラメータを変更したり、更新したり、動作を制御するコマンド等を入力したりできる。

[0024] 通信手段202は、隣接する分散協調情報処理装置200(以下、隣接ノードと称す)、又は利用者の端末装置(不図示)等と、ネットワークを介してデータ送受信するための通信装置である。通信手段202は、周知のT C P (Transmission Control Protocol) / I P (Internet Protocol) 等の通信プロトコルを利用して、隣接ノード又は利用者の端末装置等との間で情報の送受信機能を提供する。通信手段202は、隣接ノード又は利用者の端末装置と所要の情報を交換できればよく、その通信方式を限定するものではない。通信手段202は、端末装置として、タブレット型若しくはブック型のパーソナルコンピュータ、又は携帯電話機等の情報処理装置を用いることができる。

[0025] 隣接管理手段203は、情報を送受信する隣接ノードの情報(ノードI D (identification) のリスト又はI P アドレス等)、アクセスを許可する利用者の情報(利用者I D 等)、又はそのアクセス制限情報等を管理する。隣接ノード情報は、利用者がマニュアルで設定してもよい。あるいは、隣接ノード情報は、隣接管理手段203が、予め決められた手順又はルールにしたがって自動的に登録及び削除してもよい。隣接ノード情報の登録方法には、例えば、自ノードから所定の距離以内のノードのうち、最も近いノードから予め設定された所定数のノードを順に登録する方法がある。しかし、隣接ノード情報の登録方法は、この方法に限定されるものではない。隣接ノード情報は、ノード故障又はリンク障害等に基づいて通信不能となったノード又は著しく通信品質が劣化したノードを削除したり、必要に応じて他のノードを

新たに追加したりすることで、動的に更新されてもよい。

[0026] ネットワークは、例えば、ランダムに選択された所定数のノードと接続する構成でもよく、代表ノードに対してスター型に接続する構成でもよく、代表ノードに対してツリー型となるように階層化された構成でもよい。ツリー型の場合、最も近いノードで形成された最下層のサブグループを代表ノードに接続し、その代表ノードをさらに上位のノードに接続する処理を繰り返し、最上位のノードでメッシュネットワークを形成する構成が可能である。また、ネットワークには、全てのノードに対する情報のミキシング速度（全てのノードに情報がいきわたる速度）を考慮して、例えば、自ノードに近いノードと遠いノードとをそれぞれ所定数だけランダムに接続する構成が可能である。

[0027] 測定検出手段206は、分散協調情報処理装置200の周囲環境を測定する各種のセンサーデバイスを備え、そのセンサーデバイスの測定データから周囲環境を理解するための情報である検出情報を生成する。例えば、測定検出手段206がレーダーレンジファインダーを含む場合、そのレーダーレンジファインダーは、電波を発信し、その反射波を測定することで障害物までの距離及び方向を測定する。その場合の検出情報としては、例えば、方向毎の距離に対する反射波強度の分布等を示す情報がある。センサーデバイスには、ドップラー検体センサー、赤外線センサー、超音波センサー、温度センサー、湿度センサー、カメラ、又はマイク等がある。

[0028] 推定演算手段205は、上記の検出情報から、より高次の推定判断情報である局所情報を生成及び管理する。例えば、検出情報がレーダーレンジファインダーに基づく方向毎の距離に対する反射波強度の複数回の測定結果を示す情報である場合、高次の推定判断情報としては、フィールド内の各地点における障害物の存在の確からしさを示す情報がある。以下、そのような情報をマップ情報と称し、推定判断情報の主な例として用いる。推定判断情報は、マップ情報に限定されるものではなく、後述するように、測定結果から得られる、周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報であれば、ど

のような情報でもよい。

[0029] 最も簡易なマップ情報としては、ヒストグラムが考えられる。ヒストグラムは、例えば、センサーデバイスで測定可能な領域を所定の距離区間で分割し、反射波強度が所定の閾値を越える障害物の検出位置に対応する距離区間における障害物の検出頻度をカウントすることで作成できる。一般に、センサーデバイスを用いた測定結果には、様々な測定ノイズが含まれる。そのため、ヒストグラムには、測定ノイズに基づく誤検出が含まれる。ヒストグラムは、測定時の周囲環境における距離区間毎の障害物の検出確率を示す情報と考えることができる。

[0030] 例えば、レーダーレンジファインダーとして、所定の広がり角度 ($d\theta$, $d\phi$) を有する指向性の強い電波を用いて、3次元空間における方向 (θ , ϕ) を測定する例を考える。(θ , ϕ) は、極座標表示時の角度成分である。ここで、距離区間の幅を dr とすると、ヒストグラムの一つの区間は、距離区間 $[r, r + dr)$ 、角度区間 $[\theta, \theta + d\theta)$ 及び $[\phi, \phi + d\phi)$ で表される体積素片である。この体積素片におけるヒストグラムの頻度は、対応する空間部分のマップ情報の値となる。

[0031] また、レーダーレンジファインダーとして、無指向性のレーダーを用いた場合、電波は球面波として全方位に広がるため、ヒストグラムの一つの区間は、角度情報のない球殻状の距離区間 $[r, r + dr)$ で表される。したがって、その区間のヒストグラムの頻度は、球殻状に分割された3次元空間のうち、対応する空間部分のマップ情報の値となる。

[0032] ただし、測定値はノードの位置を原点とする相対的な距離を示しているため、マップ情報は、ノードの位置座標から補正した絶対座標で表現される。一つのノードで測定可能な領域は限られているため、ノード毎に作成するマップ情報は、そのノードの位置を中心とする局所的な情報であり、測定可能な領域外のマップ情報には0が設定される。

[0033] 融合手段204は、隣接管理手段203で管理される各隣接ノードから取得した隣接ノードが管理するマップ情報と、自ノードで管理するマップ情報

とを融合することで、システム全体のマップ情報である全体融合マップ情報を生成する。融合手段204は、隣接ノードが管理するマップ情報と自ノードで管理するマップ情報とを融合する融合処理を1回以上実行する。

[0034] 全体融合マップ情報の作成手法は、マップ情報の内容に依存する。例えば、上述したヒストグラムの場合、作成手法は、複数のノードで測定された同一地点における障害物の検出頻度を加算することで、システム全体のヒストグラムを作成する積算演算となる。より高度なマップ情報の生成方法については、後述する。

[0035] 各ノードは、隣接管理手段203で管理される各隣接ノードから通信手段202を介してそれぞれのマップ情報を取得し、自ノードのマップ情報と融合して、マップ情報を新たなマップ情報に更新する。集中サーバを用いない融合方法は、複数、知られている。例えば、融合方法の一つとして次の手法がある。その手法は、スパニングツリープロトコル等を用いてツリー型のネットワークを形成する。そして、その手法は、ルートノードに向かって上流にマップ情報をアップロードしつつ、各ノードでマップ情報を融合する。そして、その手法は、最終的にルートノードで作成された全体融合マップ情報を下流のノードへ通知する。

[0036] より一般的な方法として、フラットな構造のネットワークにおいて、隣接ノードと情報交換を繰り返しながら各ノードが全体融合マップ情報に収束させていく方法がある。いずれの方法も、耐障害性及び全体融合マップ情報に対するアクセスの容易性等の観点から、全てのノードが同じ全体融合マップ情報を有することが望ましい。

[0037] ここで、フラットなネットワーク構造において、情報交換を複数回繰り返しつつマップ情報を融合して全体融合マップ情報を生成する方法について、簡単に説明する。

[0038] 上記測定結果から推定演算に基づく局所的なマップ情報の作成及び各ノード間における融合までの処理が、ある時刻における処理の概要である。任意の間隔で同様の処理を繰り返すことで、各ノードは、各時刻における全体融

合マップ情報を更新できる。なお、全てのノードは、時刻が同期しており、起動及び停止動作のタイミングが一致することが望ましい。ただし、全てのノードが、必ずしも同じタイミング及び間隔で動作しなくてもよい。

[0039] 図1に示した分散協調情報処理装置200は、例えば、図2に示す情報処理装置100を用いて実現できる。

[0040] 図2は、図1に示した分散協調情報処理装置の機能を実現する情報処理装置のハードウェアの一構成例を示すブロック図である。

[0041] 図2に示すように、情報処理装置100は、演算装置101、揮発性記憶装置102、接続インターフェース103、通信装置104、測定装置105、不揮発性記憶装置106、及び電源装置107を有する。

[0042] 演算装置101は、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサである。演算装置101は、不揮発性記憶装置106に保存されたプログラムにしたがって処理を実行することで、図1に示した分散協調情報処理装置200が備える各種機能を実現する。

[0043] 揮発性記憶装置102は、演算装置101の処理で用いるデータを一時的に保持する、データを高速に書換え可能なRAM (Random Access Memory) 等の記憶装置である。

[0044] 接続インターフェース103は、PCI (Peripheral Component Interconnect) バス等のコンピュータバスであり、情報処理装置100が備える各装置間をデータの送受信が可能に接続するインターフェースである。

[0045] 通信装置104は、外部のネットワークと接続するための装置であり、Wi-Fi (登録商標) 又はBluetooth (登録商標) 等の無線ネットワークアダプタである。通信装置104は、ネットワークと有線で接続するための有線ネットワークアダプタでもよい。

[0046] 測定装置105は、レーダーレンジファインダー又は温度計等の周囲環境を測定するためのセンサーデバイスである。

[0047] 不揮発性記憶装置106は、演算装置101で処理を実行するためのプログラム、上述した隣接ノード情報、利用者ID及びアクセス制限情報、及び

演算装置 101 における処理結果等を保存する不揮発性のデータ蓄積装置である。不揮発性記憶装置 106 は、ハードディスクドライブ又は SSD (Solid State Drive) 等の不揮発性のデータ蓄積装置である。

[0048] 電源装置 107 は、バッテリー又は太陽電池等を含む、情報処理装置 100 が備える装置に所要の電力を供給するための電源装置である。情報処理装置 100 が備える装置とは、演算装置 101、揮発性記憶装置 102、接続インターフェース 103、通信装置 104、測定装置 105、及び不揮発性記憶装置 106 である。

[0049] 情報処理装置 100 は、図 2 に示した構成に限定されるものではなく、例えば、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 又はオフロードエンジン、特定の処理を専用に実行するマイクロコンピュータ等の処理装置をさらに備えていてもよい。

[0050] 次に、推定演算手段 205 における局所的なマップ情報の作成方法について説明する。

[0051] 上述した説明は、レーダーレンジファインダーでセンシング可能な領域を複数の距離区間に分割し、距離区間毎の測定データを積算することでヒストグラムを作成する手法を用いた。しかしながら、より一般的には、その距離区間に障害物がある場合（仮説 ω_1 とする）と障害物がない場合（仮説 ω_2 とする）との確からしさを数値的に表現する手法が効果的である。例えば、推定演算手段 205 は、ベイズ推定手法等を用いて、フィールドの地点（位置 X）毎にヒストグラムの測定結果 Z が得られた場合の ω_1 及び ω_2 の条件付確率 $P[\omega_1 | Z]$ 及び $P[\omega_2 | Z]$ を計算する。

[0052] ベイズの定理に基づけば、条件付確率の関係は、下記の比例式 (1) である。

[比例式 1]

$$P[\omega_i | Z] \propto P[Z | \omega_i] P[\omega_i] \cdots (1)$$

この関係があるため、推定演算手段 205 は、事前確率 $P[\omega_i]$ と条件付確率 $P[Z | \omega_i]$ とが分かれば、 $P[\omega_i | Z]$ を求めることができる。

[0053] 一般に、 $P[\omega_i]$ は分からない。そのため、推定演算手段205は、1回目の測定では事前確率が一様分布であるとし（この場合は $P[\omega_i] = 0.5$ ）、その後の測定では前回の測定結果の確率 $P[\omega_i | Z]$ を事前確率に用いればよい。

[0054] $P[Z | \omega_i]$ は、センサーデバイス又は測定環境に基づいて決まるものである。上記のヒストグラムは、測定結果 Z を示している。そのため、推定演算手段205は、例えば、測定結果 Z とその理論値分布の適合度から、仮説 ω_i の測定結果 Z が得られる確率 $P[Z | \omega_i]$ を求めることができる。その場合、マップ情報は、フィールドの各地点に対して、2次元ベクトル（ $P[\omega_1 | Z]$, $P[\omega_2 | Z]$ ）となる。しかし、より一般化する場合、Dempster-Shafer理論（以下、DS理論と称す）又はTransferable Belief Model（以下、TBMと称す）に基づくベリフ関数を用いる方法がある。

[0055] DS理論又はTBMでは、マップ情報を、仮説集合 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$ の任意の部分集合 $A \subseteq \Omega$ に対する支持度 $m(A)$ で表現する。この量は、BBA（Basic Belief Assignment）と呼ばれる。

[0056] 部分集合 A は、次の数1に示される部分集合である。

[数1]

$$A \in \{\phi, \{\omega_1\}, \{\omega_2\}, \Omega\}$$

数1において、

[数2]

$$\phi$$

は空集合である。BBAは4次元ベクトルとなる。ここでは、支持度 $m(A)$ は、 $\sum_A m(A) = 1$ となるような値を設定する。

[0057] $m(A)$ の A がシングルトン仮説のときのみ0以上の値を持つ場合（ $m(A) = 0$ for $|A| \neq 1$ 。ただし、 $|A|$ は部分集合 A の要素数）、DS理論又はTBMは、上記ベイズ推定手法と全く同じである。DS理論又はTBMは、ベイズ推定を特別なケースとして包含する。

[0058] シングルトン (Singleton) 仮説とは、要素を一つしか持たないという仮説である。

[0059] なお、ベイズ推定における上記 $P[Z | \omega_i]$ は、尤度関数 $L[\omega_i | Z]$ とみなせる。尤度関数が分かれば、例えば、TBMのフレームワーク内でGBT (Generalized Bayesian Theory) を用いることで、 $m(A)$ は、システムティックに設定される。ただし、 $m(A)$ の設定方法には、何らかの判断ロジック (例えば、ベイズ推定等) を用いて最も確からしい仮説を選択し、その信頼度をパラメータにして判断の不確実性を表現する手法、又は、経験式を利用して設定する手法等もある。そのため、 $m(A)$ の設定方法は、この手法に限定されるものではない。

[0060] ノード i が有するマップ情報は、各区間に含まれる数3で示される地点のBBAの集合である。

[数3]

$$x \in F$$

数3において、

[数4]

$$F$$

は、全体フィールドである。以下、特に測定結果 Z から求めた値であることを示す場合は、支持度 $m(A)$ を数5のように表記する。

[数5]

$$m_i^x[Z](A)$$

数5は、特定の仮説の部分集合 A 、測定結果 Z 、及び位置 X を表現する必要がない場合は、 m_i のように省略して表記する。

[0061] 次に、フラットなネットワーク構造を例にして、融合手段204におけるマップ情報の融合方法について説明する。

[0062] 各ノードは、グラフ $G = (V, E)$ で表されるネットワークを形成しているとする。ここで、 V はノード集合、 E はエッジ集合である。また、各エッ

ジは、双方向とする。一般に、以下の議論は、グラフ G は、時間とともに変動しても、Jointly Connected（時刻とともにエッジ集合 E が変わるグラフ $G(t)$ のユニオンが Connected）であればよい。しかし、ここでは説明を簡単にするため、グラフ G は、時間不変であり、Connected であるとする。グラフ G が与えられると、各ノードの隣接ノードが決まる。このとき、ノード i の隣接ノードの集合を V_i とする。

[0063] 融合手段 204 は、ノード i が、自ノードのマップ情報と隣接ノードのマップ情報とから、それらを融合したマップ情報への更新を繰り返すことで、全てのノードのマップ情報を融合したものと同一結果（全体融合マップ情報）を実現する。そうすることで、全てのノードは、同じ全体融合マップ情報を有することができる。

[0064] ここで、マップ情報の融合とは、上記 BBA を正規化しない Dempster の結合ルールにしたがって自ノードのマップ情報と隣接ノードのマップ情報とを結合することを意味する。正規化しない Dempster の結合ルールでは、2 つのマップ情報 m_1 、及び m_2 がある場合、その融合マップ情報 m を以下の数 6 に示される等式 (2) のように定義する。

[数 6]

$$\text{for } A \subseteq \Omega, m(A) = (m_1 \oplus m_2)(A) = \sum_{B \cap C = A} m_1(B) m_2(C) \dots (2)$$

なお、

[数 7]

$\oplus$

は正規化しない Dempster の結合を表す。このようにして融合されたマップ情報 m は、 m_1 及び m_2 単独よりも情報量が多い情報となる。これは、ある地点に関する仮説における部分集合 A の支持度（確からしさ）を考えると、一つのノードが確からしいと判断するよりも、独立した 2 つのノードが同じく確からしいと判断した方が、より信頼度が高いことを意味している。上記の融合は、全ての仮説における部分集合 A について定量的に信頼度を計算する

手法である。この融合の結果は、上述したようにシングルトン仮説に対応して値が設定されている場合、ベイズ推定を用いた融合と全く同じ結果となる。

[0065] さらに、B B Aがベイズ推定等のように確率を用いた手法と比べて優れている点は、情報が全くないことを以下の数8に示される条件式(3)のような特別なB B Aを用いて表現できることである。

[数8]

$$m(A) = \begin{cases} 1 & (A = \Omega) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \dots (3)$$

この特別なB B Aは、Vacuous Belief Functionとも呼ばれており、以下、単位B B Aと称して 1_D と表記する。単位B B Aを用いると、ベイズ推定における事前確率の設定問題を回避できる。例えば、ノードiの測定範囲

[数9]

$$F_i$$

の外の点(位置)については、融合手段204は、融合前に何の情報も有していないため、ベイズ推定では事前確率として $1/2$ の値を使用する。一方、融合手段204は、DS理論又はTBMでは、 1_D を用いればよい。

[0066] 全てのノードが有するマップ情報 m_i を融合した全体融合マップ情報 m_{total} は、数10となる全ての地点

[数10]

$$x \in F$$

に対して、数11に示される等式(4)

[数11]

$$m_{total}^x(A) = \bigoplus_{i \in V} m_i^x \dots (4)$$

を計算することである。ここで、

[数12]

$$\bigoplus_{i \in V}$$

は、ノード集合 V ($|V| = N$ とする) の全てのノードに対して、上記の等式 (2) の正規化しない下記の数 13 に示す Dempster の結合

[数 13]

$$\bigoplus$$

を行った

[数 14]

$$m_1^x \oplus \dots \oplus m_N^x$$

を表す。

[0067] すなわち、融合手段 204 において、各ノード i における k 回目のマップ情報の取得又は更新した結果を $m_i(k)$ としたとき、 $k = 1, 2, \dots$ に対して、全てのノード i で $m_i(k) \rightarrow m_{total}$ に収束することが目的となる。ここで、 $m_i(k)$ の k は、隣接ノードからのマップ情報の取得又は更新の繰り返し数を示す番号である。

[0068] 以下、逐次融合処理（隣接ノードからマップ情報を取得し、自ノードのマップ情報と融合して更新する処理の繰り返し）を用いて、全てのノードが有するマップ情報が m_{total} に収束する手法を具体的に説明する。

[0069] まず、システム内の全ての Connected なノード数が既知であり (N 個)、故障等が発生していない場合を考える。

[0070] Average Consensus 法は、 N 台のノードが Connected なネットワークを構成すると仮定する。そして、Average Consensus 法は、ノード i が有するスカラー又はベクトル量 a_i について、隣接ノードと交換しながら a_i を更新する処理を繰り返す。そのことで、Average Consensus 法は、全ての a_i が、その算術平均 $\langle a \rangle = (a_1 + \dots + a_N) / N$ に収束する手法である（非特許文献 2 を参照）。繰り返し回数 $t + 1$ における更新処理は、下記の数 15 に示される等式 (5) で与えられる。

[数 1 5]

$$a_i(t+1) = w_{i,i} a_i(t) + \sum_{j \in V_i} w_{i,j} a_j(t) \cdots (5)$$

ただし、 V_i はノード i の隣接ノード集合であり、 $w_{i,j}$ は重み係数である。重み設定の一つの方法として、下記の数 1 6 に示されている条件式 (6) がある。

[数 1 6]

$$w_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{\max\{d_i, d_j\} + 1} & \text{if } (j, i) \in E \\ 1 - \sum_{j \in V_i} w_{i,j} & \text{if } i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \cdots (6)$$

ここで、 (i, j) はノード i とノード j を接続するエッジであり、 E はエッジ集合であり、 d_i はノード i の現在の次数（隣接ノード数）である。

[0071] このとき、融合手段 204 が等式 (5) にしたがって更新処理を繰り返すと、全ての a_i は、下記の数 1 7 で示される等式 (7) のように、初期値の算術平均に収束することが知られている。

[数 1 7]

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a_i(t) = \frac{1}{N} (a_1(0) + \cdots + a_N(0)) = \frac{1}{N} \sum_{i \in V} a_i(0) \cdots (7)$$

ここで、 V はノード集合である。上記の等式 (7) の算術和「+」を

[数 1 8]

⊕

に変換できれば、 N が既知の場合、融合手段 204 は、 $N \times m_i$ を等式 (4) の m_{total} に収束させることができる。以下、その手法を説明する。

[0072] 任意の BBA である m が与えられたとき、一対一に対応するコモナリティ関数 q が必ず存在する。そして、 m と q との両者を変換するための $q = \Psi(m)$ と逆変換 $m = \Psi^{-1}(q)$ とが、下記の数 1 9 に示される等式 (8) 及び (9) として存在する。

[数 1 9]

$$\Psi: M \rightarrow Q, \text{ for } A \subseteq \Omega, q(A) = \sum_{A \subseteq B} m(B) \cdots (8)$$

$$\Psi^{-1}: Q \rightarrow M, \text{ for } A \subseteq \Omega, m(A) = \sum_{B \supseteq A} (-1)^{|B|-|A|} q(B) \cdots (9)$$

ただし、Mは想定される全てのmの集合であり、Qは想定される全てのqの集合である。

[0073] ここで、融合手段204は、BBAを以下のように定義される変換を用いて、下記の数20で表される等式(10)のように、ログコモナリティ関数lqに変換する。

[数 2 0]

$$\Phi: M \rightarrow LQ, \text{ for } A \subseteq \Omega, lq(A) = \ln q(A) = \ln \sum_{A \subseteq B} m(B) \cdots (10)$$

LQは、想定される全てのqの各部分集合Aに対する値の自然対数lnを計算したものの集合である。この場合、任意の m_1 及び m_2 に対する上記の等式(2)で定義される融合演算

[数 2 1]

$$\oplus$$

は、以下の数22に示される等式(11)のように算術和の指数関数を逆変換したものとなる。

[数 2 2]

$$m_1 \oplus m_2 = \Psi^{-1}(q):$$

$$\text{for } A \subseteq \Omega, q(A) = \exp(lq_1(A) + lq_2(A)) \cdots (11)$$

[0074] したがって、ログコモナリティ関数に関してAverage Consensus法を適用し、最後にその指数関数を計算すれば、下記の数23に示される等式(12)として、全体融合マップ情報のコモナリティ関数表現 q_{total} が得られる。

[数 2 3]

$$\text{for } A \subseteq \Omega, q_{total}(A) = \lim_{t \rightarrow \infty} \exp(N lq_t(A)(t)) \cdots (12)$$

[0075] さらに、 q_{total} を逆変換すると、融合手段204は、全体融合マップ情報

を、下記の数 2 4 で示される等式 (1 3) を用いて求めることができる。

[数 2 4]

$$m_{total} = \Psi^{-1}(q_{total}) \cdots (13)$$

[0076] 上記の条件式 (6) では、自ノードだけでなく隣接ノードの次数が必要となる。ネットワークが変化しなければ、隣接ノードの次数は、一度、取得されればよい。しかしながら、一般的には、隣接ノードのログコモナリティ関数に加えて、現在の隣接ノードの次数も同時に取得することが望ましい。

[0077] ここまでは、ノード及びリンク故障がなく、通信可能なノード数 N が既知であるとした。しかし、障害等の発生にしたがって N が変動する場合、上記の等式 (1 2) の N は、システム全体のノード数ではなく、現在正常に動作している (アクティブな) ノード数 (N' とする) となり、未知数となる。そのため、 N' を推定する必要がある。以下、その手法について説明する。

[0078] まず、融合手段 2 0 4 は、Average Consensus法を実行する他のネットワークチャネルを用意し、各ノードでスカラー量 S を設定する。ノード i の時刻 t におけるスカラー量 S を $S_i(t)$ のように表記する。

[0079] アクティブノード数の第 1 の推定方法では、融合手段 2 0 4 は、全てのノードのうち、いずれか一つのノード (i とする) に初期値を $S_i(0) = 1$ を設定し、それ以外のノード (j とする) に対して $S_j(0) = 0$ を設定する。

[0080] この場合、Average Consensus法を実行した結果、全てのノード $i = 1, \dots, N$ のスカラー量 $S_j(t)$ は、 $1/N'$ に収束する。ただし、 N' は、現在接続されているノード数であり、全体のノード数 N から故障等に基づいて通信不能なノード数 Q を減算した $N - Q$ である。したがって、融合手段 2 0 4 は、 $S_j(t)$ の収束値の逆数 $1/S_i(\infty)$ を計算すれば、 N' を推定できる。

[0081] この方法では、 $S_i(0) = 1$ のノード i が故障すると、ノード i 以外の全てのノードのスカラー量 S の初期値 $S_j(0)$ が 0 となるため、その収束値も 0 となり、融合手段 2 0 4 は、 N' を求めることができない。そこで、アク

ティブノード数の第2の推定方法では、融合手段204は、 $S_i(0) = 1$ に設定するノード i を毎回ランダムに選択する。その場合、故障したノードと $S_i(0) = 1$ に設定したノード i とが、たまたま一致しない限りは、融合手段204は、 N' を求めることができる。

[0082] また、アクティブノード数の第3の推定方法は、 K 個のノードで構成される集合 U を考え、集合 U に属するノード $i \in U$ に対して $S_i(0) = 1$ に設定する手法である。その場合、例えば、平均故障率（平均故障ノード数の全体に対する割合であり、例えば、Mean Time Failure等から設定可能）を R としたとき、 U に属する K 個のノードのうち、たまたま故障するノードの数の期待値は、 $K \times R$ となる。

[0083] したがって、 U に属するノードのうち、 $(1 - R) \times K$ 個のノードで初期値は1となり、それ以外のノードのうち、動作している $(1 - R) \times (N - K)$ 個のノードでは初期値が0となる。そのため、各ノード i の $S_i(t)$ の収束値は

[数25]

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S_i(t) = \frac{(1-R)K}{(1-R)N} = \frac{K}{N}$$

となる。そして、収束値の逆数に $(1 - R) \times K$ を乗算すれば、融合手段204は、下記の数26に示される等式(14)として、 N' の推定値 $(1 - R) \times N$ を求めることができる。

[数26]

$$N' = \frac{(1-R)K}{\lim_{t \rightarrow \infty} S_i(t)} \dots (14)$$

[0084] したがって、 N に関する知識が全くなくても、融合手段204は、平均故障率 R と、予め設定した初期値を0としたノードの集合 U に属するノード数 K とが分かれば、現在アクティブなノード数を得ることができる。

[0085] この手法は、必ずしもノード故障だけでなく、例えば、ノードを追加又は

削除する場合にも適用することが可能であり、既存のノードの設定を変更しなくてもアクティブなノード数 N' を見積もることができる。

[0086] さらに、他のアクティブなノード数 N' の見積り方法として、エッジ数に着目する手法について説明する。

[0087] 全てのノード数 N と、ノードの次数分布が平均 λ のポアソン分布であることが分かっているとする。

[0088] ノード $i \in V$ は、現在、アクティブな（通信可能な）隣接ノード数を $S_i(0)$ に格納する。その場合、融合手段204は、収束値 $S_i(\infty)$ を下記の数27に示される等式(15)に適用して、現在のアクティブなノード数 N' を推定できる。

[数27]

$$N' = N \frac{\lambda}{2\lambda - S_i(\infty)} \dots (15)$$

[0089] 次に、融合手段204における、アクティブな全てのノードが有するマップ情報を、上記の等式(4)を用いて融合する手法について図3を用いて説明する。

[0090] 図3は、図2に示した分散協調情報処理装置における融合処理で用いるチャネル構成及び処理の一例を示す模式図である。

[0091] ここではアクティブなノード数の見積りに上記第3の推定方法を用い、予め K 個のノードに対して $S_i(0) = 1$ を設定し、それ以外のノードに $S_i(0) = 0$ を設定しておく。

[0092] まず、図3に示すように、ノード i の融合手段204は、ネットワーク701上に、アクティブなノード数(N')を見積もるためのAverage Consensusネットワーク（以下、アクティブノードチャネルと称す）702を設定する。さらに、融合手段204は、マップ情報を融合するためのAverage Consensusネットワーク（以下、マップ情報チャネルと称す）703を設定する。そして、融合手段204は、それぞれを初期化する。具体的には、融合手段204は、繰り返し回数が0の $S_i(0)$ の設定値をアクティブノードチャネ

ル 7 0 2 の初期値に設定する。そして、融合手段 2 0 4 は、マップ情報をログコモナリティ情報に変換した

[数 2 8]

$$lq_i^x(0)$$

をマップ情報チャンネル 7 0 3 の初期値に設定する。ここで、

[数 2 9]

$$lq_i^x(0)$$

は、時刻 0 における、地点

[数 3 0]

$$x \in F_i$$

のログコモナリティ関数である。ログコモナリティ関数は、部分集合 $A \subseteq \Omega$ に対して、下記の数 3 1 に示される等式 (1 6) である。

[数 3 1]

$$lq_i^x(0) = \Phi(m_i^x(0)) \cdots (16)$$

[0093] そして、ノード i の融合手段 2 0 4 は、繰り返し回数 T において、隣接管理手段 2 0 3 及び通信手段 2 0 2 を用いて、隣接管理手段 2 0 3 が管理する隣接ノード $j \in V_i$ から、次のような情報を取得する。この情報とは、現在アクティブな隣接ノード数 $d_j(t)$ 、アクティブノードチャンネルの値 $S_j(t)$ 、及び、ログコモナリティ情報 $lq_j(t)$ である。

[0094] 続いて、融合手段 2 0 4 は、等式 (5) にしたがって $S_j(t)$ 及び $lq_j(t)$ を更新する。これを所定の繰り返し回数 T だけ繰り返すことで、融合手段 2 0 4 は、アクティブノードチャンネル 7 0 2 の値 $S_j(T)$ (この値から N' を求めることができる) 及びログコモナリティ情報 $lq_j(T)$ を取得する。繰り返し回数 T は、予め、融合手段 2 0 4 は設定されておいてもよい。あるいは、融合手段 2 0 4 は、前回からの変化量を監視し、予め設定された

変化量以下の値となったところで処理を終了してもよい。

[0095] 融合手段204は、こうして得られたアクティブノードチャンネル702の値 $S_j(T)$ 、及びログコモナリティ情報 $lq_j(T)$ から、全体融合マップ情報 m_{total} の推定量

[数32]

$$\hat{m}_i$$

を、以下の数33に示される等式(17)を用いて求める。

[数33]

$$\hat{m}_i = \Psi^{-1} \left(\frac{(1-R)Klq_i(T)}{S_i(T)} \right) = \Psi^{-1} (N' \times \langle lq_i(T) \rangle) \dots (17)$$

[0096] 第1の実施の形態に基づけば、各ノードが測定結果からベイズ推定、DS理論、又はTBMを用いて推定した周囲環境に関する推定判断情報を分散的な手法で融合させることで、集中サーバが不要になる。そのため、システムの単一障害点が除去されて耐障害性が向上する。

[0097] また、第1の実施の形態は、現在アクティブなノード数を推定しつつ、各アクティブなノードで推定判断情報を融合するため、ノード故障等があっても、安定して推定判断処理を行うことができるとの効果を奏する。

[0098] その理由は、次のとおりである。測定検出手段206は、センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する。推定演算手段205は、周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する。通信手段202は、フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信する。隣接管理手段203は、他の分散協調情報処理装置の情報を管理する。融合手段204は、自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する。このように、分散協調情報処理装置200は、周囲環境の測定結果を基にした推定判断情報と隣接装置の推定判断とを融合した情報を作成するためである。

[0099] すなわち、第1の実施形態の概要は、次のとおりである。図10は、第1の実施形態の概要である分散協調情報処理装置250の構成を示すブロック図である。

[0100] 分散協調情報処理装置250は、所定のフィールド内に分散して配置される。分散協調情報処理装置250は、測定検出手段206と、推定演算手段205と、通信手段202と、隣接管理手段203と、融合手段204とを備える。測定検出手段206は、センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する。推定演算手段205は、周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する。通信手段202は、フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信する。隣接管理手段203は、他の分散協調情報処理装置の情報を管理する。融合手段204は、自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する。

[0101] 分散協調情報処理装置250は、分散協調情報処理装置200と同様の効果を奏する。その理由は、分散協調情報処理装置250に含まれる各構成が、分散協調情報処理装置200の構成と同様に動作するためである。分散協調情報処理装置250は、第1に実施形態の最小構成である。

[0102] (第2の実施の形態)

次に、本発明の第2の実施の形態について図面を用いて説明する。

[0103] 図4は、第2の実施の形態に係る分散協調情報処理装置の一構成例を示すブロック図である。分散協調情報処理システムの構成は、図1に示した第1の実施の形態と同様であるため、ここではその説明を省略する。

[0104] 図4に示すように、第2の実施の形態の分散協調情報処理装置300は、インターフェース手段301、通信手段302、隣接管理手段303、融合手段304、推定演算手段305、及び、測定検出手段306を有する。さらに、分散協調情報処理装置300は、位置管理手段307、時刻同期手段308、資源制御手段309、及び、転送制御手段310を有する。

[0105] 第2の実施の形態の分散協調情報処理装置300が備えるインターフェー

ス手段 301、通信手段 302、及び隣接管理手段 303 は、図 1 に示したインターフェース手段 201、通信手段 202、及び隣接管理手段 203 と同様の機能を備えた構成である。さらに、第 2 の実施の形態の分散協調情報処理装置 300 が備える融合手段 304、推定演算手段 305、及び測定検出手段 306 は、図 1 に示した融合手段 204、推定演算手段 205 及び測定検出手段 206 と同様の機能を備えた構成である。

[0106] 時刻同期手段 308 は、各ノードがそれぞれ具備するタイマ（不図示）が示す時刻を互いに同期させる。時刻同期手段 308 は、時刻同期に、例えば、周知の NTP（Network Time Protocol）を用いてもよく、FTSP（Flooding Time Synchronization Protocol）を用いてもよい。時刻同期手段 308 における時刻同期の処理に基づいて、全てのノードが同期して動作する。

[0107] 位置管理手段 307 は、測定又は通知されることで取得した自ノードの位置情報を管理する。位置管理手段 307 は、例えば、GPS（Global Positioning System）を用いて測定した自ノードの位置情報を管理する。上述した第 1 の実施の形態では、各ノードの位置が既知であるとして説明した。しかし、第 2 の実施の形態では、各ノードそれぞれが備える位置管理手段 307 が、位置情報を取得する。

[0108] 位置管理手段 307 は、自ノードの位置情報を、位置が既知の複数の情報源から求めることも可能である。例えば、時刻同期手段 308 を用いて各ノードの時刻が同期している場合は、次のとおりである。すなわち、位置管理手段 307 は、3 次元空間内の少なくとも 4 点の既知な場所において、位置が未知のノードから発せられた電波又は音波等の距離を測定可能な情報を受信できれば、その位置を特定できる。

[0109] 既知の位置 (x_j, y_j, z_j) のノード j が、未知の位置 (x, y, z) のノードから発信された、未知の時刻 t に速度 v で伝搬する信号を受信した場合、下記の数 34 に示される等式 (18) が成り立つ。

[数 34]

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 = v^2(t - t_j)^2 \cdots (18)$$

[0110] ここで、発信時刻を未知数とするのは、ノードどうしの時刻が厳密に同期しているとは限らないためである。したがって、位置が既知の最低4つの異なる地点における測定情報があれば、位置管理手段307は、未知数（ x 、 y 、 z 、 t ）を求めることができる。

[0111] さらに、5つ以上の測定情報があれば、異なる2つのノード j （ $k = 1, \dots, K$ に対して j_k, j_{k+1} とする）について、それぞれ上記の等式（18）を計算することで、位置管理手段307は、未知数（ x 、 y 、 z 、 t ）について K 個の式を得ることができる。この K 個の式は、下記の数35に示される等式（19）である。

[数35]

$$-2(x_{j_k} - x_{j_{k+1}})x - 2(y_{j_k} - y_{j_{k+1}})y - 2(z_{j_k} - z_{j_{k+1}})z + 2v^2(t_{j_k} - t_{j_{k+1}})t \\ = -x_{j_k}^2 + x_{j_{k+1}}^2 - y_{j_k}^2 + y_{j_{k+1}}^2 - z_{j_k}^2 + z_{j_{k+1}}^2 + v^2(t_{j_k}^2 - t_{j_{k+1}}^2) \dots (19)$$

[0112] 等式（19）は、（ x 、 y 、 z 、 t ）を4次元ベクトル $r = (x, y, z, t)^T$ とすると、以下の代数方程式（20）を用いて表現できる。

$$A r = b \quad \dots (20)$$

ただし、行列 A は K 行4列の行列であり、ベクトル b は K 次元ベクトルであり、それぞれの k 行成分は、以下の数36に示される等式（21）及び（22）を用いて表される。

[数36]

$$A_{k*} = (x_{j_k} - x_{j_{k+1}}, y_{j_k} - y_{j_{k+1}}, z_{j_k} - z_{j_{k+1}}, -v^2(t_{j_k} - t_{j_{k+1}})) \dots (21)$$

$$b_k = \frac{1}{2} [x_{j_k}^2 - x_{j_{k+1}}^2 + y_{j_k}^2 - y_{j_{k+1}}^2 + z_{j_k}^2 - z_{j_{k+1}}^2 - v^2(t_{j_k}^2 - t_{j_{k+1}}^2)] \dots (22)$$

[0113] 代数方程式（20）の二乗誤差が最小となる最適解の4次元ベクトル r は、数37に示される行列 A のムーアペンローズ（Moore-Penrose）逆行列を用いて、下記の数37に示される等式（23）を用いて求められる。

[数37]

$$A^+$$

[数 3 8]

$$r = A^+ b \dots (23)$$

[0114] 等式 (23) の解は、最小二乗となり、一般に K の数が多いほど精度がよくなる。

[0115] 上記のような位置測定及び管理を行う方法として、位置管理手段 307 が、位置を測定したノード又は GPS を搭載した複数のノードを予めシステムに備えておき、上述した逐次的な位置測定及び位置特定を行う手法がある。

[0116] 位置管理手段 307 は、位置が既知の最低 5 つのノードから位置が特定されたノードを、次のノードの位置測定に用いる位置が既知のノードとして用いると、位置が既知のノード数が増える。そのため、測定情報も増大し、それ以降のノードの位置測定の精度が向上することが期待できる。さらに、そのようにして位置が特定されたノードを既知のノードとして、既に位置を測定済みのノードで再度位置の測定を繰り返すことで、精度がさらに向上する効果が得られる。

[0117] また、GPS を搭載した位置情報を取得できる移動機が、ノードの周辺を移動しながら、複数の位置で電波又は音波等の距離測定が可能な信号を発信する手法が考えられる。その場合、移動機は、なるべく様々な位置から信号を発信することが望ましい。その場合、ノードの位置管理手段 307 は、移動機から得られた信号の発信座標とその受信時刻とに基づき、発信時刻及び自ノードの位置座標を未知数として上記の計算を行うことで、自ノードの位置を特定できる。

[0118] 自ノードの位置は、上述したマップ情報を相対的な座標から絶対座標に変換する際に必要である。例えば、レーダーのような電波の反射から得られる位置情報は、ノードを原点とする相対的な座標しか分からない。そのため、ノードの位置から絶対位置に変換することで、ノードは、隣接ノードのマップ情報と融合が可能になる。

[0119] 資源制御手段 309 は、融合手段 304 で得られた全体融合マップ情報に

に基づき、自ノードの資源利用状態を制御する。例えば、各ノードをランダムに設置した場合、地形的な理由等でノードの設置数に粗密がある場合、又は妨害電波又は遮蔽物等に基づきノードにおける高品質な測定又はノード間で高確度に通信できない場合、次の制御が必要となる。すなわち、所定の水準以上の測定品質を確保しつつ、少ない資源利用量で全体融合マップ情報を作成するには、環境に応じた資源制御が必要になる。

[0120] また、ノード数が少ない場所では情報量が低下することで、一般に品質が低下する。ノードが過剰に存在する場所では情報量が必要以上にあるため、過剰品質となっている可能性が高い。資源制御手段 309 は、ノードにおける資源利用状態を変更することで、動的に品質を調整する。なお、品質とは、例えば、得られた全体融合マップ情報の信頼度等を指す。

[0121] 例えば、消費電力を低減するため、ノードが動作状態とスリープ状態とを繰り返す間欠動作を行う場合を考える。その場合、動作間隔が短い方がより多くの情報を取得できるが、消費電力が増大して記憶装置の利用容量が大きくなる。そこで、資源制御手段 309 は、全体融合マップ情報に基づき、自ノードが担当する測定領域の品質が、他ノードが担当する測定領域よりも高い場合は、動作間隔を長くする。また、資源制御手段 309 は、品質が低い場合は、動作間隔を短くする。このように、資源制御手段 309 は、資源利用状態を変更することで、ノードの分布に基づいて生じるマップ全体の品質の不均一性を調整する。

[0122] 例えば、地点

[数 39]

$$x \in F$$

における品質は、上記の等式 (17) で得られた全体融合マップ情報の推定量のうち、

[数 40]

$$\hat{m}_i^x(\Omega)$$

の大きさを計量できる。

[0123] ここで、 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$ は「何もわからない」ことを表す量である。

[数 4 1]

$$\hat{m}_i^x(\Omega)$$

が大きい場合は、仮説 ω_1 又は ω_2 のどちらが正しいかを判断する情報が不足していることを意味する。

[0124] そのため、他の地点と比べて自ノードが担当する測定領域内の地点に関する

[数 4 2]

$$\hat{m}_i^x(\Omega)$$

が大きい場合、動作間隔を短くする等の資源の利用制御を行うことが有効である。これ以外にも、測定検出手段 306 における測定性能又は隣接ノードとの通信頻度を変更する等の資源制御がある。例えば、レーダー等の場合、電波の送信電力を大きくすることで、到達距離を長くして検出精度を上げることが考えられる。

[0125] 一般に、品質は、ノードの資源利用量を増やせば向上する。そのため、資源制御手段 309 は、資源利用状態を、現在の品質を所望の品質に改善する、又は、領域若しくは地点毎の品質のばらつきを是正する等を目的にして制御すればよく、上記の例に限られるものではない。

[0126] さらに、資源制御手段 309 は、品質の定義として、上記

[数 4 3]

$$\hat{m}_i^x(\Omega)$$

に代えて

[数 4 4]

$$\hat{m}_i^x(\phi)$$

を用いることもできる。

[0127] 空集合

[数 4 5]

$$\phi$$

は、意見対立の大きさを意味し、複数のノードの測定値が矛盾していることを意味する。これは、何らかの原因で測定精度が低下していると考えられる。そのため、例えば、

[数 4 6]

$$\hat{m}_i^x(\phi)$$

が大きい地点を担当するノードは、より正確な情報が取得できるように、電波の送信電力を大きくする等を行うことが有効と考えられる。

[0128] 転送制御手段 310 は、ノード間の情報の送受信を抑制する。例えば、転送制御手段 310 は、測定検出手段 306 における測定結果と同一地点における測定結果を含む隣接ノードの推定判断情報を送受信するように通信手段 302 を制御する。分散協調情報処理システムでは、全てのノードが、少なくとも一部の他のノードの情報を知る必要がない場合が考えられる。例えば、広大なフィールドに大量のノードを分散配置し、フィールドの各地点に障害物が存在する確率情報（上記マップ情報）を生成する場合を考える。このような場合、アプリケーションによっては、フィールドの一端に配置されたノードは、遠方の他端に配置されたノードが測定したマップ情報を知る必要がない場合がある。上記の等式（5）及び（11）で示した融合のための更新処理は、ノード毎に独立して実行される。そのため、原理的には、ある地点のノードにおける融合結果は、他の地点のノードにおける融合結果に影響を及ぼさない。したがって、原理的には、同一地点の情報を必要とする複数のノードが、その地点の情報を共有すればよい。それらのノードは、不要な情報を処理しない、又は、受信しなくてもよい。

[0129] そこで、転送制御手段 310 は、マップ情報を必要とする興味エリア又は

地点を予め設定しておき、物理的なネットワーク上に、必要とする情報毎に論理的なオーバーレイネットワークを構築する。その場合、転送制御手段 310 は、交換するマップ情報に応じてオーバーレイネットワークを選択する。その結果、各ノードでは、上述した融合処理に不要な情報が利用されない。そのため、各ノードは、無駄な計算処理を省くことができる。

[0130] また、オーバーレイネットワークを介して各ノードが必要な情報を送受信することで、物理ネットワークにおける不要な情報転送を削減できる。ここで、動的なノードの増減に対応するには、オーバーレイネットワーク毎に、ノードが、上述したアクティブノード数の推定処理を同時に実行すればよい。オーバーレイネットワークは、関連する興味エリア又は地点の情報が必要な全てのノードが接続されるように構築すればよい。

[0131] 端末装置 320 は、分散協調情報処理装置 300 から情報を取得するための装置であり、分散協調情報処理装置 300 で管理するマップ情報を表示することで利用者にマップ情報を提供する。

[0132] 具体的には、上述した全体融合マップ情報の推定量

[数 4 7]

$$\hat{m}^x$$

の各成分値を活用するための表示を用いて、利用者は、現在の状況を、より効果的に把握できる。

[0133] 以下、レーダーを例にして、対象物の存在有無を、マップ情報を用いて表示する例を示す。

[0134] 一般的な存在確率の表示には、推定量

[数 4 8]

$$\hat{m}^x$$

を確率を示す値に変換すればよい。例えば、この表示として、Pignistic Transformation法がある。これは、仮説集合 $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_H\}$ (仮説の数を

Hとした)の全ての部分集合 $A \subseteq \Omega$ について定義された推定量

[数 4 9]

$$\hat{m}_i^x$$

を仮説集合の要素のみ（シングルトン仮説）に定義された度合いに変換する手法である。この手法では、確率は、任意の $B \subseteq A$ 、及び m に対して、以下の数 5 0 に示される等式（24）で定義される。

[数 5 0]

$$P(\omega_i) = \sum_{\omega_i \in B} \frac{m(B)}{(1 - m(\phi)) |m(B)|} \dots (24)$$

[0135] 例えば、 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$ のとき、等式（24）は、

[数 5 1]

$$P(\omega_1) = \frac{m(\omega_1) + m(\Omega)/2}{(1 - m(\phi))}$$

となる。

[0136] ここでは、等式（24）に基づく各地点における対象物の存在確率を示す値を用いた視覚的情報表示方法を「標準表示情報」と称す。標準表示情報は、仮説集合のうち、どれかを選ぶとしたら、どの仮説がどれくらいの対象物の存在確率であるかを示している。したがって、標準表示情報は、最も標準的な情報とみなせる。具体的には、レーダーシステム等における各地点での対象物の有無等の仮説に関して、ある選択した仮説 ω_i の確率を示す値を用いたヒートマップ表示等が、典型的な標準表示情報の表示例である。ただし、標準表示情報は、これに限定されるものではない。

[0137] しかしながら、標準表示情報は、一方でシングルトン仮説以外の仮説集合の部分集合の情報を活用しきれていない。例えば、上述したように

[数 5 2]

$$\hat{m}_i^x(\phi)$$

は、意見対立の大きさを表す。しかし、等式（24）は、仮説を規格化し直しているため、その量が反映されていない。意見対立が大きい地点の情報は、信頼できない情報である。例えば、対象物の有無について、より確度の高い地点を表示するモードでは、所定量以上の

[数53]

$$\hat{m}_i^x(\phi)$$

を有する地点を表示しないことも可能である。

[0138] 同様に、

[数54]

$$\hat{m}_i^x(\Omega)$$

は、知識が全くないことを意味し、障害物があるともないとも言えない度合いを示している。そのため、端末装置320は、所定量以上では表示対象から外す等の処理を行ってもよい。

[0139] その場合、利用者は、情報の確度に応じた表示を選択できることが望ましい。確度の選択に基づいて、利用者は、等式（24）で計算される確率は同じでも、より確度の高いものと、そうでないものとの区別が可能になる。

[0140] 第2の実施の形態に基づけば、第1の実施の形態と同様の効果が得られるとともに、位置管理手段307を用いて各ノードがそれぞれの位置情報を取得する。位置情報を基に、全てのノードが、自装置の観測可能な範囲だけではなく、全体の推定判断情報を得ることができる。そのため、その結果を用いる資源制御手段309を用いて、各ノードが、自律的に資源利用状態を変化させる。そして、資源利用状態の変化に基づいて、各ノードが、測定対象範囲における推定品質を所定の水準以上に保つことが可能である。

[0141] 以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の構成及び詳細には、本発明のScope内で当業者が理解し得る様々な変更が可能である。

[0142] （第1具体例）

次に、分散小型レーダーシステム400を例にして、本発明の第1具体例について、図面を用いて説明する。

[0143] 図5は、本発明の第1具体例の構成を示す概念図である。

[0144] 図6は、図5に示した分散小型レーダーシステムにおける資源利用量の調整例を示す模式図である。

[0145] 図7は、図5に示した分散小型レーダーシステムで利用者が参照できる情報例を示す模式図である。

[0146] 図5に示すように、分散小型レーダーシステム400は、位置が未知の複数の第1のレーダー402と位置が既知の複数の第2のレーダー403とを有する。そして、第1のレーダー402及び第2のレーダー403が、監視対象であるフィールド401内にランダムに配置された構成である。フィールド401は、2次元空間であり、予め設定された分解能で位置を特定するための単位である、マス目状に分割された複数のセル405が定義されている。

[0147] 第1具体例の分散小型レーダーシステム400は、各セル405に何らかの障害物が存在する確からしさを示す情報（マップ情報）を演算することを目的とする。なお、本具体例では高さ方向を考慮しない2次元空間を例にして説明するが、本具体例は、3次元空間にも適用可能である。

[0148] 第2のレーダー403はGPS等を用いて自装置の位置を測定できる。あるいは、第2のレーダー403は、設置時に自装置の位置情報が入力又は設定されている。また、第1のレーダー402と第2のレーダー403とは、互いの距離を測定するために、特定の周波数又は変調方式を用いて、電波又は音波等の信号を送受信できるとする。

[0149] 上述した第2の実施の形態で示した手法に基づき、第1のレーダー402は、その位置を、近隣の少なくとも3台以上の第2のレーダー403と情報を送受信することで、特定できる（フィールド401が三次元空間の場合は4台以上）。

[0150] 自装置の位置を特定した第1のレーダー402は、位置が未知の他の第1

のレーダー４０２にとって、第２のレーダー４０３と同様の役割を担うことができる。このように、逐次的にシステム全体の各レーダーの位置が特定される。

[0151] 第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、放射した電波の反射波を検出することで、測定可能な範囲内に存在する障害物との距離を測定するレーダーである。第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、狭い角度幅の指向性を有する電波を順次全方向へ放射する指向性レーダー、又は、所定の角度範囲若しくは最大で球面状に全方位に対して電波を同時に放射する無指向性レーダーである。

[0152] また、第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、指向性レーダーの場合、反射波からレーダーの設置位置に対する障害物の角度及び距離を所定の精度で特定できる。また、第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、無指向性レーダーの場合、障害物との距離を特定できる。

[0153] 第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、所定の間隔毎に測定を開始し、複数のパルス波を連続して放射することで、一回の測定で障害物との距離を複数回取得する。第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、任意の位置のセル X に障害物がある場合（仮説 ω_1 ）及びない場合（仮説 ω_2 ）の距離の測定結果 Z を得る条件付確率を求める。そして、第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、確率を尤度として用いることで、そのセル X におけるマップ情報を作成する。

[0154] ここで、マップ情報とは、仮説集合 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$ として、その任意の部分集合

[数５５]

$$A \in \{\emptyset, \{\omega_1\}, \{\omega_2\}, \Omega\}$$

に対して定義される $B \subset A$ である。この $B \subset A$ は、第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３が測定して作成した局所的なマップ情報であり、測定可能な領域以外のセルに対するマップ情報が定義されていない。

[0155] 次に、第１のレーダー４０２及び第２のレーダー４０３は、所定の距離以

下で隣接するレーダーを隣接レーダーとして、例えば、W i F i 等で接続された無線ネットワークを用いて、物理的な接続リンクを形成する。そして、第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、上記のマップ情報チャネル及びアクティブノードチャネルを作成する。そして、第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、隣接レーダーから、それぞれが保有するマップ情報と、現在のアクティブな隣接レーダーの数と、アクティブノード数を推定するためのスカラー量Sの値とを取得する。さらに、第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、上述した方法に従って、各セルに定義されたマップ情報を更新する。ここで、第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、自レーダー又は隣接レーダーのマップ情報のうち、任意のセルXにおけるマップ情報が未定義である場合は、マップ情報として単位BBAを用いる。第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、更新処理を予め決められた回数繰り返すか、所定量以上変化しなくなるまで継続することで、マップ情報の融合処理を実行する。

[0156] このようにして、フィールド401全体のマップ情報（全体融合マップ情報）を作成することで、全てのノードは、近似的に同じマップ情報を有する。第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、単体では測定不可能なフィールド401全体のマップ情報を得られる。

[0157] 第1のレーダー402及び第2のレーダー403は、初期値として、最低周期の定数倍の間隔で、上述した測定からマップ情報融合までの一連の処理を実行するように設定される。このとき、フィールド401内の全てのレーダーは、必ずしも、同じタイミングで測定を行う必要はない。ただし、同じタイミングで動作するレーダー数が少ないと、フィールド内のカバー率及び探索に基づいて得られる総情報量が減少する。そのため、高精度に推定するには、測定間隔は、短い方が望ましい。

[0158] しかしながら、事前に地形等の測定条件が不明である場合、又は、妨害電波若しくは遮蔽物等が存在することで、レーダーに基づく測定精度が低下したり、レーダー間の情報通信の確度が低下したりする場合がある。そこで、

各レーダーは、融合して得られるマップ情報を基に、自身の探索領域内のセルXの測定確度を、そのマップ情報 $m^x(\Omega)$ の大きさに基づいて判断する。 $m^x(\Omega)$ が所定の大きさ以上である場合は、レーダーは、より高確度に測定した方がよいと判断し、測定間隔を短くして他の近接するノードと同時に動作する確率を高める。一方、 $m^x(\Omega)$ が所定の大きさよりも小さい場合は、レーダーは、測定間隔を長くする。

[0159] 例えば、図6に示すように、レーダー814は、レーダーが密集したエリアにあり、他の周囲のレーダーと共通する測定可能な領域が大きいため、間隔815のように長い間隔で測定及びマップ情報推定を行う。一方、レーダー817は、レーダーが疎なエリアであるため、間隔816のように短い間隔で測定及びマップ情報推定を行う。

[0160] 測定間隔以外にも、一回当たりの測定回数を増減する、又は、測定に用いる電波の送信電力を調整する等の調整方法がある。あるいは、各レーダーは、現在は自装置の測定範囲外ではあるが、電波の送信電力を大きくすることで測定可能となるセルのマップ情報の推定確度が低い場合は、次のような動作できる。すなわち、レーダーは、電波の送信電力を大きくして測定可能な領域を広げ、そのセルのマップ情報を作成することで、融合後の推定結果を高めることができる。

[0161] 図7に示すように、利用者904は、端末装置921を用いて自身の位置から近隣のレーダー922（第1のレーダー402又は第2のレーダー403）にアクセスし、情報表示を要求することで、全体融合マップ情報を参照できる。

[0162] ここでは、障害物の存在確率マップを表示する例について説明する。

[0163] 利用者904が有する端末装置921には、障害物の存在確率マップを表示するためのプログラムが予めインストールされている。端末装置921は、そのプログラムに従って処理を実行することで、近隣のレーダー922から取得したマップ情報を基に障害物の存在確率マップを表示する。

[0164] 端末装置921は、初期設定として、上記の等式(24)を用いてセルX

におけるマップ情報から障害物が存在する確率 $P[\omega_1]$ 及び存在しない確率 $P[\omega_2]$ を計算する。

[0165] そして、端末装置 921 は、予め設定された所定値以上の確率を有するセルを取り出し、例えば、仮説毎に異なる色を設定し（例えば、赤と白）、さらに確率を示す値に応じて色の濃さ又は表示強度を変えることでマップ 932 として表示する。また、端末装置 921 は、確度が高いマップを表示したい場合は、意見対立が小さく（ $m(\Phi)$ 小）、不確実性が小さい（ $m(\Omega)$ 小）セルの確率表示を行ったマップ 931 を表示し、逆に確度が低い確率表示を行うマップ 933 を表示する等も可能である。

[0166] このように、第 1 具体例は、第 2 の実施形態と同様の構成を用いて、同様の効果を奏する。

[0167] （第 2 具体例）

次に、ICT システム 500 を例にして、本発明の第 2 具体例について、図面を用いて説明する。

[0168] 図 8 は、本発明の第 2 具体例の構成を示す概念図である。

[0169] 図 8 に示すように、ICT システム 500 は、複数のアプリケーション（AP）サーバ 510、511、及び 512、複数のネットワークスイッチ 521、522 及び 523 を有する。さらに、ICT システム 500 は、複数のデータベース（DB）サーバ 530、531、及び 532、並びに、複数の監視エージェント 501、502、503、504、及び 505 を有する。

[0170] アプリケーションサーバ 510、511、及び 512 は、それぞれジョブの処理要求を受け付ける。アプリケーションサーバ 510、511 及び 512 は、ネットワークスイッチ 521、522、及び 523 で構成されるネットワークを介して、データベースサーバ 530、531、及び 532 にアクセスし、必要な情報を受信し、ジョブ処理を実行する。

[0171] このようにネットワークを介して複数のサーバ等の機器が接続され、相互に関連しつつ動作するシステムでは、正常時と異なる挙動が観測された場合

に、障害の発生箇所を特定するのが困難である。図8に示すようなシステムでは、通常、システム管理者が、各ネットワーク機器のログ等を確認し、そのログから障害要因を特定し、その要因を取り除くことでトラブルシュートを行う。

[0172] 第2具体例では、ICTシステム500内に分散して配置された監視エージェント501ないし505が、ログ等の監視情報を基に個別に原因を推定し、個別の推定結果を融合することで真の原因を特定する。

[0173] 監視エージェント501ないし505は、プログラムとして、アプリケーション（AP）サーバ、ネットワークスイッチ、及び／又は、データベース（DB）サーバにインストールされる。そして、監視エージェント501ないし505は、アプリケーション（AP）サーバ、ネットワークスイッチ、及びデータベース（DB）サーバがそのプログラムにしたがって動作することで実現されてもよく、専用の機器として備えられていてもよい。

[0174] 監視エージェント501ないし505は、全てのネットワーク機器毎に備える必要はない。例えば、監視エージェント501ないし505は、隣接する複数のAPサーバ、ネットワークスイッチ、又はDBサーバをまとめて監視してもよい。さらに、監視エージェント501ないし505は、監視しないネットワーク機器があってもよい。障害要因の推定精度を向上させるには、各監視エージェント501ないし505が収集分析するログデータ等の監視データは、多い方がよい。しかしながら、収集分析する監視データ量が多くなると、分析に要する複雑性及び計算負荷が大きくなる。そのため、収集分析する監視データ量は、設計上の性能要件に基づいて定める事項である。

[0175] 図8の点線で囲まれたネットワーク機器は、監視エージェント501ないし505における監視対象を示す。監視エージェント501ないし505は、それぞれの監視対象のネットワーク機器の運用状況を測定して、運用状態を判断する。

[0176] 監視エージェント501ないし505間には、論理的なネットワーク550が、形成されている。ネットワーク550は、任意の監視エージェントか

ら他の全ての監視エージェントへ到達できるようなトポロジーが形成されている。

[0177] 全ての監視エージェント501ないし505には、想定される障害をまとめた障害仮説集合 $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_H, \omega_{\text{other}}\}$ が設定されている。ここで、想定される障害数はHであり、 ω_{other} はその他の障害である。

[0178] 例えば、どのネットワーク機器で障害が発生しているかを特定することが目的の場合、次のような障害等を指定する方法がある。すなわち、 ω_1 はネットワークスイッチ1の障害、 ω_2 はネットワークスイッチ2の障害、 $\dots$ 、 ω_3 はネットワークスイッチ3の障害、 $\dots$ 、 ω_4 はAPサーバ1の障害等を指定する。

[0179] ここで、複数のシングルトン仮説の和集合 $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$ は、ICTシステム500のどこで障害が発生しているかを特定できていない状態を示している。障害の仮説集合の作成方法は、これに限るものではない。障害の仮説集合の作成方法は、特定したい事象に合わせて仮説集合を作成すればよい。障害の仮説集合の作成方法としては、運用の容易さ又は経験等に基づいて、解釈又は分析しやすい仮説が決められればよい。

[0180] 監視エージェント501ないし505は、管理対象の各ネットワーク機器から、監視のための測定結果を収集する。例えば、サーバであればsyslog等が、測定結果の一例である。しかし、測定結果は、それに限定されるものではなく、送受信に係る遅延又は帯域を測定する等、様々な監視事項が考えられる。監視エージェント501ないし505は、それらの測定結果から、推定される障害要因の集合 Ω の部分集合Aに対するBB Aを設定する（障害推定情報と称す）。BB Aは、観測結果から所定の規則にしたがって設定されてもよく、経験則から計算されてもよく、障害モデルを作成して尤度関数を定義しておきその尤度関数を用いて計算されてもよい。

[0181] なお、監視エージェント501ないし505は、測定結果として、シングルトン仮説に沿って値を割り振る必要はない。監視エージェント501ないし505は、測定結果から妥当なレベルで特定できる障害を表現する部分集

合に値を割り振り、それ以外には $\sum_A m(A) = 1$ となるように $m(\Omega)$ に値を設定すればよい。

[0182] 次に、監視エージェント501ないし505は、第1具体例におけるマップ情報チャネルに対応する障害推定情報チャネルとアクティブノードチャネルを作成する。そして、監視エージェント501ないし505は、隣接する監視エージェントの障害推定情報、現在のアクティブな隣接ノード（監視エージェント）数、及びアクティブノード数の推定のためのスカラー量 S を取得する。そして、監視エージェント501ないし505は、第1の実施の形態及び第2の実施の形態で説明した方法にしたがって、マップ情報の更新を繰り返す。その結果、マップ情報は、各監視エージェントで推定される障害要因を融合した全体融合障害推定情報に収束する。監視エージェント501ないし505は、全体融合障害推定情報から、どの障害がどの程度発生した可能性があるかを診断できる。

[0183] 第2具体例では、通常システムでは必要となるログ収集管理ノードが不要となる。大規模なシステムの場合、ログ情報の収集負荷が大きく、複数の自律性の高いサブシステムを組み合わせで構築されることが多い。そのため、大規模なシステムでは、一元的に障害情報を管理することが困難である場合が多い。

[0184] 第2具体例を用いれば、分散協調的に原因を特定できるとともに、想定される障害箇所を切り分けることができる。そのため、第2具体例では、それぞれのサブシステムで問題となる部分を回避することが可能になる。例えば、任意のネットワークスイッチ又はネットワークサブネットに障害が発生した可能性が高いと診断された場合、次の処理が可能となる。すなわち、アプリケーションサーバは、その障害が懸念されるネットワーク機器を経由しないネットワークパスを介して、データベースサーバから情報を取得する等の処理が可能となる。

[0185] なお、第2具体例では、ICTシステム500における障害箇所の特定を例に説明した。しかし、第2具体例は、サイバーセキュリティのための監視

システムとしても応用できる。

[0186] 例えば、上記の監視エージェント 501 ないし 505 が、上記の障害をマルウェア感染等のセキュリティ脅威に置き換え、管理機器の設定又は挙動について監視及び測定し、全体融合セキュリティ脅威情報を分散協調的に作成する。その場合、監視エージェント 501 ないし 505 は、通常では監視及び分析結果を集中サーバで収集してマルウェア感染等を特定する作業を、分散協調的に実行できる。

[0187] したがって、複数の異なる組織の集合体である場合又は収集するログデータが大量であるために一元的に管理することが難しい場合でも、次のような処理を迅速に行うことができる。その処理とは、セキュリティの脅威を特定して、感染コンピュータの隔離又はサブネットワークの遮断等の処理である。

[0188] このように、第 2 具体例は、第 2 の実施形態と同様の構成を用いて、同様の効果を奏する。

[0189] (第 3 具体例)

次に、無人機制御システム 600 を例にして、本発明の第 3 具体例について、図面を用いて説明する。

[0190] 無人機制御システム 600 は、複数の無人航空機を用いて、次のような効率的にフィールドを探索する機能を提供する。その機能とは、例えば、災害現場等で要救助者を搜索する、広大な森林の中から遭難者を搜索する、又は、広大な農場の穀物等の生育状態を観察して優先的に収穫を開始するエリアを特定する等である。

[0191] 図 9 は、本発明の第 3 具体例の構成を示す概念図である。

[0192] 図 9 に示すように、無人機制御システム 600 は、カメラ等のセンシング機器が搭載された複数の無人航空機 602 を備え、探索フィールド 601 内の位置が未知のターゲット 610 を探索する構成である。複数の無人航空機 602 間には、ネットワーク 603 が構成されている。無人航空機 602 は、隣接する無人航空機 602 と情報の交換が可能である。

[0193] 無人航空機 602 は、航行計画作成機能を有し、現在位置又は周囲の状況から、自律的に、航行計画を決定しながら航行する。無人航空機 602 は、所定のランダム性を有して探索フィールド 601 内を探索すればよく、予め詳細な航行ルートが指定されているわけではない。しかし、無人航空機 602 には、初期位置と、探索フィールド 601 内で担当する大体のカバーエリアとが指定されていることが望ましい。

[0194] 探索フィールド 601 には、第 1 具体例のフィールド 401 と同様に、予め設定された分解能で位置を特定するための単位であり、マス目状に分割された複数のセルが定義されている。

[0195] 無人航空機 602 は、定期的にセンシング機器を用いて探索可能エリア 620 内で探索のための測定を行い、マップ情報として探索可能エリア 620 内の各セルにおけるターゲット 610 の存在有無について確からしさを示す情報を作成する。

[0196] ここで、マップ情報は、探索フィールド 601 内の各セルに対する上述の BBA と定義されとする。この BBA は、 ω_1 をターゲットが存在する、 ω_2 をターゲットが存在しないとする仮説集合を $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$ としたときの、任意の部分集合 $A \subseteq \Omega$ に対して割り当てられた $m(A)$ の実数値である。したがって、BBA は、4 次元ベクトル量である。以下、この BBA を局所マップ情報と称す。

[0197] 無人航空機 602 は、マップ情報チャンネルとアクティブノードチャンネルとを作成する。そして、無人航空機 602 は、隣接する無人航空機 602 から、それぞれが保有するマップ情報と、現在アクティブな隣接する無人航空機 602 の数と、アクティブなノード（無人航空機）数を推定するためのスカラー量 S の値とを取得する。そして、無人航空機 602 は、上述したようにマップ情報の更新を繰り返すことで、全体融合マップ情報を取得する。

[0198] 次に、各無人航空機 602 は、全体融合マップ情報内で、 $m(\Omega)$ が大きいことから不確実性が高くエリア探索が不十分とみなせるエリア、又は、
[数 56]

$$m(\phi)$$

が大きいことから意見対立が大きく、信頼性に欠けるとみなせるエリア等を特定する。そして、無人航空機602は、エリア探索が不十分とみなせるエリア又は信頼性に欠けるとみなせるエリアを、他のエリアよりも高い優先度で航行するように、航行計画を変更する。このような航行計画の生成方法として、所定の値以上に不確実性が高い、又は意見対立が大きいエリアのうち、自装置の位置から最も近いエリアから優先的に探索する、等の方法がある。しかし、航行計画の生成方法は、これに限定されるものではない。

[0199] 例えば、無人航空機602は、最初は十分に探索されていないエリアの探索を優先する。詳細には、無人航空機602は、フィールドの等高線として $m(\Omega)$ の各セルの値を参照し、現在の位置から所定の距離だけ離れた各方向のうち、最も高い値の方向へ進むなどのルールを設定することが可能である。

また、それ以外にも、例えば、無人航空機602は、周囲の無人航空機602の数が分かる場合により無人航空機602の少ないエリアへ優先して航行する、又は、所定の確率でランダムな移動を含ませるなど、より複雑なルールを採用することができる。

[0200] さらに、行動目的及び航行計画生成ルールは、全ての無人航空機602において、同一である必要はない。例えば、一部の無人航空機602の目的をフィールドのマップ情報作成よりも、ターゲット610の追跡を優先するとし、その一部の無人航空機602が、 $m(\omega_1)$ の大きいエリアを優先的に航行するようにしてもよい。この場合、無人航空機602は、ターゲット610に関するより確度の高い情報を収集しながら、ターゲット610を追跡することが可能である。

[0201] このように、第3具体例は、第2の実施形態と同様の構成を用いて、同様の効果を奏する。

[0202] 上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

(付記 1)

所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置であって、

、

センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する測定検出手段と、

周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する推定演算手段と、

フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信する通信手段と、

他の分散協調情報処理装置の情報を管理する隣接管理手段と、

自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する融合手段と

を有する分散協調情報処理装置。

(付記 2)

融合手段が、

フィールド内で現在正常に動作している他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を他の分散協調情報処理装置から取得する

付記 1 に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 3)

フィールド内に分散して配置された複数の分散協調情報処理装置それぞれが具備するタイマが示す時刻を互いに同期させる時刻同期手段をさらに有する

付記 1 又は 2 に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 4)

自装置の位置情報を取得する位置管理手段をさらに有する

付記 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 5)

測定検出手段の測定結果に同一地点における測定結果を含む他の分散協調情報処理装置と推定判断情報を送受信するための転送制御手段をさらに有する

る

付記 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 6)

融合処理後の推定判断情報に基づいて、自装置内の資源利用状態を変化させる資源制御手段をさらに有する

付記 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 7)

資源制御手段が、

資源利用状態として、自装置の動作間隔、測定検出手段に基づく測定性能、又は他の分散協調情報処理装置との通信頻度を変化させる

付記 6 に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 8)

端末装置からの要求にしたがって推定判断情報を表示させるためのインターフェース手段をさらに有する

付記 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の分散協調情報処理装置。

(付記 9)

所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置が実行する分散協調情報処理方法であって、

センサーデバイスを用いて周囲環境を測定し、

周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成し、

フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された推定判断情報を受信し、

他の分散協調情報処理装置の情報を管理し、

自装置で生成した推定判断情報と他の分散協調情報処理装置から受信した推定判断情報とを融合する

分散協調情報処理方法。

(付記 10)

フィールド内で現在正常に動作している他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を他の分散協調情報処理装置から取得する

付記 9 に記載の分散協調情報方法。

(付記 1 1)

所定のフィールド内に分散して配置されるコンピュータに、

センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する処理と、

周囲環境の測定結果に基づいて周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する処理と、

フィールド内の他のコンピュータで生成された推定判断情報を受信する処理と、

推定判断情報を受信する他の分散協調情報処理装置の情報を管理する処理と、

他のコンピュータの情報を管理する処理と、

自装置で生成した推定判断情報と他のコンピュータから受信した推定判断情報とを融合する処理と

を実行させるプログラムをコンピュータ読み取り可能に記録する記録媒体。

(付記 1 2)

プログラムは、さらに

フィールド内で現在正常に動作している他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を他の分散協調情報処理装置から取得する処理

をコンピュータに実行させる付記 1 1 に記載の記録媒体。

[0203] 以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成及び詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0204] この出願は、2016年5月18日に提出された日本出願特願2016-099441を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

産業上の利用可能性

[0205] 本発明は、センサーネットワーク又はレーダーシステムなどに基づく物理的空間の監視、管理及び警備システムに適用可能である。また、本発明は、各種分散システムにおける障害などのイベント監視システム又はサイバーセキュリティとしての監視システムなど、論理的空間での監視及び管理システムに適用可能である。さらに、本発明は、複数のロボット若しくは無人機で構成されるシステム、又は、物流管理、サプライチェーン管理に適用可能である。本発明は、電車、車又は飛行機などのマルチモーダルな交通システム管理などを典型例とする独立した複数の部分的システムの集合体からなる分散したシステムにおける、各種判断情報の分散協調的な共有及び判断を通じた管理システムに適用可能である。

符号の説明

- [0206]
- | | |
|---------|------------|
| 100 | 情報処理装置 |
| 101 | 演算装置 |
| 102 | 揮発性記憶装置 |
| 103 | 接続インターフェース |
| 104 | 通信装置 |
| 105 | 測定装置 |
| 106 | 不揮発性記憶装置 |
| 107 | 電源装置 |
| 200、300 | 分散協調情報処理装置 |
| 201、301 | インターフェース手段 |
| 202、302 | 通信手段 |
| 203、303 | 隣接管理手段 |
| 204、304 | 融合手段 |
| 205、305 | 推定演算手段 |
| 206、306 | 測定検出手段 |
| 307 | 位置管理手段 |

308 時刻同期手段
309 資源制御手段
310 転送制御手段
320、921 端末装置
401 フィールド
402 第1のレーダー
403 第2のレーダー
405 セル
500 ICTシステム
501、502、503、504、505 監視エージェント
510、511、512 アプリケーションサーバ
521、522、523 ネットワークスイッチ
530、531、532 データベースサーバ
601 探索フィールド
602 無人航空機
603、701 ネットワーク
610 ターゲット
620 探索可能エリア
702 アクティブノードチャネル
703 マップ情報チャネル
814、817、922 レーダー
815、816 間隔
931、932、933 マップ

請求の範囲

- [請求項1] 所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置であって、
- センサデバイスを用いて周囲環境を測定する測定検出手段と、
- 前記周囲環境の測定結果に基づいて前記周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する推定演算手段と、
- 前記フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された前記推定判断情報を受信する通信手段と、
- 前記他の分散協調情報処理装置の情報を管理する隣接管理手段と、
- 自装置で生成した前記推定判断情報と前記他の分散協調情報処理装置から受信した前記推定判断情報とを融合する融合手段と
- を有する分散協調情報処理装置。
- [請求項2] 前記融合手段が、
- 前記フィールド内で現在正常に動作している前記他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を前記他の分散協調情報処理装置から取得する
- 請求項1に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項3] 前記フィールド内に分散して配置された複数の分散協調情報処理装置それぞれが具備するタイマが示す時刻を互いに同期させる時刻同期手段をさらに有する
- 請求項1又は2に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項4] 自装置の位置情報を取得する位置管理手段をさらに有する
- 請求項1ないし3のいずれか1項に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項5] 前記測定検出手段の測定結果に同一地点における測定結果を含む前記他の分散協調情報処理装置と前記推定判断情報を送受信するための転送制御手段をさらに有する
- 請求項1ないし4のいずれか1項に記載の分散協調情報処理装置。

- [請求項6] 融合処理後の前記推定判断情報に基づいて、自装置内の資源利用状態を変化させる資源制御手段をさらに有する
- 請求項1ないし5のいずれか1項に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項7] 前記資源制御手段が、
- 前記資源利用状態として、自装置の動作間隔、前記測定検出手段に基づく測定性能、又は前記他の分散協調情報処理装置との通信頻度を変化させる
- 請求項6に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項8] 端末装置からの要求にしたがって前記推定判断情報を表示させるためのインターフェース手段をさらに有する
- 請求項1ないし7のいずれか1項に記載の分散協調情報処理装置。
- [請求項9] 所定のフィールド内に分散して配置される分散協調情報処理装置が実行する分散協調情報処理方法であって、
- センサーデバイスを用いて周囲環境を測定し、
- 前記周囲環境の測定結果に基づいて前記周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成し、
- 前記フィールド内の他の分散協調情報処理装置で生成された前記推定判断情報を受信し、
- 前記他の分散協調情報処理装置の情報を管理し、
- 自装置で生成した前記推定判断情報と前記他の分散協調情報処理装置から受信した前記推定判断情報とを融合する
- 分散協調情報処理方法。
- [請求項10] 前記フィールド内で現在正常に動作している前記他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を前記他の分散協調情報処理装置から取得する
- 請求項9に記載の分散協調情報方法。
- [請求項11] 所定のフィールド内に分散して配置されるコンピュータに、
- センサーデバイスを用いて周囲環境を測定する処理と、

前記周囲環境の測定結果に基づいて前記周囲環境の状態の仮説の集合の確からしさを示す情報である推定判断情報を生成する処理と、

前記フィールド内の他のコンピュータで生成された前記推定判断情報を受信する処理と、

前記推定判断情報を受信する前記他の分散協調情報処理装置の情報を管理する処理と、

前記他のコンピュータの情報を管理する処理と、

自装置で生成した前記推定判断情報と前記他のコンピュータから受信した前記推定判断情報とを融合する処理と

を実行させるプログラムをコンピュータ読み取り可能に記録する記録媒体。

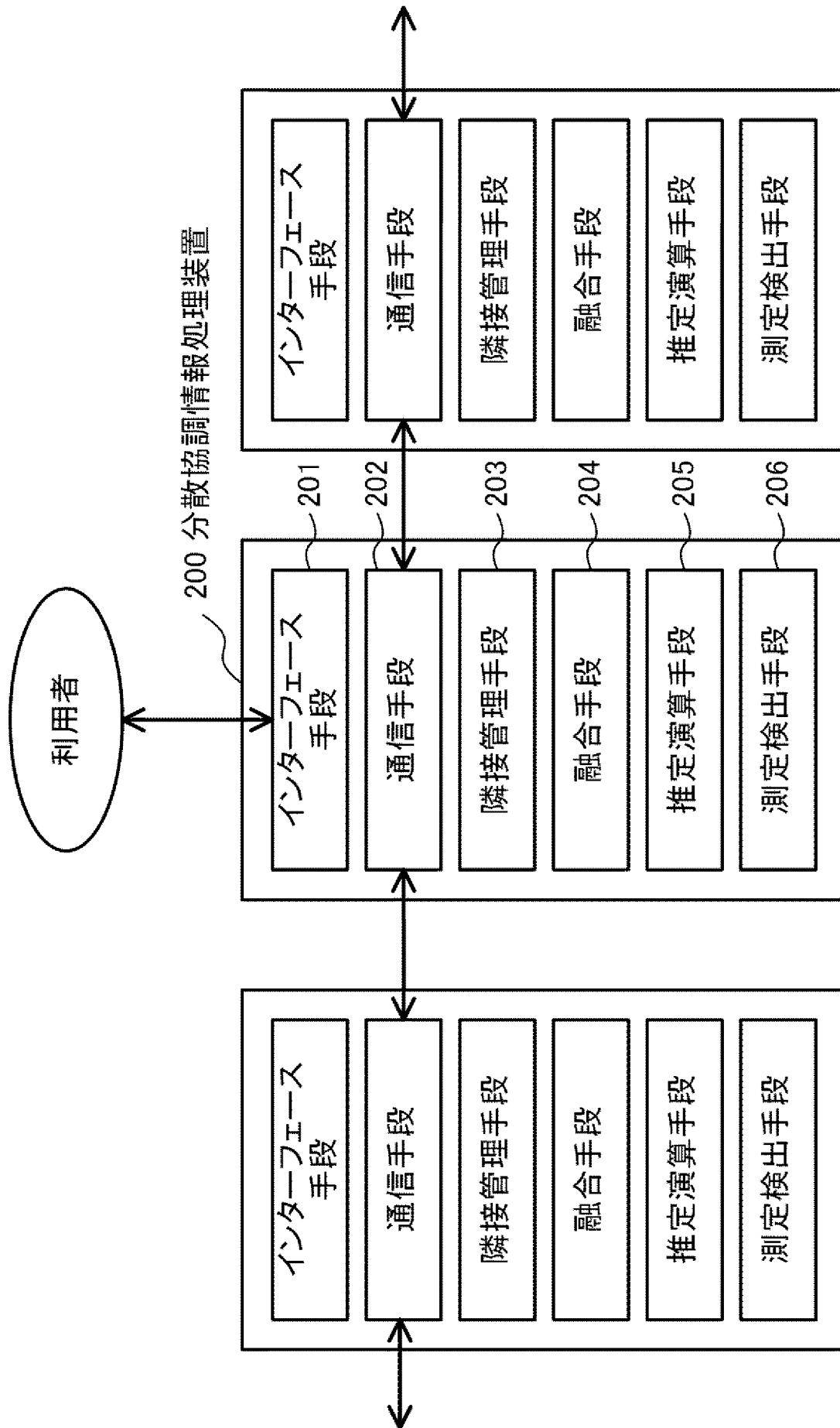
[請求項12]

前記プログラムは、さらに

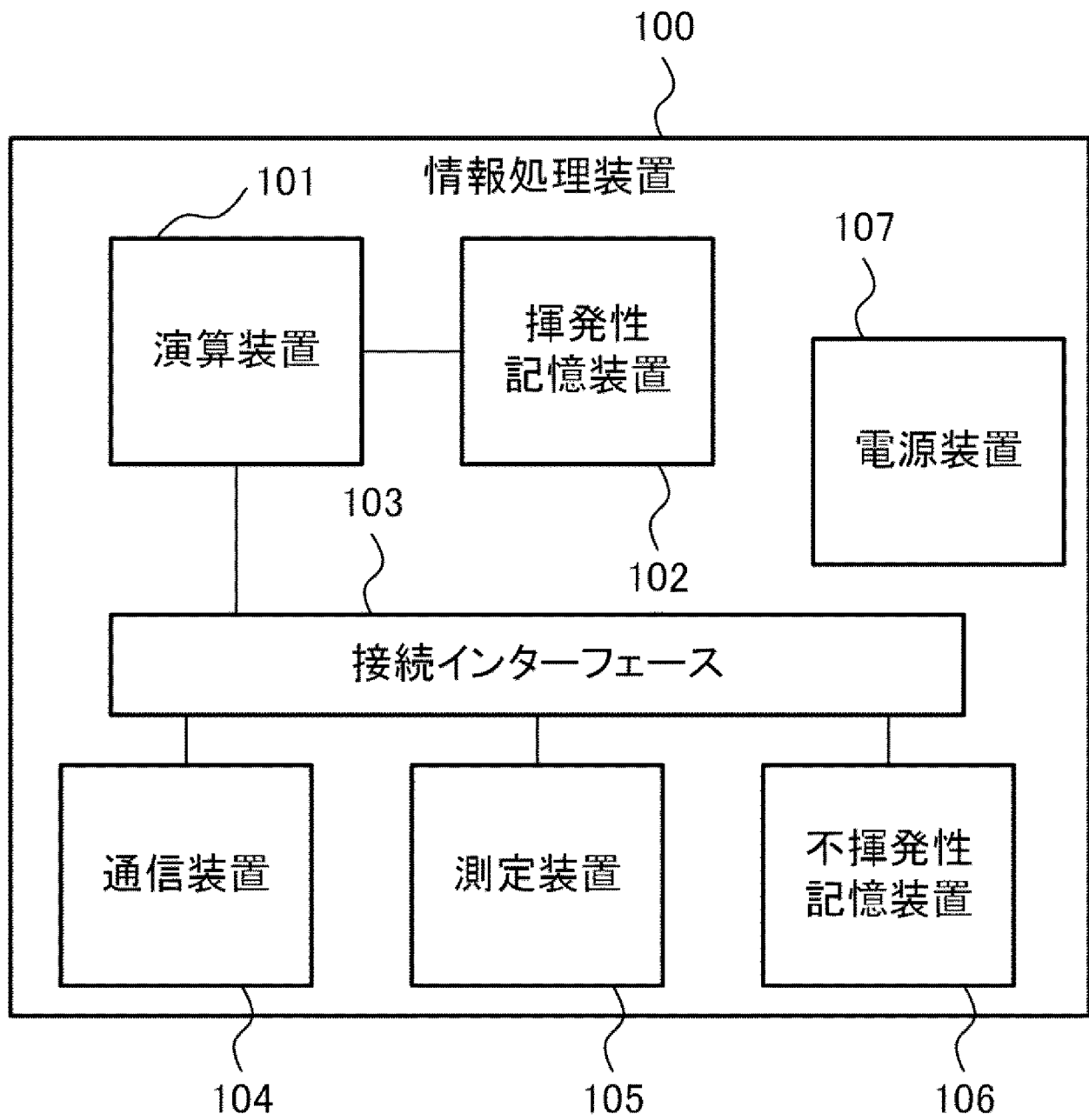
前記フィールド内で現在正常に動作している前記他の分散協調情報処理装置の数を推定するための情報を前記他の分散協調情報処理装置から取得する処理

を前記コンピュータに実行させる請求項11に記載の記録媒体。

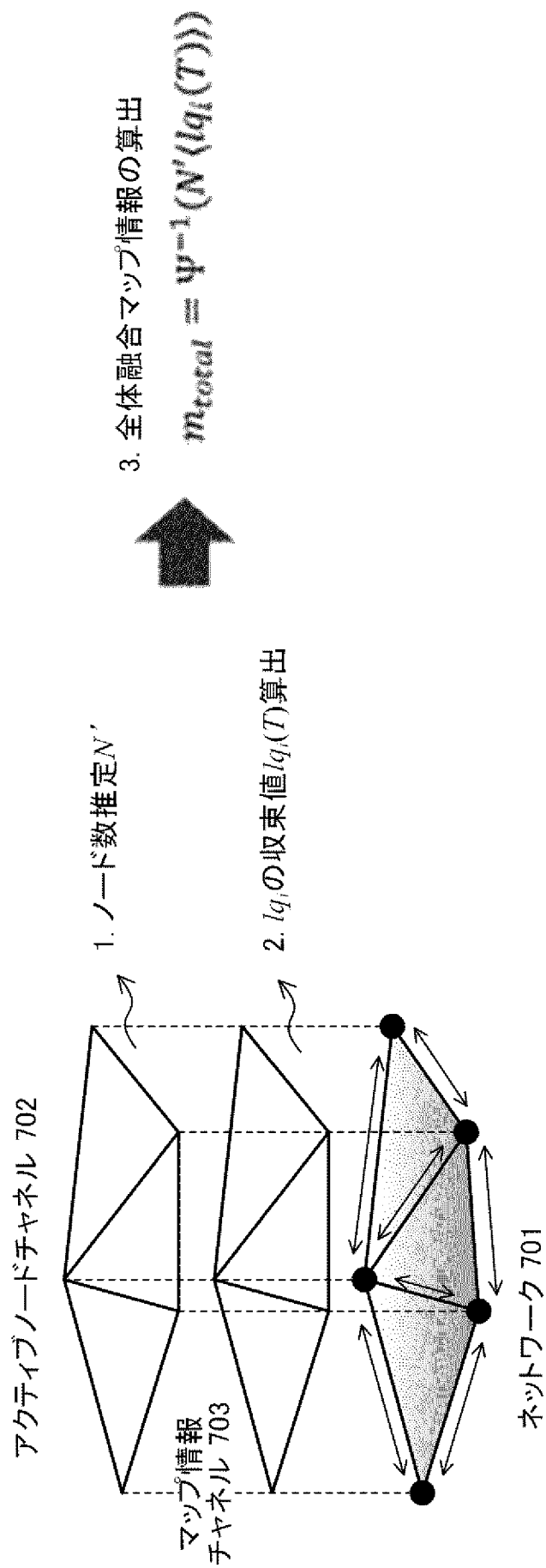
[図1]



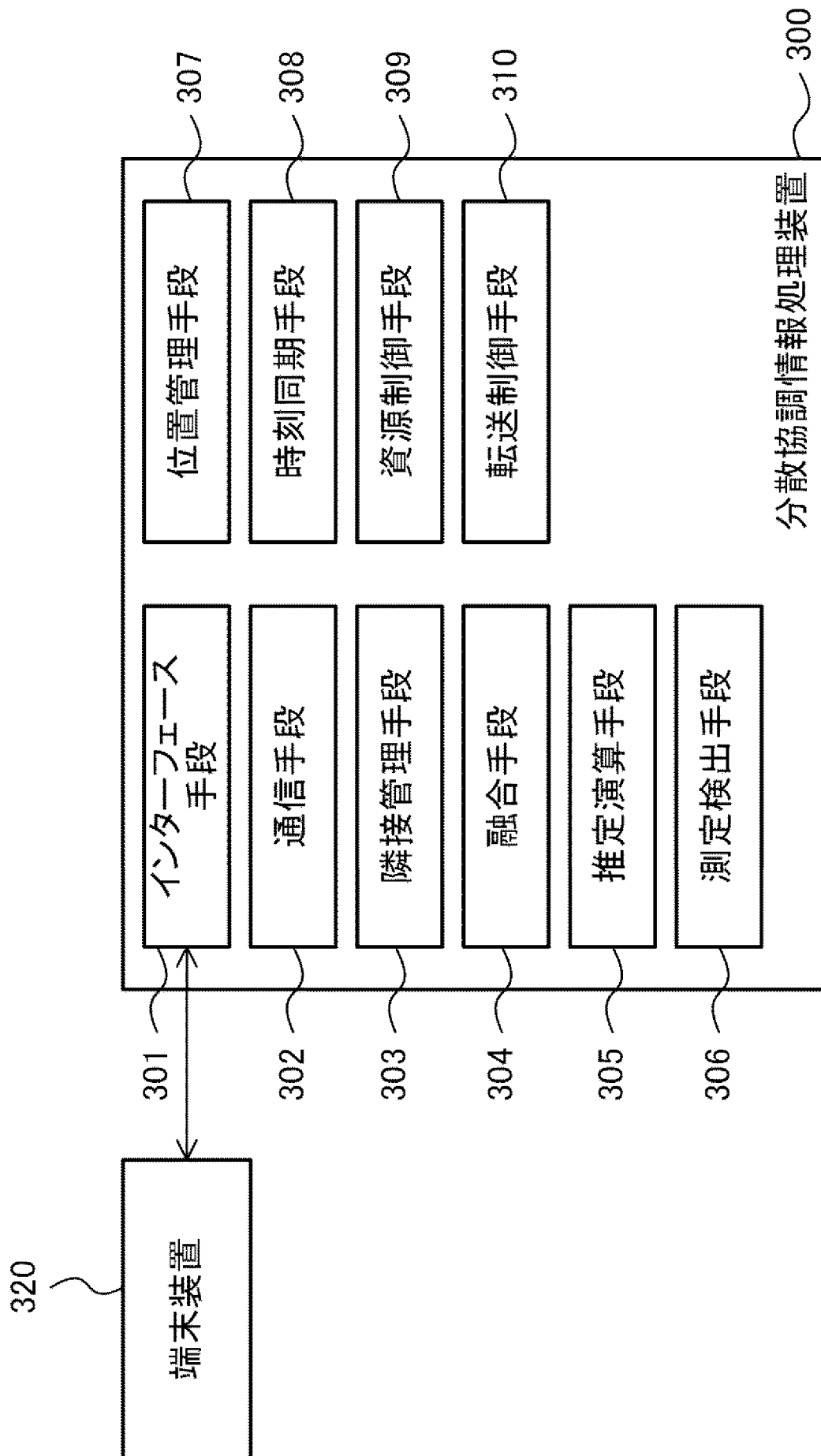
[図2]



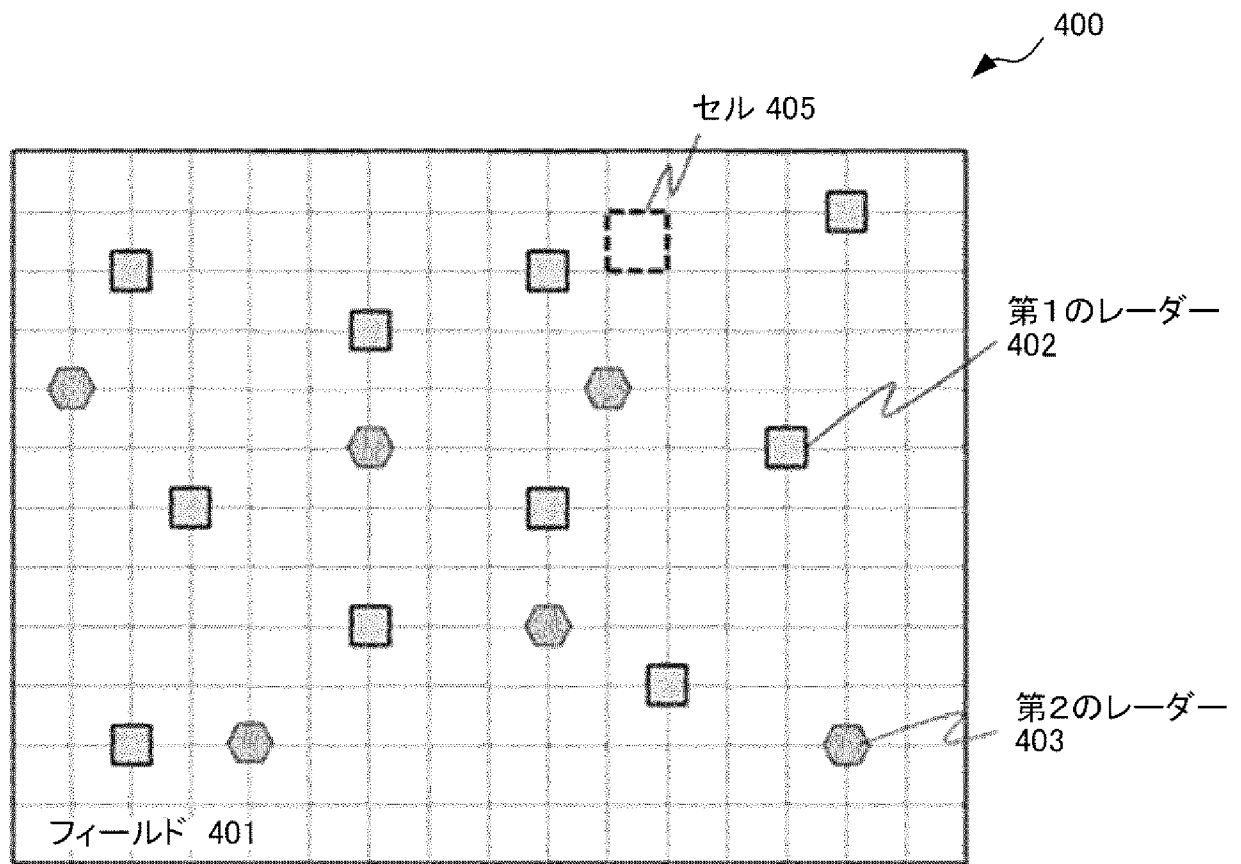
[図3]



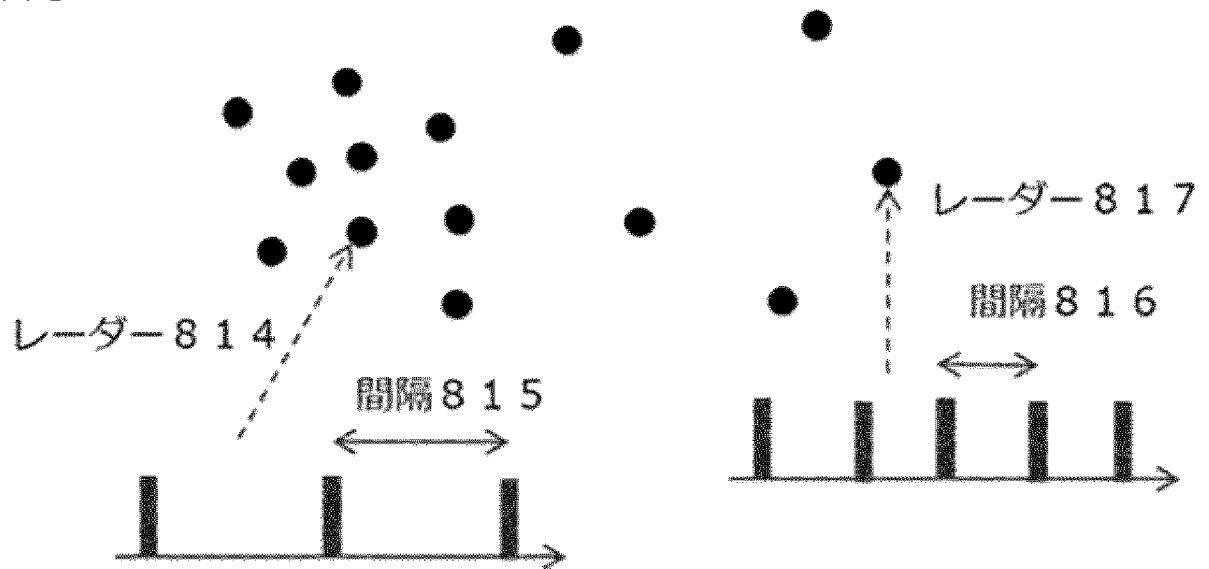
[図4]



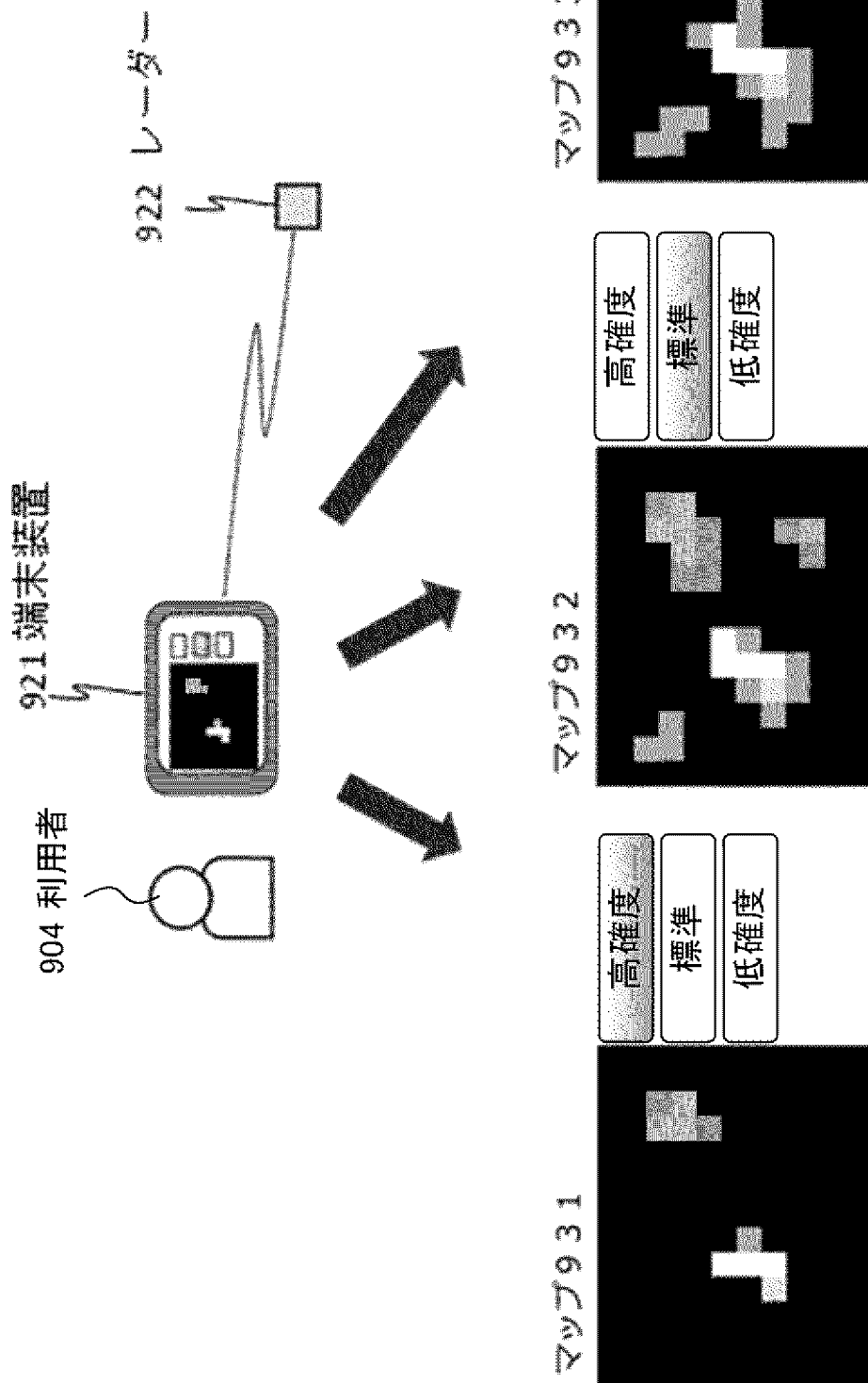
[図5]



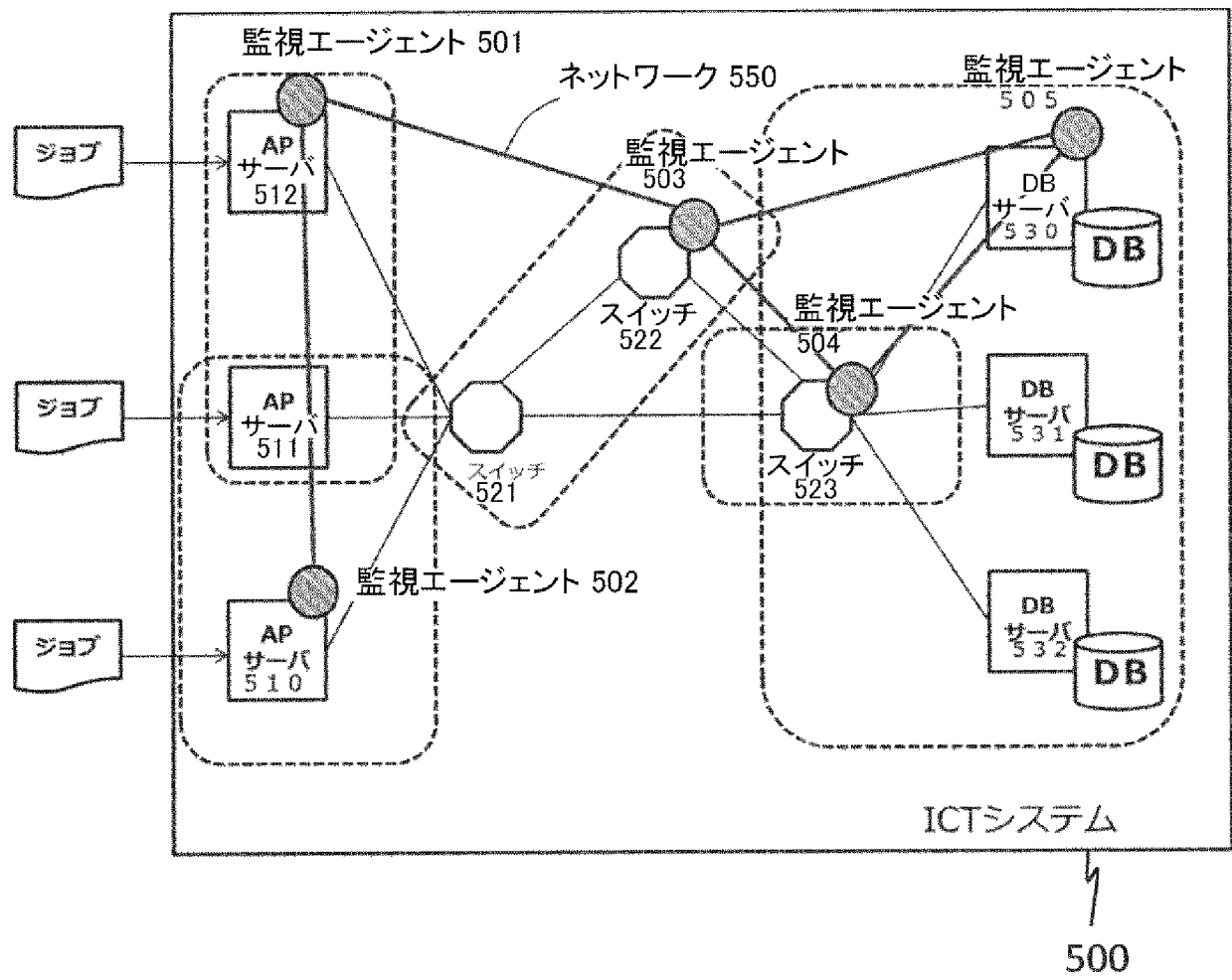
[図6]



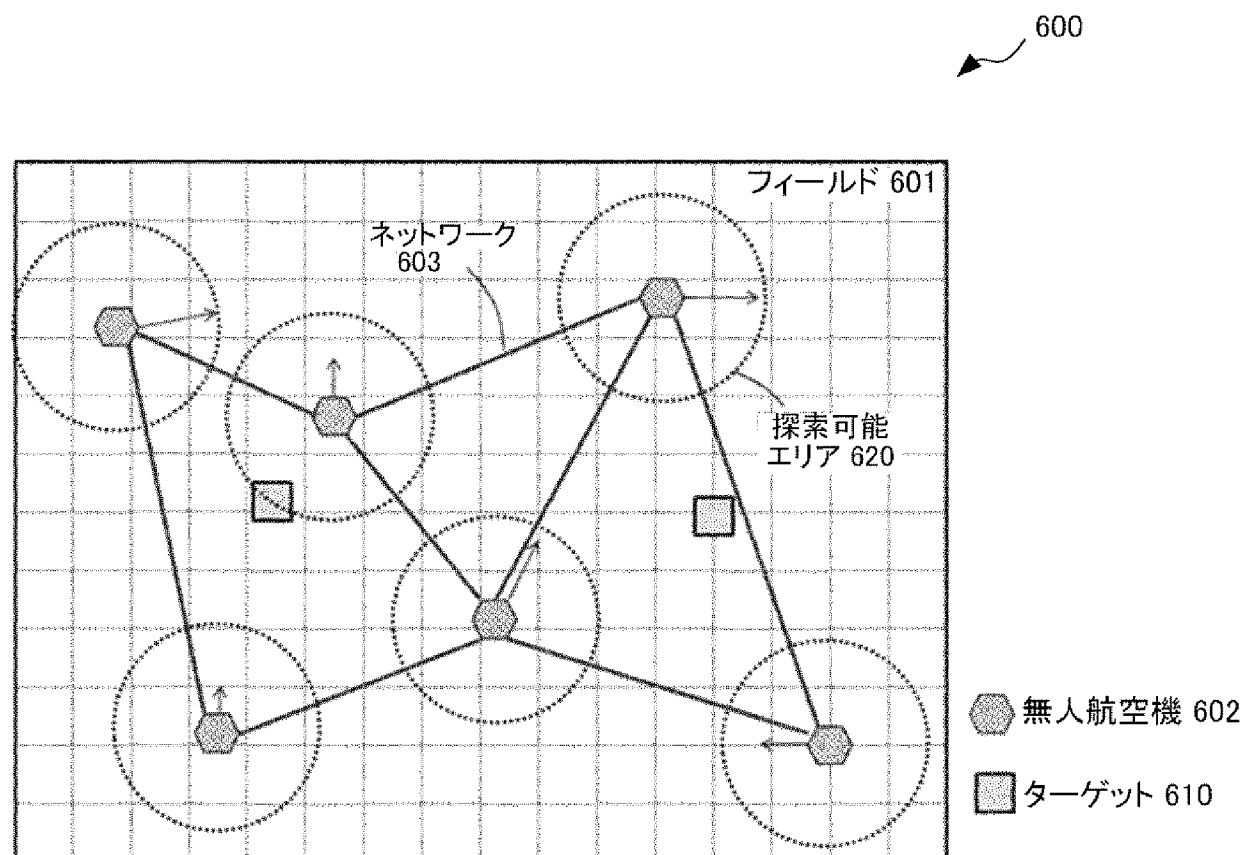
[図7]



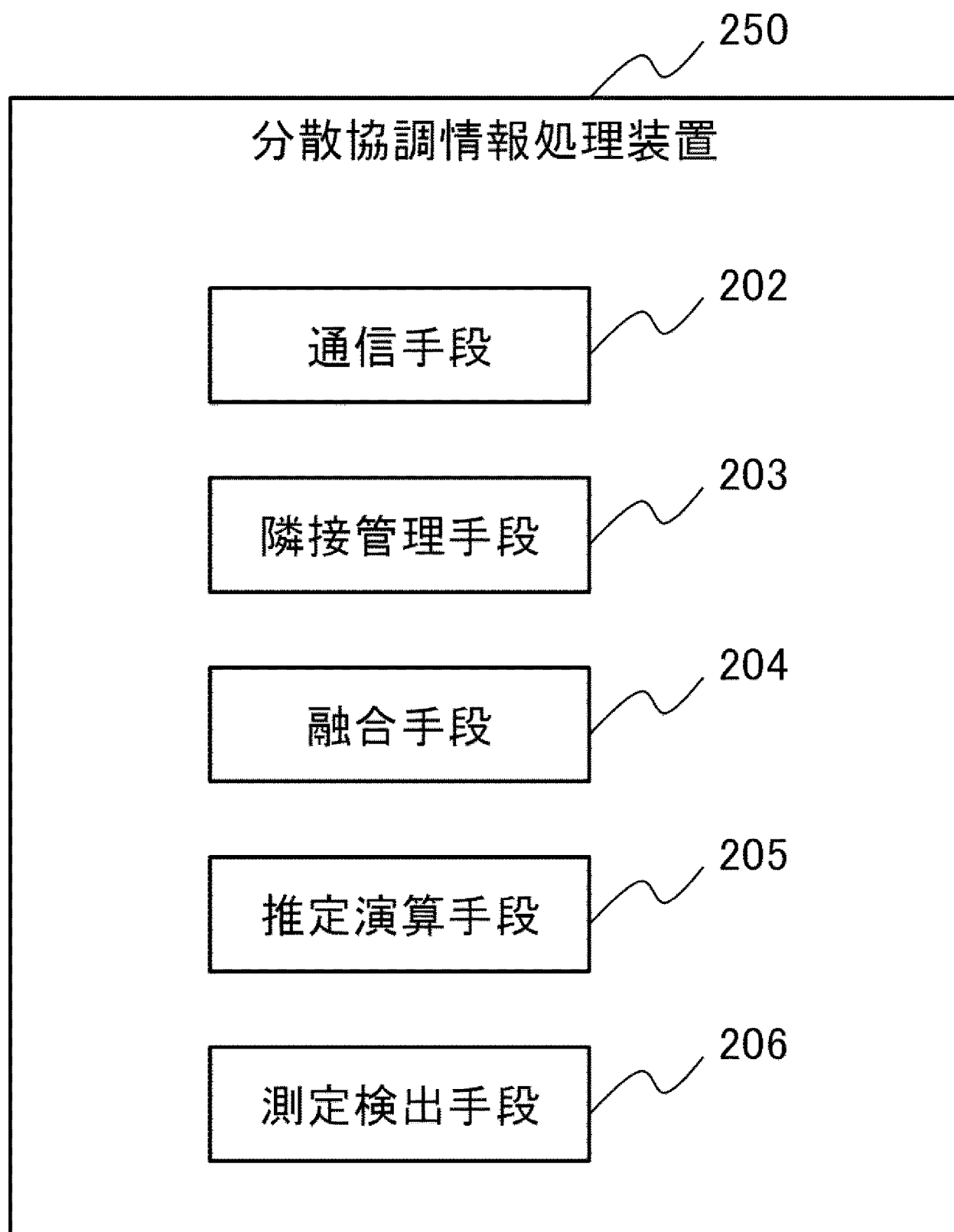
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/018200

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F9/46(2006.01)i, G01S13/89(2006.01)i, G06F1/14(2006.01)i, G06F11/16(2006.01)i, G06F13/00(2006.01)i, G06F15/173(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)

G06F9/46, G01S13/89, G06F1/14, G06F11/16, G06F13/00, G06F15/173

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2002-277533 A (Mitsubishi Electric Corp.), 25 September 2002 (25.09.2002), paragraphs [0038] to [0052]; fig. 5 (Family: none)	1, 5, 8-9, 11 3-4, 6-7 2, 10, 12
Y	JP 2006-105897 A (NEC Corp.), 20 April 2006 (20.04.2006), paragraphs [0023] to [0030]; fig. 1 (Family: none)	3
Y	JP 2005-233723 A (Mitsubishi Electric Corp.), 02 September 2005 (02.09.2005), paragraphs [0022] to [0025] (Family: none)	4

☒ 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
26 July 2017 (26.07.17)

Date of mailing of the international search report
08 August 2017 (08.08.17)

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/JP2017/018200

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-212299 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 August 2007 (23.08.2007), paragraphs [0013] to [0052] (Family: none)	6-7
A	JP 2003-97900 A (Toshiba Corp.), 03 April 2003 (03.04.2003), paragraphs [0012] to [0031]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F9/46(2006.01)i, G01S13/89(2006.01)i, G06F1/14(2006.01)i, G06F11/16(2006.01)i, G06F13/00(2006.01)i, G06F15/173(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. G06F9/46, G01S13/89, G06F1/14, G06F11/16, G06F13/00, G06F15/173

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2002-277533 A（三菱電機株式会社）2002.09.25, 段落 [0038]-[0052], 第5図（ファミリーなし）	1, 5, 8-9, 11 3-4, 6-7 2, 10, 12
Y	JP 2006-105897 A（日本電気株式会社）2006.04.20, 段落 [0023]-[0030], 第1図（ファミリーなし）	3
Y	JP 2005-233723 A（三菱電機株式会社）2005.09.02, 段落 [0022]-[0025]（ファミリーなし）	4

☑ 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

26.07.2017

国際調査報告の発送日

08.08.2017

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）

漆原 孝治

5B

9366

電話番号 03-3581-1101 内線 3545

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
Y	JP 2007-212299 A (三菱電機株式会社) 2007. 08. 23, 段落 [0013]-[0052] (ファミリーなし)	6-7
A	JP 2003-97900 A (株式会社東芝) 2003. 04. 03, 段落[0012]-[0031], 第 1-6 図 (ファミリーなし)	1-12