

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7683748号  
(P7683748)

(45)発行日 令和7年5月27日(2025.5.27)

(24)登録日 令和7年5月19日(2025.5.19)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 8 G 1/017(2006.01) G 0 8 G 1/017  
G 0 8 G 1/16 (2006.01) G 0 8 G 1/16 A

請求項の数 10 (全25頁)

(21)出願番号	特願2023-574993(P2023-574993)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	令和4年1月21日(2022.1.21)	(74)代理人	100103090 弁理士 岩壁 冬樹
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/002170	(74)代理人	100124501 弁理士 塩川 誠人
(87)国際公開番号	WO2023/139746	(72)発明者	矢田部 彰宏 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開日	令和5年7月27日(2023.7.27)	(72)発明者	千嶋 博 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
審査請求日	令和6年6月27日(2024.6.27)	(72)発明者	加藤 正徳 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 センサ制御システム、方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力手段と、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築手段と、

前記イジングモデルデータをアニーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理手段と、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する制御手段とを備えた

ことを特徴とするセンサ制御システム。

【請求項2】

モデル構築手段は、センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を表わしたイジングモデルデータを構築する

請求項1記載のセンサ制御システム。

【請求項3】

モデル構築手段は、1つのセンサが同一の移動物体に対して所定数よりも多くのリソー

スを使用することを抑制する制約を含むイジングモデルデータを構築する

請求項 1 または請求項 2 記載のセンサ制御システム。

【請求項 4】

モデル構築手段は、複数のリソースにより捕捉されるほど高くなり、移動物体がセンサから近いほど高くなる追尾精度を示す値として算出される精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むイジングモデルデータを構築する

請求項 1 から請求項 3 のうちのいずれか 1 項に記載のセンサ制御システム。

【請求項 5】

モデル構築手段は、センサの方位により照射される電波同士の角度が直交するほど高くなるように定義された追尾精度を示す精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むイジングモデルデータを構築する

請求項 4 記載のセンサ制御システム。

【請求項 6】

モデル構築手段は、優先的に捕捉すべき移動物体である重要ターゲットがセンサに割り当てられるほど目的関数の値を低減させる重み付けがされた数式を目的関数に含むイジングモデルデータを構築する

請求項 1 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載のセンサ制御システム。

【請求項 7】

モデル構築手段は、重要ターゲットを捕捉すべきセンサとして予め定められたセンサである重要センサに重要ターゲットが割り当てられたときに目的関数の値を低減させる効果を有する数式を目的関数に含むイジングモデルデータを構築する

請求項 6 記載のセンサ制御システム。

【請求項 8】

モデル構築手段は、制約および目的関数を Q U B O 形式で表わしたモデルデータを構築する

請求項 1 から請求項 7 のうちのいずれか 1 項に記載のセンサ制御システム。

【請求項 9】

移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付け、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築し、

前記イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得し、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する

ことを特徴とするセンサ制御方法。

【請求項 10】

コンピュータに、

移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力処理、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築処理、

前記イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理、および、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する制御処理

を実行させるためのセンサ制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

**【技術分野】****【0001】**

本発明は、移動物体を捕捉するセンサを制御するセンサ制御システム、センサ制御方法、センサ制御プログラムに関する。

**【背景技術】****【0002】**

センサを利用して移動物体を捕捉する技術が開発されている。例えば、特許文献1には、複数のセンサで移動物体を捕捉するシステムが記載されている。特許文献1に記載されたシステムは、移動物体がセンサのセンシング範囲に存在する確率や、センサのキャパシティなどに基づくコストを定義し、そのコストを最小化するように各移動物体に割り当てるセンサを決定する。

10

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【文献】米国特許出願公開第2005/0004759号明細書

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

制御対象とする複数のセンサに複数の移動物体を割り当てる問題は、いわゆる組み合わせ最適化問題である。そのため、センサや移動物体の数、センサの駆動範囲（例えば、駆動する角度のパターン数）が増大すると、すべての組み合わせパターンを計算することは困難である。例えば、貪欲法などのアルゴリズムを用いた一般的な方法では、結果の精度および速度に課題があるため、現実的な時間（例えば、リアルタイム）で使用することは難しい。

20

**【0005】**

特許文献1に記載されたシステムでは、移動物体を様々な追跡システムリソースに割り当てるために、オークションアルゴリズムの他、遺伝的アルゴリズム、分枝限定法、焼きなまし法などにより最適化を行う。しかし、より詳細なセンサリソースの割り当てや最適制御について焼きなまし法を適用した例はない。

**【0006】**

そこで、本発明は、複数の移動物体を捕捉する複数のセンサを現実的な時間で制御できるセンサ制御システム、センサ制御方法、およびセンサ制御プログラムを提供することを目的とする。

30

**【課題を解決するための手段】****【0007】**

本発明によるセンサ制御システムは、移動物体を捕捉するセンサの位置およびそのセンサの向く方位、並びに、移動物体の位置の入力を受け付ける入力手段と、センサの位置およびそのセンサの向く方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築手段と、イジングモデルデータをアニーリングマシンにマッピングして、センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理手段と、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサを制御する制御手段とを備えたことを特徴とする。

40

**【0008】**

本発明によるセンサ制御方法は、移動物体を捕捉するセンサの位置およびそのセンサの向く方位、並びに、移動物体の位置の入力を受け付け、センサの位置およびそのセンサの向く方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築し、イジングモデルデータをアニーリングマシンにマッピングして、センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得し、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕

50

捉するようにセンサを制御することを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

本発明によるセンサ制御プログラムは、コンピュータに、移動物体を捕捉するセンサの位置およびそのセンサの向く方位、並びに、移動物体の位置の入力を受け付ける入力処理、センサの位置およびそのセンサの向く方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築処理、イジングモデルデータをアニーリングマシンにマッピングして、センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理、および、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサを制御する制御処理を実行させることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、複数の移動物体を捕捉する複数のセンサを現実的な時間で制御できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】センサ制御システムの一実施形態の構成例を示すブロック図である。

【図 2】センサが移動物体を捕捉する動作の例を示す説明図である。

【図 3】捕捉できない移動物体の集合を導出する方法の例を示す説明図である。

【図 4】QUBO形式の数式に用いられる変数の例を示す説明図である。

【図 5】QUBO形式の数式に用いられる変数の例を示す説明図である。

20

【図 6】センサ方位の差分量の例を示す説明図である。

【図 7】移動物体に割り当てられるセンサが変化する状況を示す説明図である。

【図 8】ダミーセンサを設定してリソースの上限を制限する処理の例を示す説明図である。

【図 9】精度ポイントの例を示す説明図である。

【図 10】重要ターゲットを優先的に捕捉する処理の例を示す説明図である。

【図 11】重要センサを用いた処理の例を示す説明図である。

【図 12】センサ制御システムの動作例を示すフローチャートである。

【図 13】センサ制御システムをマラソンランナーの現在位置の捕捉に適用した例を示す説明図である。

【図 14】本発明によるセンサ制御システムの概要を示すブロック図である。

30

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

本発明は、複数の移動物体を捕捉する複数のセンサを現実的な時間で制御することを目的とする。ここでの現実的な時間とは、各移動物体を捕捉する複数のセンサの制御をリアルタイムで行うことが可能な程度の時間を意味する。以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

【 0 0 1 3 】

図 1 は、センサ制御システムの一実施形態の構成例を示すブロック図である。本実施形態のセンサ制御システム 1 は、複数のセンサ 10 と、センサ制御装置 100 と、アニーリングマシン 200 とを備えている。

40

【 0 0 1 4 】

アニーリングマシン 200 は、イジングモデル（イジングモデルデータ）のハミルトニアン基底状態を求める専用の装置であり、センサ制御装置 100 により生成されたイジングモデルに基づいてアニーリングを実行する装置である。なお、イジングモデルは、結晶を構成する原子のスピン向きを計算する簡易的なモデルであり、組合せ最適化問題の定式化の一つである。

【 0 0 1 5 】

より具体的には、アニーリングマシンとは、二値変数を引数とするイジングモデルの目的関数（すなわち、ハミルトニアン）を最小化又は最大化する二値変数の値を確率的に求める装置である。なお、二値変数は、古典ビットや量子ビットで実現されていてもよい。

50

## 【 0 0 1 6 】

また、本実施形態のアニーリングマシン 2 0 0 の態様は任意である。アニーリングマシン 2 0 0 は、二値変数を引数とする目的関数を最小化又は最大化する二値変数の値を確率的に求めるものであればどのようなハードウェアによって構成されてもよい。アニーリングマシン 2 0 0 は、例えば、目的関数がイジングモデルの形式でハードウェアによって実装された非ノイマン型コンピュータであってもよい。また、アニーリングマシン 2 0 0 は、量子アニーリングマシンであっても、一般のアニーリングマシンであってもよい。

## 【 0 0 1 7 】

ここで、イジングモデルと一対一に変形できる Q U B O ( Quadratic Unconstrained Binary Optimization : 制約なし二次バイナリ最適化 ) モデルは、組合せ最適化問題の定式

10

化の一つである。そのため、Q U B O モデル化された組合せ最適化問題は、アニーリングマシンで解くことが可能である。そこで、以下の説明では、アニーリングマシン 2 0 0 に最適化させるイジングモデルを、Q U B O 形式で表わす場合について説明する。

## 【 0 0 1 8 】

センサ 1 0 は、本実施形態のセンサ制御システム 1 において、複数のリソースを用いて移動物体を捕捉するためのセンサである。本実施形態のセンサ 1 0 は、複数台存在し、通信可能な態様 ( 例えば、無線通信など ) でセンサ制御装置 1 0 0 に接続される。

## 【 0 0 1 9 】

また、本実施形態のセンサ 1 0 は、指向性をもつセンサを想定し、センサ制御装置 1 0 0 による制御に基づいて、割り当てられた移動対象を捕捉する。なお、本実施形態のセンサ 1 0 は、特定の軸を中心として回転することで捕捉する方向を変更できるものとする。さらに、本実施形態のセンサ 1 0 が移動物体を捕捉する際に利用可能なリソース ( 捕捉できる移動物体の最大数 ) は決まっているものとする。

20

## 【 0 0 2 0 】

センサ 1 0 の位置は、固定されていてもよく、固定されていなくてもよい。例えば、センサ 1 0 が車両やドローンなどの機器に取り付けられ、捕捉対象の移動物体の動きに合わせてセンサ 1 0 の位置が変更されてもよい。

## 【 0 0 2 1 】

図 2 は、センサが移動物体を捕捉する動作の例を示す説明図である。図 2 に示す例は、複数のセンサ 1 0 を用いて複数の移動物体 2 0 を捕捉する動作を示している。図 2 に例示する破線で示す範囲が、センサ 1 0 が移動物体 2 0 を捕捉可能な範囲である。

30

## 【 0 0 2 2 】

図 2 に示す例では、状態 S 1 において、3 台のセンサ 1 0 で、5 つの移動物体 2 0 を捕捉していることを示している。本実施形態のセンサ制御システム 1 は、捕捉できない移動物体 2 0 の数を最小化する ( すなわち、移動物体 2 0 の捕捉漏れ数を最小化する ) ように、センサ 1 0 を制御する。そして、移動物体の捕捉に割り当てる各センサを適切に決定し制御することで、状態 S 2 に示すように、3 台のセンサ 1 0 で、より多くの移動物体 ( 7 つの移動物体 2 0 ) を捕捉できるようになる。図 2 に示す例では、センサ 1 0 の角度を変更することで、多くの移動物体を捕捉できたことを示す。

40

## 【 0 0 2 3 】

なお、以下の説明では、移動物体が飛来物 ( 例えば、ミサイルやドローンなど ) の場合を例示する。この場合、センサ 1 0 の態様は、例えば、レーダなどである。なお、移動物体は飛来物に限定されず、例えば、人物や携帯端末などであってもよい。移動物体が人物の場合、用いられるセンサ 1 0 の態様として、カメラなどが挙げられる。また、移動物体が携帯端末の場合、用いられるセンサ 1 0 の態様として、基地局のアンテナなどが挙げられる。

## 【 0 0 2 4 】

センサ制御装置 1 0 0 は、装置制御部 1 1 0 と、記憶部 1 2 0 と、入力部 1 3 0 と、目標座標推測部 1 4 0 と、センサ制御最適化部 1 5 0 と、センサ制御部 1 6 0 と、新規ター

50

ゲット検出部 170 と、出力部 180 とを含む。

【0025】

装置制御部 110 は、センサ制御装置 100 の各種機能を制御する。

【0026】

記憶部 120 は、センサ制御装置 100 が処理に用いる各種情報を記憶する。また、本実施形態の記憶部 120 は、センサ座標・諸元データベース 121 および現在目標座標データベース 122 を記憶する。

【0027】

センサ座標・諸元データベース 121 は、センサ 10 の位置や、パラメータ設定など、各種諸元情報を記憶するデータベースである。例えば、センサ 10 の位置が変化する場合、センサ座標・諸元データベース 121 は、変化後のセンサ 10 の位置を逐次更新すればよい。変化後のセンサ 10 の位置は、例えば、GPS (Global Positioning System) から得てもよく、センサ 10 を搭載した装置等から直接得てもよい。

【0028】

また、制御によりセンサ 10 の向く方位 (以下、単にセンサ 10 の方位と記す。) が変更された場合、センサ座標・諸元データベース 121 は、変化後のセンサ 10 の方位を逐次更新すればよい。変化後のセンサ 10 の方位は、後述するセンサ制御部 160 やセンサ制御最適化部 150 から得てもよく、各センサ 10 から直接得てもよい。

【0029】

現在目標座標データベース 122 は、センサ 10 が捕捉しようとする移動物体の現時点  $t$  の位置を示す情報 (以下、現在目標座標と記すこともある。) を記憶する。移動物体は、その名の通り移動する物体であるため、厳密には現時点の位置を把握することは難しい。そこで、現在目標座標データベース 122 は、捕捉された直近の時点  $t - 1$  における移動物体の位置を示す情報、または、後述する目標座標推測部 140 により推測される現時点  $t$  の移動物体の位置を示す情報を、現在目標座標として記憶してもよい。

【0030】

入力部 130 は、センサ 10 を制御するために用いられる各種情報の入力を受け付ける。例えば、センサ 10 の位置が変化する場合、入力部 130 は、センサ 10 やセンサ 10 を搭載した装置から、変化後のセンサ 10 の位置の入力を受け付けてもよい。また、入力部 130 は、現在の方位など、現在のセンサ 10 の状況を示す情報の入力を、センサ 10 から直接受け付けてもよく、記憶部 120 に記憶された情報から取得して受け付けてもよい。なお、入力部 130 が、後述するセンサ制御最適化部 150 に含まれていてもよい。

【0031】

目標座標推測部 140 は、現時点  $t$  における移動物体の位置 (すなわち、現在目標座標) を推測する。目標座標推測部 140 が現在目標座標を推測する方法は任意である。目標座標推測部 140 は、例えば、各移動物体に対する複数回の観測に基づいて、移動物体の速度を特定し、特定された速度と観測された移動物体の位置とに基づいて、その移動物体の現在目標座標を推測してもよい。

【0032】

例えば、時点  $t_a$  における移動物体の位置を  $P_a$ 、速度を  $V_a$  とする。このとき、目標座標推測部 140 は、時点  $t_b$  における移動物体の位置  $P_b$  を、 $P_b = P_a + V_a * (t_b - t_a)$  と推測してもよい。さらに、目標座標推測部 140 は、各移動物体に対する複数回の観測に基づいて、移動物体の加速度を特定し、特定された加速度も加味して、移動物体の位置を推測してもよい。

【0033】

センサ制御最適化部 150 は、移動物体の捕捉に割り当てるセンサを決定する処理を行う。そのため、センサ制御最適化部 150 を実装する装置を、割り当て決定装置とすることができる。すなわち、センサ制御最適化部 150 が、単体の装置として実現されていてもよい。センサ制御最適化部 150 は、イジングモデルデータ構築部 151 と、アニーリング処理部 152 とを含む。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、センサ 1 0 の状態を示す情報および移動物体の位置を示す情報を取得する。具体的には、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、捕捉時点  $t$  におけるセンサ 1 0 の位置および方位を示す情報、並びに、移動物体の位置を示す情報の入力を受け付ける。捕捉時点  $t$  における移動物体の位置を示す情報は、例えば、現在目標座標である。

## 【 0 0 3 5 】

イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、記憶部 1 2 0 に記憶されたセンサ座標・諸元データベース 1 2 1 および現在目標座標データベース 1 2 2 から、センサ 1 0 の位置および方位を示す情報、並びに、移動物体の位置を示す情報を取得してもよい。また、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、目標座標推測部 1 4 0 から現在目標座標を取得してもよく、センサ 1 0 から、センサ 1 0 の位置および方位を示す情報を直接取得してもよい。

10

## 【 0 0 3 6 】

次に、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、センサ 1 0 の位置およびセンサ 1 0 の向く方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサ 1 0 が捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータ(以下、単にモデルと記すこともある。)を構築する。

## 【 0 0 3 7 】

まず、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、センサ 1 0 の位置および方位、並びに、移動物体の位置の関係から、捕捉できない移動物体の集合を導出する。以下、各センサ 1 0 を  $n$ 、センサ 1 0 の方位を  $d$ 、移動物体を  $i$  で記す。また、捕捉できない移動物体の集合のことを  $T_{n, d}$  ( $T$  は、上付きバーを示す。)と記すこともある。

20

## 【 0 0 3 8 】

本実施形態では、各センサ 1 0 について、そのセンサ自身の位置および姿勢を基準として、捕捉可能な範囲が予め定められているものとする。捕捉可能な範囲は、距離および方位に対して定められる。例えば、捕捉可能な範囲として、センサからの距離が  $r_1$  [m] 以上、 $r_2$  [m] 以下の範囲、センサ 1 0 の正面方向を基準の方向 0 度として、 $\theta_1$  [度] 以上  $\theta_2$  [度] 以下 ( $\theta_1, \theta_2 > 0$ ) の範囲、などと定められる。

## 【 0 0 3 9 】

この場合、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、捕捉可能な範囲を示す情報およびセンサ 1 0 の位置に基づいて、センサ 1 0 が取り得る姿勢ごとに、センサ 1 0 の捕捉範囲を特定する。そして、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、捕捉対象とする移動物体のうち、特定した捕捉範囲に含まれない移動物体を特定して、捕捉できない移動物体の集合を導出する。

30

## 【 0 0 4 0 】

図 3 は、捕捉できない移動物体の集合を導出する方法の例を示す説明図である。図 3 に示す例では、捕捉対象とする移動物体が移動物体 2 0 a ~ 2 0 g まで存在し、センサ 1 0 の方位  $d$  に対し領域 4 0 が捕捉可能な範囲であるとする。このとき、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、領域 4 0 の範囲内に存在しない移動物体 2 0 a、移動物体 2 0 b、移動物体 2 0 d および移動物体 2 0 g を捕捉できない移動物体と特定し、これらの集合を捕捉できない移動物体の集合として導出する。

40

## 【 0 0 4 1 】

次に、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、各センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築する。なお、本実施形態では、イジングモデルデータに変換可能な Q U B O 形式でモデル化した最適化問題を例示する。

## 【 0 0 4 2 】

図 4 および図 5 は、Q U B O 形式の数式に用いられる変数の例を示す説明図である。図 4 に示すように、 $n$  番目のセンサが方位  $d$  を向いている、または、向いていないことを示す変数(すなわち、センサの姿勢を表わす変数)を  $s_{n, d} \in \{0, 1\}$  と表わす。 $s_{n, d}$

50

$d$  の値が 1 のとき、 $n$  番目のセンサが方位  $d$  を向いていることを示し、 $s_{n,d}$  の値が 0 のとき、 $n$  番目のセンサが方位  $d$  を向いていないことを示す。

【0043】

また、図 5 に示すように、 $n$  番目のセンサが移動物体 を捕捉する、または、捕捉しないことを示す変数を  $x_{n,d}$ 、 $\{0, 1\}$  と表わす。 $x_{n,d}$  の値が 1 のとき、 $n$  番目のセンサが移動物体 を捕捉することを示し、 $x_{n,d}$  の値が 0 のとき、 $n$  番目のセンサが移動物体 を捕捉しないことを示す。

【0044】

本実施形態では、イジングモデルデータ構築部 151 は、少なくとも、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、各センサに割り当てられない移動物体の数を最小化する（すなわち、各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する）目的関数を QUBO 形式で表わしたモデル（数式）を構築する。上述する上限は、例えば、センサ 10 が移動物体の捕捉に利用可能なリソース（捕捉できる移動物体の最大数）である。捕捉漏れ数を最小化する目的関数は、以下に示す式 1 で表わされる。

【0045】

【数 1】

$$\text{minimize } \sum_{\alpha=1}^{T_{num}} \left( 1 + \sum_{n=1}^{S_{num}-1} z_{n,\alpha} - \sum_{n=1}^{S_{num}} x_{n,\alpha} \right)^2 \quad (\text{式 1})$$

10

20

【0046】

式 1 において、 $T_{num}$  は、移動物体の数であり、 $S_{num}$  は、センサの数である。また、 $z_{n,\alpha}$  は、0 からセンサの数のうちのいずれかを表わすための補助変数である。これにより、式 1 における括弧内の値は、移動物体に対して捕捉するセンサの数が 1 から  $S_{num}$  個の場合に 0 になり、0 個の場合に 1 になる。

【0047】

なお、1 つの移動物体を大量のセンサで捕捉するのは効率が悪いと考えられることから、1 つの移動物体を捕捉するセンサの数を 1 または 2 に制限してもよい。この場合、捕捉漏れ数を最小化する目的関数は、以下に示す式 2 で表わすことが可能であり、補助変数  $z$  を用いる必要がなくなるというメリットもある。

【0048】

【数 2】

$$\text{minimize } \sum_{\alpha=1}^{T_{num}} \left[ \left( 1.5 - \sum_{n=1}^{S_{num}} x_{n,\alpha} \right)^2 - 0.25 \right] \quad (\text{式 2})$$

30

40

【0049】

また、本実施形態では、各センサ 10 は 1 つの方位のみ向くことを前提としていることから、各センサ 10 が 1 方位のみ向けることを表わす制約関数は、以下に示す式 3 で表わされる。式 3 において、 $C_1$  は定数を表わし、 $D_{num}$  は、センサが向くことが可能な方位の数を表わす。これは、図 4 において、各センサが 1 方向を向いていることに対応する。

【0050】

【数 3】

50

$$C_1 \sum_{n=1}^{Snum} \left( 1 - \sum_{d=1}^{Dnum} s_{n,d} \right)^2 \quad (\text{式 3})$$

## 【 0 0 5 1 】

そして、捕捉できない移動物体をセンサに割り当てることは抑制すべきであることから、捕捉できない移動物体をセンサに割り当てることを抑制することを表わす制約関数は、以下に示す式 4 で表わされる。なお、式 4 における  $C_2$  も定数を表わす。  $T_{n,d}$  は、上述するように各センサで捕捉できない移動物体の集合を表わす。この式 4 により、センサの姿勢を表わす変数  $s_{n,d}$  と、センサに対する移動物体の割り当て有無を示す変数  $x_{n,\alpha}$  とを関連付けることが可能になる。

10

## 【 0 0 5 2 】

## 【 数 4 】

$$C_2 \sum_{n=1}^{Snum} \sum_{d=1}^{Tnum} s_{n,d} \sum_{\alpha \in T_{n,d}} x_{n,\alpha} \quad (\text{式 4})$$

20

## 【 0 0 5 3 】

さらに、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないようにすることを表わす制約関数は、以下に示す式 5 で表わされる。式 5 における  $C_3$  は定数を表わし、  $capa$  は、上限を表わす。また、  $y_{n,m}$  は、0 から上限のうちのいずれかの数を表わすための補助変数である。これは、図 5 における表の縦の列方向の総和が、上限以内に抑えられることに対応する。

## 【 0 0 5 4 】

## 【 数 5 】

$$C_3 \sum_{n=1}^{Snum} \left[ \sum_{m=1}^{capa} y_{n,m} - \sum_{\alpha=1}^{Tnum} x_{n,\alpha} \right]^2 \quad (\text{式 5})$$

30

## 【 0 0 5 5 】

イジングモデルデータ構築部 151 は、少なくとも、式 1 または式 2 に示す目的関数と、式 5 に示す制約関数との和により得られるモデルを構築してもよい。これにより、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、各センサに割り当てられない移動物体の数を最小化する目的関数を構築することが可能になる。

## 【 0 0 5 6 】

さらに、上記に示す目的関数に加え、イジングモデルデータ構築部 151 は、式 3 および式 4 に示す制約関数を加算して得られるモデルを構築してもよい。これにより、上記制約に加え、各センサ 10 が 1 方位のみ向けること、および、捕捉できない移動物体をセンサに割り当てることを抑制することを制約とする目的関数を構築することが可能になる。

40

## 【 0 0 5 7 】

他にも、最適化の際、センサの方位が変化する度合いを抑制することが考慮されてもよい。一般に首振り型のセンサは、方位を変更している間はセンシングできないことが多いため、変化が少ない方が効率的に移動物体を捕捉できるからである。センサの方位が変化する度合いを抑制することを表わす制約関数は、以下に示す式 6 で表わされる。式 6 における  $C_4$  は定数を表わし、  $P_{n,d}$  は、前回のセンサ方位からの差分量を示す。

## 【 0 0 5 8 】

50

## 【数 6】

$$H = C_4 \sum_{n=1}^{Snum} \sum_{d=1}^{Dnum} s_{n,d} * P_{n,d} \quad (\text{式 6})$$

## 【0059】

図 6 は、センサ方位の差分量の例を示す説明図である。図 6 に示す例では、前回のセンサ方位からの角度が大きくなるほど、ペナルティの値が大きくなることを示す。

## 【0060】

また、最適化の際、移動物体に割り当てられるセンサが変化する度合いを抑制することが考慮されてもよい。移動物体が移動によりセンサが捕捉できる領域から外れてしまう場合、他のセンサに割り当てを切替える必要があるが、この切替（ハンドオーバ）中はセンシングできないことが多いため、切替が少ない方が効率的に移動物体を捕捉できるからである。

## 【0061】

移動物体に割り当てられるセンサが変化する度合いを抑制することを表わす制約関数は、以下に示す式 7 で表わされる。式 7 における  $C_5$  および  $C_6$  は定数を表わし、 $px_{n,\alpha}$  は、前回センサ  $n$  に対する移動物体 の割り当て有無を示す  $x$  の値である。また、 $DB_{n,\alpha}$  は、センサ  $n$  が移動物体 を継続して捕捉可能な予測時間（以下、追尾継続時間と記す。）を表わす。

## 【0062】

## 【数 7】

$$H = C_5 \sum_{n=1}^{Snum} \sum_{\alpha=1}^{Tnum} (px_{n,\alpha} - x_{n,\alpha})^2 + C_6 \sum_{\alpha=1}^{Tnum} \left[ - \sum_{n=1}^{Snum} (x_{n,\alpha} * DB_{n,\alpha}) \right] \quad (\text{式 7})$$

## 【0063】

追尾継続時間は、将来の複数の時点それぞれについて、その時点における移動物体 の位置を推定し、その推定された位置の移動物体 をセンサ  $n$  で捕捉可能であるか否かを判定することにより算出される。例えば、センサ 10 の姿勢の制御が 1 秒ごとに行われるとする。また、1 秒後から  $t$  秒後のそれぞれについて推定された位置の移動物体 がいずれも、センサ  $n$  によって捕捉可能な位置にあるとする。さらに、 $t + 1$  秒後について推定された位置の移動物体 は、センサ 10 が捕捉できない位置にあるとする。この場合、 $DB_{n,\alpha} = t$  になる。

## 【0064】

図 7 は、移動物体に割り当てられるセンサが変化する状況を示す説明図である。図 7 に示す例では、センサ 10 a が移動物体 20 a を捕捉し、センサ 10 b が移動物体 20 b を捕捉するとする。そして、移動物体 20 a および移動物体 20 b は、それぞれ、図の右下方向に向かって移動しているものとする。

## 【0065】

この場合、時点  $t$  において、領域 41 a および領域 42 a のいずれの範囲でもセンサ 10 a で移動物体 20 a を捕捉することが可能である。同様に、領域 41 b および領域 42 b のいずれの範囲でもセンサ 10 b で移動物体 20 b を捕捉することが可能である。ただし、時点  $t$  において領域 41 a および領域 41 b に対して捕捉を行っていた場合、時点  $t + 2$  において、移動物体 20 a および移動物体 20 b のいずれも、捕捉可能な領域から外れてしまうため、センサの切替や方位の変更を行う必要がある。

## 【0066】

一方、時点  $t$  において領域 42 a および領域 42 b に対して捕捉を行っていた場合、時

10

20

30

40

50

点  $t + 2$  においても、移動物体 20a および移動物体 20b は、捕捉可能な領域内に含まれるため、センサの切替や方位の変更を行う必要がない。そのため、効率的に移動物体を捕捉することが可能になる。

【0067】

さらに、本実施形態では、移動物体の捕捉にセンサの複数のリソース（具体的には、センサによる電波の照射回数）を使用することを許容することで、移動物体を捕捉する精度を向上できるようにする。

【0068】

一般に捕捉しようとする目標の分布は、センサの方位方向に狭く距離方向に広い、いわゆる楕円状にモデル化できる。そのため、別のセンサで移動物体を捕捉することで、楕円の分布が重なるため、誤差範囲が小さくなるというメリットがある。さらに、センサが捕捉に用いる電波の照射回数を増加させると、サンプリング回数が増加するため、位置誤差が小さくなるというメリットもある。

【0069】

そこで、本実施形態では、捕捉漏れ数を最小化しつつ、移動物体の追尾誤差を低減できるようなセンサリソースの組み合わせも最適化するようにする。このような最適化の前提として、各センサ 10 が予め定めた複数のリソースを使用できるものとする。

【0070】

具体的には、本実施形態のイジングモデルデータ構築部 151 は、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対して、捕捉するセンサ数と、各センサが捕捉に用いるリソース数が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を QUBO 形式で表わしたモデル（数式）を構築する。これにより、捕捉漏れ数を最小にしつつ、無駄なリソースが使用されることを抑制できる。

【0071】

例えば、1つの移動物体に対して割り当てるセンサ数の上限が 3、各センサが捕捉に用いるリソース数の上限が 2 であるとする。この場合、捕捉漏れ数を最小化する目的関数は、以下に示す式 8 で表わされる。すなわち、上記に示す式 1 または式 2 を、以下の示す式 8 のように書き換えることが可能である。

【0072】

【数 8】

$$\text{minimize } \sum_{\alpha=1}^{Tnum} \left[ \left( 3 - \sum_{n=1}^{Snum*2} x_{n,\alpha} - x_{dmy1,\alpha} - x_{dmy2,\alpha} \right)^2 \right] \quad (\text{式 8})$$

【0073】

式 8 に示す  $dmy1$  は、第一のダミーセンサを表わし、 $dmy2$  は、第二のダミーセンサを表わす。すなわち、 $x_{dmy1}$  は、第一のダミーセンサ  $dmy1$  が移動物体を捕捉する、または、捕捉しないことを示す変数であり、 $x_{dmy2}$  は、第二のダミーセンサ  $dmy2$  が移動物体を捕捉する、または、捕捉しないことを示す変数である。

【0074】

このダミーセンサは、1つの物体に対して捕捉に用いるセンサ数の上限を超えないように調整するための実在しないセンサである。図 8 は、ダミーセンサを設定してセンサの上限を制限する処理の例を示す説明図である。

【0075】

図 8 に示す例では、各センサが最大で 2 つのリソースを使用できる場合を例示する。また、図 8 の横方向がセンサのリソースを示し、縦方向が移動物体を示す。式 8 に例示する目的関数は、図 8 に例示する表の横方向（例えば、部分 P1）の合計が 1 つの移動物体に対して各センサが捕捉に用いるリソース数の上限に対応する。したがって、例えば、1 つ

10

20

30

40

50

の移動物体に対して割り当てるセンサ数の上限が3、各センサが捕捉に用いるリソース数の上限が2である場合、目的関数を最適化することは、図8に例示する表において、各移動物体を捕捉するセンサ（ダミーセンサDMY1およびDMY2を含む）のリソースの合計（すなわち、各行の合計）が6になるように最適化することを示す。

【0076】

このとき、イジングモデルデータ構築部151は、1つのセンサが同一の移動物体に対してリソース使用量に関する制約を含むモデルを構築してもよい。具体的には、イジングモデルデータ構築部151は、所定数よりも多くのリソースを使用することを抑制する制約を含むイジングモデルデータを構築してもよい。これにより、無駄なリソースが使用されることを抑制することが可能になる。この場合、各センサが1つの移動物体を捕捉する際に用いるリソースが所定数よりも小さくなる必要がある。例えば、1つのセンサが同一の移動物体に対して3以上のリソースを使用しないことを表わす制約関数は、以下に示す式9で表わされる。

【0077】

【数9】

$$\sum_{n=1}^{Snum} \sum_{\alpha=1}^{Tnum} [0.5 - (x_{n*2,\alpha} + x_{n*2+1,\alpha})]^2 - 0.25 \quad (\text{式9})$$

10

20

【0078】

図8に示す例では、式9は、例えば、部分P2において、1つのセンサが1つの移動物体に割り当てるリソースの数が0、1、2のいずれかであることを示す。また、1つの移動物体に対して割り当てるセンサ数の上限が3、各センサが捕捉に用いるリソース数の上限が2である場合の制約関数は、式8と式9に適切な係数を付けたものの和で表される。

【0079】

なお、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないようにすることを表わす制約関数について、上述する式5を以下の示す式10のように書き換えることが可能である。

【0080】

【数10】

$$C_3 \sum_{n=1}^{Snum} \left[ \sum_{m=1}^{capa} y_{n,m} - \sum_{\alpha=1}^{Tnum} x_{n*2,\alpha} - \sum_{\alpha=1}^{Tnum} 2 * x_{n*2+1,\alpha} \right]^2 \quad (\text{式10})$$

30

【0081】

図8に示す例では、式10は、例えば、部分P3について、1つのセンサが捕捉に使用するリソースの合計が、定められた上限を超えないようにすることに対応する。なお、ダミーセンサは、各センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないように調整するためのセンサであるため、リソースの上限は設けられない。

40

【0082】

ここで、追尾精度は、移動物体が近いほど、または、複数のリソースにより捕捉されるほど高くなり、複数のリソースによる追尾精度向上は、移動物体がセンサから遠いほど高くなることが知られている。さらに、センサの方位により照射される電波同士の角度が直交するほど、追尾精度が高くなることも知られている。

【0083】

そこで、本実施形態では、移動物体を捕捉するセンサのリソース数と移動物体の距離、および、センサ間の方位に応じた追尾精度を示す値（以下、精度ポイントと記す。）を定

50

義しておき、この値が最適化処理に用いられてもよい。

【0084】

図9は、センサのリソース数と移動物体の距離に応じて算出される精度ポイントの例を示す説明図である。図9に示す例は、一つのセンサが消費するリソース数が1または2であり、距離も2つの区分(所定の距離よりも近い、または、遠い)に分けて定義される精度ポイントの例である。図9では、追尾精度が、移動物体が近いほど高くなり、また、2つのリソースにより捕捉されると高くなることを示す。

【0085】

なお、精度ポイントの値は例示である。また、リソースの数も2つに限定されず、距離の区分も2つに限定されない。また、精度ポイントが、図9に例示するような表形式ではなく、リソース数と距離との関係を示す関数で定義されていてもよい。

10

【0086】

また、センサ間の方位に応じた追尾精度は、電波同士の角度が直交しているときに効果が最大になる。そこで、センサのリソース数と移動物体の距離に応じて算出される精度ポイントを基礎ポイント $a_{ps}$ としたとき、2つのセンサ $s_1$ およびセンサ $s_2$ で移動物体を捕捉する場合、センサ間の方位を考慮した精度ポイントは、例えば、以下に例示する式11で計算される。

【0087】

$$\text{精度ポイント} = (a_{ps1} + a_{ps2}) * (1 + \sin(\theta_{s1s2})) \quad (\text{式11})$$

【0088】

式11において、 $a_{ps1}$ および $a_{ps2}$ はそれぞれ、センサ $s_1$ およびセンサ $s_2$ の基礎ポイントを示し、 $\theta_{s1s2}$ は、センサ $s_1$ からの電波とセンサ $s_2$ からの電波が成す角度を示す。式11に例示する精度ポイントは、 $\theta_{s1s2}$ が直角のときに最大になる。

20

【0089】

また、3つのセンサ $s_1$ 、センサ $s_2$ およびセンサ $s_3$ で移動物体を捕捉する場合、センサ間の方位を考慮した精度ポイントは、例えば、以下に例示する式12で計算される。

【0090】

$$\text{精度ポイント} = (a_{ps1} + a_{ps2} + a_{ps3}) * (1 + 0.5 * (\sin(\theta_{s1s2}) + \sin(\theta_{s2s3}) + \sin(\theta_{s1s3})))$$

30

(式12)

【0091】

式12において、 $a_{ps1}$ 、 $a_{ps2}$ および $a_{ps3}$ はそれぞれ、センサ $s_1$ 、センサ $s_2$ およびセンサ $s_3$ の基礎ポイントを示す。また、 $\theta_{s1s2}$ は、センサ $s_1$ からの電波とセンサ $s_2$ からの電波が成す角度を示し、 $\theta_{s2s3}$ は、センサ $s_2$ からの電波とセンサ $s_3$ からの電波が成す角度を示し、 $\theta_{s1s3}$ は、センサ $s_1$ からの電波とセンサ $s_3$ からの電波が成す角度を示す。式12に例示する精度ポイントは、各角度が120度のときに最大になる。

【0092】

なお、上記例では、センサの数が2つまたは3つの場合を例示したが、4つ以上の場合も同様である。

40

【0093】

そこで、イジングモデルデータ構築部151は、複数のリソースにより捕捉されるほど高くなり、移動物体が近いほど高くなる追尾精度を示す値として算出される精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むモデルを構築してもよい。さらに、イジングモデルデータ構築部151は、センサの方位により照射される電波同士の角度が直交するほど高くなるように定義された追尾精度を示す精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むモデルを構築してもよい。

【0094】

また、精度ポイントが、上記の追尾精度を両方考慮した値(すなわち、複数のリソース

50

により捕捉されるほど高くなり、移動物体が近いほど高くなる追尾精度であって、さらに、センサの方位により照射される電波同士の角度が直交するほど高くなるように定義された追尾精度を示す値)として定義されていてもよい。

【0095】

例えば、1つの移動物体に対して各センサが捕捉に用いるリソース数の上限が3である場合、精度ポイントの総和がより大きくなるようにする目的関数は、以下に示す式13で表わされる。なお、式13において、 $s_2$ は $s_1$ 以外であり、第一のダミーセンサ $dm_y1$ を含む。また、 $s_3$ は、 $s_1$ および $s_2$ 以外であり、第一のダミーセンサ $dm_y1$ および第二のダミーセンサ $dm_y2$ を含む。

【0096】

【数11】

$$-C_7 \sum_t \sum_{s1} \sum_{s2} \sum_{s3} x_{s1,t} x_{s2,t} x_{s3,t} AP_{s1,s2,s3} \quad (\text{式13})$$

【0097】

以上、精度ポイントを用いて、追尾精度が高くなるように最適化する方法を説明した。さらに、本実施形態では、優先的に捕捉すべき移動物体を考慮して割り当てを最適化する方法を説明する。

【0098】

複数の移動物体の中には、センサでなるべく長期間捕捉したい移動物体が存在する場合がある。以下、そのような移動物体のことを重要ターゲットと記す。さらに、他のセンサと比較して、重要ターゲットを捕捉すべきセンサとして予め定められたセンサを重要センサと記す。重要センサは、例えば、他のセンサよりも追尾精度や性能が高いセンサである。

【0099】

図10は、重要ターゲットを優先的に捕捉する処理の例を示す説明図である。図10に示す例では、センサ10が捕捉可能な領域に4つの移動物体20が含まれており、星印の移動物体20が重要ターゲットであるとする。この場合、重要ターゲットを優先して捕捉すべきことから、2つの星印の移動物体20が重要ターゲットとして選択されたことを示す。

【0100】

図11は、重要センサを用いた処理の例を示す説明図である。図11に示す例では、センサ10xが重要センサであり、センサ10yが通常のセンサであるとする。また、図11に示す例では、センサ10xおよびセンサ10yのいずれもが捕捉可能な領域に4つの移動物体20が含まれており、星印の移動物体20が重要ターゲットであるとする。

【0101】

この場合、重要センサであるセンサ10xが重要ターゲットを優先して捕捉すべきことから、重要ターゲットである2つの星印の移動物体20をセンサ10xに割り当て、残りの二つの移動物体20をセンサ10yに割り当てたことを示す。

【0102】

このような最適化を実現するため、イジングモデルデータ構築部151は、優先的に捕捉すべき移動物体(すなわち、重要ターゲット)について、センサに優先的に割り当てられるようにするため、重要ターゲットがセンサに割り当てられるほど目的関数の値を低減させる重み付けがされた数式を目的関数に含むモデルを構築してもよい。

【0103】

重要ターゲットがセンサに優先的に割り当てられる効果を有する重み付けがされた数式を含む目的関数は、例えば、上記に示す式2の括弧内の式を、重要ターゲットの場合に以下に示す式14の数式に変更されたものになる。

【0104】

【数12】

10

20

30

40

50

$$(1 + C_{target}) \times \left[ \left( 1.5 - \sum_{n=1}^{Snum} x_{n,\alpha} \right)^2 - 0.25 \right] \quad (\text{式 1 4})$$

## 【 0 1 0 5 】

C<sub>target</sub>は、重要ターゲットを優先して割り当てる程度に応じて、管理者等により予め定められる定数である。なお、重要ターゲットの場合、式 1 4 と同様に上記に示す式 1 の括弧内の式を、( 1 + C<sub>target</sub> ) を重み付けした式に変更してもよい。

10

## 【 0 1 0 6 】

さらに、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、優先的に捕捉すべき移動物体（すなわち、重要ターゲット）を重要センサに割り当てるようにするため、重要センサに重要ターゲットが割り当てられたときに目的関数の値を低減させる効果を有する数式を目的関数に含むモデルを構築してもよい。

## 【 0 1 0 7 】

重要ターゲットが重要センサに優先的に割り当てられる効果を有する数式を含む目的関数は、例えば、上記に示す式 2 の括弧内の数式に対し、重要ターゲットの場合に以下に示す式 1 5 の数式を加えたものになる。

## 【 0 1 0 8 】

## 【 数 1 3 】

$$- \sum_{n \in S_{important}} C_{sensor} C_{target} x_{n,\alpha} \quad (\text{式 1 5})$$

20

## 【 0 1 0 9 】

C<sub>sensor</sub>は、重要センサに重要ターゲットを割り当てたときに与えるインセンティブの程度に応じて、管理者等により予め定められる定数である。なお、式 1 の場合も式 2 の場合と同様に、式 1 のターゲットに関する和を取る部分の数式に対し、重要ターゲットの場合に式 1 5 の数式を加えてもよい。

30

## 【 0 1 1 0 】

なお、上記説明では、C<sub>target</sub>およびC<sub>sensor</sub>が定数である場合を例示した。ただし、C<sub>target</sub>およびC<sub>sensor</sub>が固定である必要はなく、移動物体に対して固定的または連続的に変化する値であってもよい。C<sub>target</sub>およびC<sub>sensor</sub>を連続的に変化させることで、優先度も連続的に変化させることが可能になる。

## 【 0 1 1 1 】

以上、モデルを構築する際に用いられる目的関数および制約を説明したが、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、規定したい制約等に応じて、上述する任意のイジングモデル（ハミルトニアン）を加算してモデルを構築すればよい。

40

## 【 0 1 1 2 】

アニーリング処理部 1 5 2 は、モデル化された最適化問題（すなわち、イジングモデルデータ）をアニーリングマシン 2 0 0 にマッピングして、最適解を取得する。これにより、アニーリング処理部 1 5 2 は、センサ 1 0 に割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する。なお、イジングモデルをアニーリングマシンにマッピングして解を取得する方法は広く知られているため、詳細な説明は省略する。

## 【 0 1 1 3 】

センサ制御部 1 6 0 は、センサ制御最適化部 1 5 0 による最適化結果（実行結果）に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサ 1 0 を制御する。具体的には、センサ制御部 1 6 0 は、センサ 1 0 に割り当てられた移動物体を捕捉できるように、セン

50

サ 1 0 の方位を変更する。なお、センサ 1 0 の制御方法は広く知られており、ここでは詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 4 】

新規ターゲット検出部 1 7 0 は、新たな移動物体の検出を行う。例えば、センサ制御システム 1 が新たな移動物体の検出を行うためのセンサ（図示せず、以下、新規検出センサと記す。）を備えている場合、新規ターゲット検出部 1 7 0 は、新規検出センサによる検出結果を取得してもよい。新規検出センサは、例えば、新たな移動物体の有無について捕捉空間を網羅的に捕捉できるように設置されればよい。

【 0 1 1 5 】

また、新規検出センサを用いずに、既存のセンサ 1 0 に、新たな移動物体を検出する役割を与えてもよい。具体的には、複数のセンサ 1 0 のうちの少なくとも 1 つ以上のセンサを、捕捉空間と捕捉空間外との境界を捕捉できる位置に設置し、新規ターゲット検出部 1 7 0 は、その境界を跨ぐ移動物体が検出されたときに、その移動物体を新たな移動物体として検出してもよい。以降、新規ターゲット検出部 1 7 0 によって検出された新たな移動物体が捕捉対象に加えられる。

10

【 0 1 1 6 】

出力部 1 8 0 は、アニーリングマシン 2 0 0 による実行結果を出力する。出力部 1 8 0 は、例えば、各センサと、各センサに捕捉対象として割り当てた移動物体とを、それぞれの位置および方位に応じて、図 3 に例示するような態様で表示してもよい。すなわち、出力部 1 8 0 は、各センサの位置および方位、並びに、その状態に応じて各センサが捕捉可能な領域と、各センサに捕捉対象として割り当てた移動物体とを対応付けて表示してもよい。他にも、出力部 1 8 0 は、例えば、最適化結果を示すログを出力してもよい。

20

【 0 1 1 7 】

装置制御部 1 1 0 と、入力部 1 3 0 と、目標座標推測部 1 4 0 と、センサ制御最適化部 1 5 0（より詳しくは、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 と、アニーリング処理部 1 5 2）と、センサ制御部 1 6 0 と、新規ターゲット検出部 1 7 0 と、出力部 1 8 0 とは、プログラム（センサ制御プログラム）に従って動作するコンピュータのプロセッサ（例えば、CPU（Central Processing Unit））によって実現される。

【 0 1 1 8 】

例えば、プログラムは、センサ制御装置 1 0 0 の記憶部 1 2 0 に記憶され、プロセッサは、そのプログラムを読み込み、プログラムに従って、装置制御部 1 1 0、入力部 1 3 0、目標座標推測部 1 4 0、センサ制御最適化部 1 5 0（より詳しくは、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 およびアニーリング処理部 1 5 2）、センサ制御部 1 6 0、新規ターゲット検出部 1 7 0 および出力部 1 8 0 として動作してもよい。また、センサ制御装置 1 0 0 の機能が S a a S（Software as a Service）形式で提供されてもよい。

30

【 0 1 1 9 】

また、装置制御部 1 1 0 と、入力部 1 3 0 と、目標座標推測部 1 4 0 と、センサ制御最適化部 1 5 0（より詳しくは、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 と、アニーリング処理部 1 5 2）と、センサ制御部 1 6 0 と、新規ターゲット検出部 1 7 0 と、出力部 1 8 0 とは、それぞれが専用のハードウェアで実現されていてもよい。また、各装置の各構成要素の一部又は全部は、汎用又は専用の回路（circuitry）、プロセッサ等やこれらの組合せによって実現されてもよい。これらは、単一のチップによって構成されてもよいし、バスを介して接続される複数のチップによって構成されてもよい。各装置の各構成要素の一部又は全部は、上述した回路等とプログラムとの組合せによって実現されてもよい。

40

【 0 1 2 0 】

また、センサ制御装置 1 0 0 の各構成要素の一部又は全部が複数の情報処理装置や回路等により実現される場合には、複数の情報処理装置や回路等は、集中配置されてもよいし、分散配置されてもよい。例えば、情報処理装置や回路等は、クライアントサーバシステム、クラウドコンピューティングシステム等、各々が通信ネットワークを介して接続される形態として実現されてもよい。

50

## 【 0 1 2 1 】

次に、本実施形態の動作を説明する。図 1 2 は、センサ制御システム 1 の動作例を示すフローチャートである。入力部 1 3 0 は、センサ 1 0 の位置およびセンサ 1 0 の方位、並びに、移動物体の位置の入力を受け付ける（ステップ S 1 1）。イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、入力された情報の関係から、センサ 1 0 が捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築する（ステップ S 1 2）。イジングモデルデータ構築部 1 5 1 は、イジングモデルデータをアニメーリングマシン 2 0 0 にマッピングして、センサ 1 0 に割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する（ステップ S 1 3）。そして、センサ制御部 1 6 0 は、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサ 1 0 を制御する（ステップ S 1 4）。

10

## 【 0 1 2 2 】

以上のように、本実施形態では、入力部 1 3 0 が、センサ 1 0 の位置および方位、並びに、移動物体の位置の入力を受け付け、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 が、センサ 1 0 の位置および方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサ 1 0 が捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築する。そして、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 が、イジングモデルデータをアニメーリングマシン 2 0 0 にマッピングして、センサ 1 0 に割り当てる移動物体を示す実行結果を取得し、センサ制御部 1 6 0 が、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサ 1 0 を制御する。よって、複数の移動物体を捕捉する複数のセンサを現実的な時間で制御できる。

20

## 【 0 1 2 3 】

なお、上記実施形態では、本実施形態のセンサ制御システム 1 が移動物体である飛来物（例えば、ミサイルやドローンなど）を捕捉する場合を例示した。他にも、本実施形態のセンサ制御システム 1 を、例えば、マラソンランナーの現在位置の捕捉にも利用できる。

## 【 0 1 2 4 】

図 1 3 は、本実施形態のセンサ制御システムを、マラソンランナーの現在位置の捕捉に適用した例を示す説明図である。図 1 3 に示す例は、沿道にカメラ 1 0 p を設置して、移動物体 2 0 であるランナーを捕捉している状況を示す。また、図 1 3 に示す例では、捕捉したランナーのゼッケン番号や順位、氏名などを表示していることを示す。

## 【 0 1 2 5 】

一般に、マラソン大会のタイム計測は、コース上に受信機を設置し、各ランナーの固有の識別情報を割り振った計測チップ（例えば、RS タグ（Runners SporTag））をランナーに保持させることで行われる。しかし、計測チップへのランナー情報の登録は手間がかかり、さらに、ランナーにその計測チップを配布して保持させることも煩雑になる。

30

## 【 0 1 2 6 】

このような問題を解決するため、複数のカメラで顔認証等によりランナーを捕捉する方法が考えられる。しかし、顔認証処理の処理能力等により、各カメラで撮影可能なランナーの数は制限されている。また、動画の品質を維持するため、撮影するカメラのパン動作を最小にすることが好ましい。さらに、認証処理の煩雑さを軽減するため、ハンドオーバ（カメラ間でのランナーの引継ぎ）処理も低減できることが好ましい。

40

## 【 0 1 2 7 】

これらの課題に対し、本実施形態のセンサ制御システム 1 を適用可能である。具体的には、イジングモデルデータ構築部 1 5 1 が、センサであるカメラに対して割り当てるランナーの数が定められた上限を超えないことを制約とし、各カメラに割り当てられるランナーの捕捉漏れ数を最小化するモデルを構築すればよい。

## 【 0 1 2 8 】

さらに、上記式 6 に示す制約関数を考慮することで、カメラの方位が変化する度合いを抑制する制約を加えることができ、上記式 7 に示す制約関数を考慮することで、ランナーに割り当てられるカメラが変化する度合いを抑制する制約を加えることも可能になる。

## 【 0 1 2 9 】

50

また、マラソンランナーの現在位置の捕捉だけでなく、競技中のランナーの記念写真の提供サービスにも、本実施形態のセンサ制御システム 1 を適用可能である。具体的には、マラソン大会では、ランナーを撮影するためのカメラが各ポイントに設けられ、後日ランナーに撮影された画像を提供するサービスも存在する。

#### 【0130】

しかし、多数のランナーが参加する大会では、撮影された画像に対するゼッケン等の確認処理をリアルタイムに行うことが難しいため、タイムラグを置いて画像の提供が行われることが一般的である。一方、本実施形態のセンサ制御システム 1 を用いることで、複数のランナーを捕捉する複数のカメラを現実的な時間で制御できるため、競技終了後にリアルタイムで、ランナー個人を識別した画像の提供を実現することが可能になる。

10

#### 【0131】

次に、本発明の概要を説明する。図 14 は、本発明によるセンサ制御システムの概要を示すブロック図である。本発明によるセンサ制御システム 80 は、移動物体（例えば、飛来物、人物や携帯端末など）を捕捉するセンサ（例えば、センサ 10）の位置およびセンサの向く方位、並びに、移動物体の位置（例えば、目標座標位置）の入力を受け付ける入力手段 81（例えば、入力部 130）と、センサの位置およびセンサの向く方位により捕捉可能な領域と移動物体の位置との関係から、センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築手段 82（例えば、イジングモデルデータ構築部 151）と、イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理手段 83（例えば、アニメーリング処理部 152）と、実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するようにセンサを制御する制御手段 84（例えば、センサ制御部 160）とを備えている。

20

#### 【0132】

そのような構成により、複数の移動物体を捕捉する複数のセンサを現実的な時間で制御できる。

#### 【0133】

また、モデル構築手段 82 は、センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数（例えば、上記式 8 および式 10）を表わしたイジングモデルデータを構築してもよい。

30

#### 【0134】

また、モデル構築手段 82 は、1つのセンサが同一の移動物体に対して所定数よりも多くのリソースを使用することを抑制する制約（例えば、上記式 9）を含むイジングモデルデータを構築してもよい。

#### 【0135】

また、モデル構築手段 82 は、複数のリソースにより捕捉されるほど高くなり、移動物体がセンサから近いほど高くなる追尾精度を示す値として算出される精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約（例えば、式 13）を含むイジングモデルデータを構築してもよい。

40

#### 【0136】

また、モデル構築手段 82 は、センサの方位により照射される電波同士の間角が直交するほど高くなるように定義された追尾精度を示す精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約（例えば、式 11、式 12）を含むイジングモデルデータを構築してもよい。

#### 【0137】

また、モデル構築手段 82 は、優先的に捕捉すべき移動物体である重要ターゲットがセンサに割り当てられるほど目的関数の値を低減させる重み付けがされた数式（例えば、式 14）を目的関数を含むイジングモデルデータを構築してもよい。

50

## 【 0 1 3 8 】

また、モデル構築手段 8 2 は、重要ターゲットを捕捉すべきセンサとして予め定められたセンサである重要センサに重要ターゲットが割り当てられたときに目的関数の値を低減させる効果を有する数式（例えば、式 1 5）を目的関数に含むイジングモデルデータを構築してもよい。

## 【 0 1 3 9 】

また、モデル構築手段 8 2 は、制約および目的関数を Q U B O 形式で表わしたモデルデータを構築してもよい。

## 【 0 1 4 0 】

また、センサ制御システム 8 0 は、センサの位置およびそのセンサの向く方位、並びに、移動物体の位置の関係から、捕捉できない移動物体の集合を導出する集合導出手段（例えば、イジングモデルデータ構築部 1 5 1）を備えていてもよい。そして、モデル構築手段 8 2 は、その集合に含まれる移動物体をセンサに割り当ててことを抑制する制約を含むモデルを構築してもよい。

10

## 【 0 1 4 1 】

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。

## 【 0 1 4 2 】

（付記 1）移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力手段と、

20

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てするための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築手段と、

前記イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理手段と、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する制御手段とを備えた

ことを特徴とするセンサ制御システム。

## 【 0 1 4 3 】

（付記 2）モデル構築手段は、センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を表わしたイジングモデルデータを構築する

30

付記 1 記載のセンサ制御システム。

## 【 0 1 4 4 】

（付記 3）モデル構築手段は、1つのセンサが同一の移動物体に対して所定数よりも多くのリソースを使用することを抑制する制約を含むイジングモデルデータを構築する

付記 1 または付記 2 記載のセンサ制御システム。

## 【 0 1 4 5 】

（付記 4）モデル構築手段は、複数のリソースにより捕捉されるほど高くなり、移動物体がセンサから近いほど高くなる追尾精度を示す値として算出される精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むイジングモデルデータを構築する

40

付記 1 から付記 3 のうちのいずれか 1 つに記載のセンサ制御システム。

## 【 0 1 4 6 】

（付記 5）モデル構築手段は、センサの方位により照射される電波同士の角度が直交するほど高くなるように定義された追尾精度を示す精度ポイントの総和がより大きくなるようにすることを制約に含むイジングモデルデータを構築する

付記 4 記載のセンサ制御システム。

## 【 0 1 4 7 】

（付記 6）モデル構築手段は、優先的に捕捉すべき移動物体である重要ターゲットがセン

50

サに割り当てられるほど目的関数の値を低減させる重み付けがされた数式を目的関数に含むイジングモデルデータを構築する

付記 1 から付記 5 のうちのいずれか 1 つに記載のセンサ制御システム。

【 0 1 4 8 】

(付記 7) モデル構築手段は、重要ターゲットを捕捉すべきセンサとして予め定められたセンサである重要センサに重要ターゲットが割り当てられたときに目的関数の値を低減させる効果を有する数式を目的関数に含むイジングモデルデータを構築する

付記 6 記載のセンサ制御システム。

【 0 1 4 9 】

(付記 8) モデル構築手段は、制約および目的関数を Q U B O 形式で表わしたモデルデータを構築する

付記 1 から付記 7 のうちのいずれか 1 つに記載のセンサ制御システム。

【 0 1 5 0 】

(付記 9) センサの位置および当該センサの向く方位、並びに、移動物体の位置の関係から、捕捉できない移動物体の集合を導出する集合導出手段を備え、

モデル構築手段は、前記集合に含まれる移動物体をセンサに割り当てることを抑制する制約を含むモデルを構築する

付記 1 から付記 8 のうちのいずれか 1 つに記載のセンサ制御システム。

【 0 1 5 1 】

(付記 10) 各センサの位置および方位、並びに、センサの状態に応じて各センサが捕捉可能な領域と、各センサに捕捉対象として割り当てた移動物体とを対応付けて表示する出力手段を備えた

付記 1 から付記 9 のうちのいずれか 1 つに記載のセンサ制御システム。

【 0 1 5 2 】

(付記 11) 移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力手段と、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築手段と、

前記イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理手段とを備えた

ことを特徴とする割り当て決定装置。

【 0 1 5 3 】

(付記 12) 移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付け、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築し、

前記イジングモデルデータをアニメーリングマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得し、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する

ことを特徴とするセンサ制御方法。

【 0 1 5 4 】

(付記 13) センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定められた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を表わしたイジングモデルデータを構築する

付記 12 記載のセンサ制御方法。

【 0 1 5 5 】

10

20

30

40

50

(付記14) コンピュータに、

移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力処理、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築処理、

前記イジングモデルデータをアニメーションマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理、および、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する制御処理

を実行させるためのセンサ制御プログラムを記憶する記憶媒体。

【0156】

(付記15) コンピュータに、

モデル構築処理で、センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を表わしたイジングモデルデータを構築させる

ためのセンサ制御プログラムを記憶する付記14記載の記憶媒体。

【0157】

(付記16) コンピュータに、

移動物体を捕捉するセンサの位置および当該センサの向く方位、並びに、前記移動物体の位置の入力を受け付ける入力処理、

前記センサの位置および当該センサの向く方位により捕捉可能な領域と前記移動物体の位置との関係から、前記センサが捕捉対象とする移動物体を最適に割り当てるための最適化問題をモデル化したイジングモデルデータを構築するモデル構築処理、

前記イジングモデルデータをアニメーションマシンにマッピングして、前記センサに割り当てる移動物体を示す実行結果を取得する最適化処理、および、

前記実行結果に基づいて、割り当てられた移動物体を捕捉するように前記センサを制御する制御処理

を実行させるためのセンサ制御プログラム。

【0158】

(付記17) コンピュータに、

モデル構築処理で、センサが捕捉対象とする移動物体の数が定められた上限を超えないことを制約とし、1つの移動物体に対してセンサ全体で捕捉に用いるリソース数の合計が予め定めた上限を超えないように各センサに割り当てられる移動物体の捕捉漏れ数を最小化する目的関数を表わしたイジングモデルデータを構築させる

付記16記載のセンサ制御プログラム。

【符号の説明】

【0159】

10 センサ

20 移動物体

100 センサ制御装置

110 装置制御部

120 記憶部

121 センサ座標・諸元データベース

122 現在目標座標データベース

130 入力部

140 目標座標推測部

150 センサ制御最適化部

151 イジングモデルデータ構築部

10

20

30

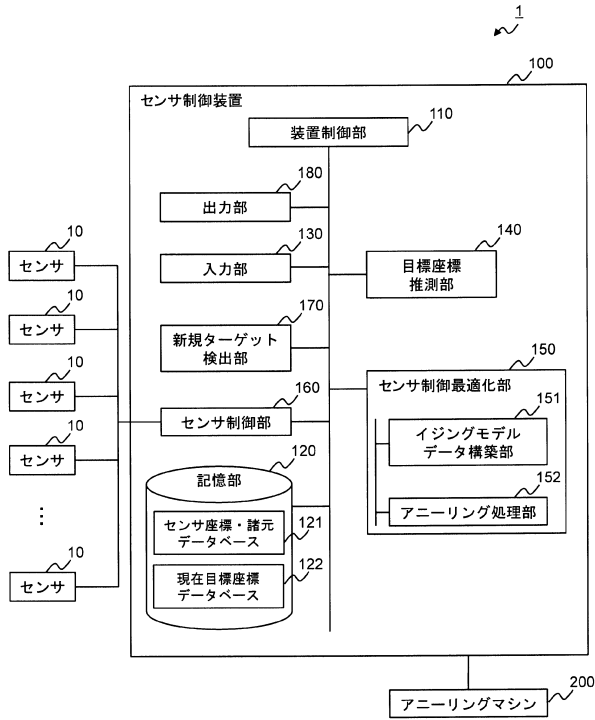
40

50

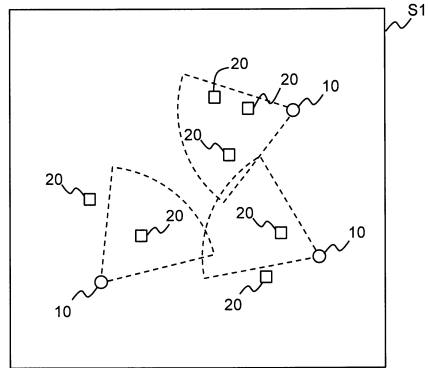
- 152 アニーリング処理部
- 160 センサ制御部
- 170 新規ターゲット検出部
- 180 出力部
- 200 アニーリングマシン

【図面】

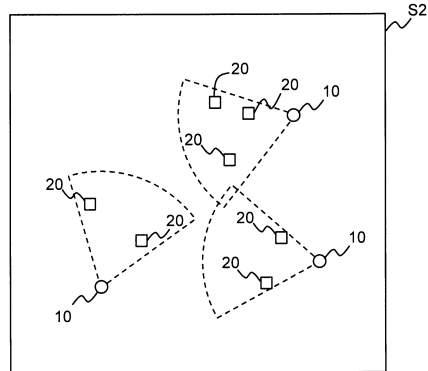
【図 1】



【図 2】



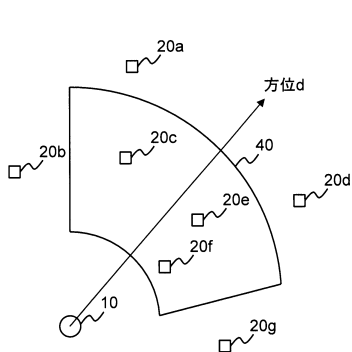
10



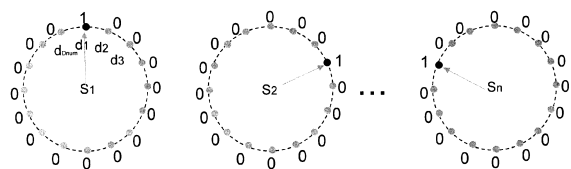
20

30

【図 3】



【図 4】



40

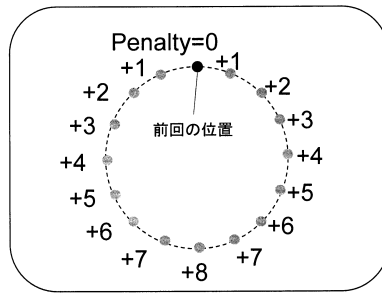
50

【図5】

センサ

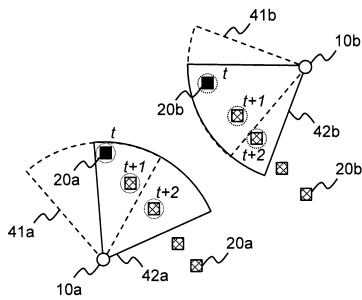
	s1	s2	...	S <sub>Snum</sub>
ターゲット	t1	0	1	0
	t2	1		
	...			
	t <sub>num</sub>	1		

【図6】



10

【図7】



【図8】

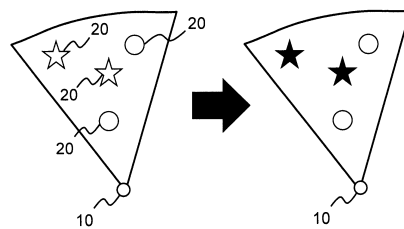
X	S1	S2	S3	S20	DMY1	DMY2
T1	0	0	0	1	0	1
T2	0	1	1	0	0	0
...						
T200	0	0	0	1	0	1

20

【図9】

リソース	1つ	2つ
距離		
近い	2	3
遠い	1	2

【図10】

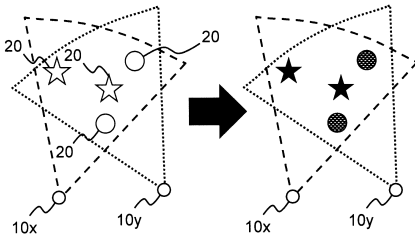


30

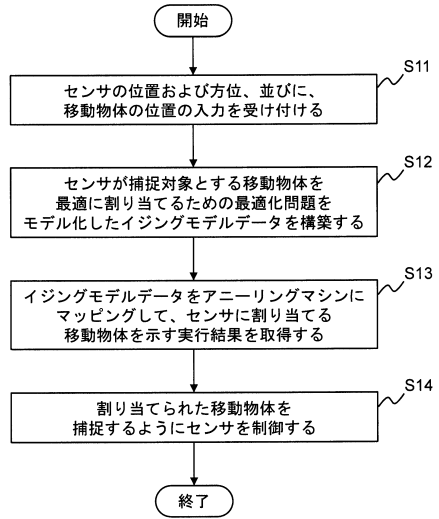
40

50

【図 1 1】

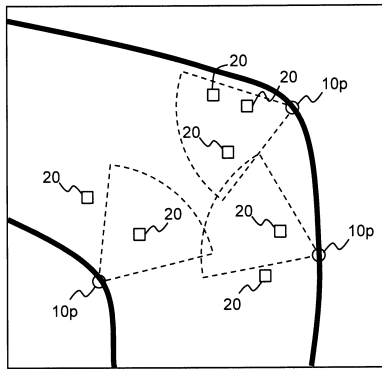


【図 1 2】

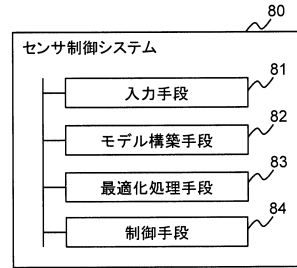


10

【図 1 3】



【図 1 4】



20

順位	ゼッケン番号	氏名	所属
1	1001	〇〇〇〇	××
2	1031	△△△△	▽▽
3	1011	□□□□	××
...	...	...	...

30

40

50

## フロントページの続き

株式会社内

審査官 西畑 智道

- (56)参考文献 特開2001-331892(JP,A)  
特開2010-151820(JP,A)  
特開2017-27261(JP,A)  
米国特許出願公開第2018/0113200(US,A1)  
中国特許出願公開第110930692(CN,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G08G 1/00-99/00  
G01C 21/00-21/36  
G01C 23/00-25/00