

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2020年6月11日(11.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/116211 A1

(51) 国際特許分類:  
G06N 99/00 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/045849

(22) 国際出願日: 2019年11月22日(22.11.2019)

(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 2018-229988 2018年12月7日(07.12.2018) JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 岩田 具治 (IWATA, Tomoharu); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-

1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).  
大塚 琢馬 (OTSUKA, Takuma); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

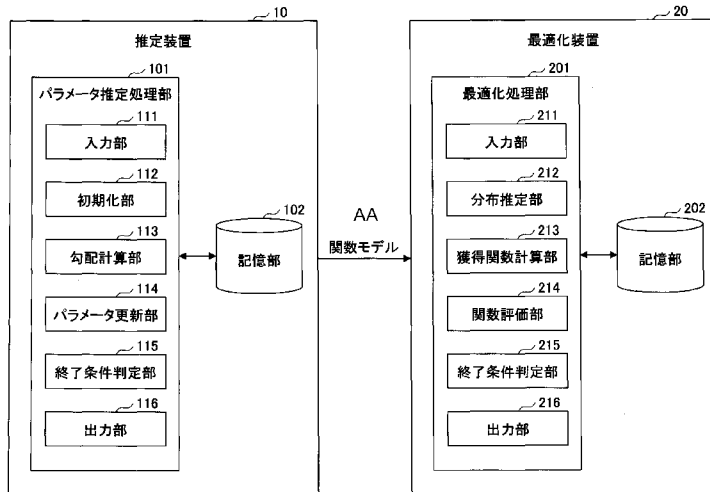
(74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: ESTIMATION DEVICE, OPTIMIZATION DEVICE, ESTIMATION METHOD, OPTIMIZATION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 推定装置、最適化装置、推定方法、最適化方法、及びプログラム

【図1】



10 Estimation device  
20 Optimization device  
101 Parameter estimation processing unit  
102, 202 Storage unit  
111, 211 Input unit  
112 Initialization unit  
113 Gradient calculation unit  
114 Parameter update unit  
115 Ending condition determination unit  
116, 216 Output unit  
201 Optimization processing unit  
212 Distribution estimation unit  
213 Acquisition function calculation unit  
214 Function evaluation unit  
215 Ending condition determination unit  
AA Function model

(57) Abstract: This estimation device has: an input means for receiving an input of data pertaining to a plurality of optimization issues; and an estimation means for estimating a parameter of a function model obtained by modeling a function to become optimized in each of the plurality of optimization issues. In addition, the optimization device has: an input means for receiving an input of the function model obtained by modeling the function to become optimized in each of the plurality of optimization issues; and an optimization means for optimizing a target function by repeatedly evaluating, by using the function model, the target function to become optimized in the optimization issue that is different from each of the plurality of optimization issues.

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,  
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,  
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

---

(57) 要約：推定装置は、複数の最適化問題に関するデータを入力する入力手段と、前記複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルのパラメータを推定する推定手段と、を有することを特徴とする。また、最適化装置は、複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルを入力する入力手段と、前記関数モデルを用いて、前記複数の最適化問題のそれぞれとは異なる最適化問題で最適化対象となる目標関数を繰り返し評価することで、前記目標関数を最適化する最適化手段と、を有することを特徴とする。

## 明 細 書

発明の名称：

推定装置、最適化装置、推定方法、最適化方法、及びプログラム

### 技術分野

[0001] 本発明は、推定装置、最適化装置、推定方法、最適化方法、及びプログラムに関する。

### 背景技術

[0002] 最適化問題とは、或る関数の最大値をとる点又は最小値をとる点を見つける問題である。ここで、複数の関連する最適化問題が与えられる場合がある。例えば、複数のデータセットのそれぞれで最適な機械学習器を見つける問題や、異なる状況のそれぞれで最適な人流の誘導を見つける問題、異なる状況のそれぞれでシミュレータの最適なパラメータを見つける問題等である。

[0003] また、最適化問題を解くための最適化手法の1つとしてベイズ最適化が知られている（例えば非特許文献1参照）。ベイズ最適化とは、形状がわからない関数（ブラックボックス関数）の最大値をとる点又は最小値を取る点を見つけるための最適化手法である。

### 先行技術文献

#### 非特許文献

[0004] 非特許文献1：Jasper Snoek, Hugo Larochelle, and Ryan P. Adams. "Practical Bayesian optimization of machine learning algorithms." Advances in Neural Information Processing Systems. 2012.

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、複数の関連する最適化問題が与えられている場合に、ベイズ最適化では、他の関連する最適化問題の知見を活用することができなかった。言い換えると、或る最適化問題をベイズ最適化により解く場合に、他の最適化問題に関する情報を活用することができなかった。このため、これら

の最適化問題を効率的に解くことができない場合があった。

[0006] 本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、複数の最適化問題を効率的に解くことを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するため、本発明の実施の形態における推定装置は、複数の最適化問題に関するデータを入力する入力手段と、前記複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルのパラメータを推定する推定手段と、を有することを特徴とする。

[0008] また、本発明の実施の形態における最適化装置は、複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルを入力する入力手段と、前記関数モデルを用いて、前記複数の最適化問題のそれぞれとは異なる最適化問題で最適化対象となる目標関数を繰り返し評価することで、前記目標関数を最適化する最適化手段と、を有することを特徴とする。

### 発明の効果

[0009] 複数の最適化問題を効率的に解くことができる。

### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施の形態における推定装置及び最適化装置の機能構成の一例を示す図である。

[図2]本発明の実施の形態における推定装置及び最適化装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図3]本発明の実施の形態におけるパラメータ推定処理の一例を示すフローチャートである。

[図4]本発明の実施の形態における最適化処理の一例を示すフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明の実施の形態について説明する。本発明の実施の形態では、複数の最適化問題が与えられた場合に、これらの最適化問題を効率的に解く

ための推定装置 10 及び最適化装置 20 について説明する。

[0012] 本発明の実施の形態では、D個の最適化問題に関するデータ

[0013] [数1]

$$\{\{\mathbf{x}_{dn}, y_{dn}\}_{n=1}^{N_d}, \mathbf{r}_d\}_{d=1}^D$$

が与えられたとする。以降では、これらD個の最適化問題を「元問題」とも表す。また、元問題の各々を「問題d」（ $d=1, \dots, D$ ）、元問題に関するデータを「元問題データ」とも表す。ここで、

[0014] [数2]

$$\mathbf{x}_{dn} \in \mathbb{R}^M$$

は問題dのn番目の入力ベクトル、

[0015] [数3]

$$y_{dn} = f_d(\mathbf{x}_{dn}) + \epsilon$$

はその出力値、 $f_d(\cdot)$ は問題dで最適化したい関数、 $\epsilon$ は観測ノイズ、 $N_d$ は問題dの観測データ数、

[0016] [数4]

$$\mathbf{r}_d \in \mathbb{R}^S$$

は問題dの特徴量を表す。なお、以降では、便宜上、明細書のテキストでは、ベクトルを太字ではなく、通常の手体で表す。例えば、上記の数4に示す特徴量は、明細書のテキストでは「 $r_d$ 」と表す。

[0017] このとき、元問題の各々とは異なる最適化問題（この最適化問題を「目標問題d\*」とも表す。）の特徴量 $r_{d*}$ が与えられた場合に、ベイズ最適化の枠組みに基づいて、より少ない評価回数で、目標問題d\*の関数 $f_{d*}(x)$ の最大値を求めること、すなわち、この最大値を取る点（ベクトル）

[0018] [数5]

$$\operatorname{argmax}_{\mathbf{x}} f_{d*}(\mathbf{x})$$

を求めることである。なお、以降では、ベイズ最適化の枠組みにおいて評価対象となる関数（つまり、上記の関数 $f_{d*}$ ）を「目標関数」と表す。

[0019] 本発明の実施の形態では、元問題データを用いて、最適化したい関数 $f_d$ のモデル（以降、「関数モデル」とも表す。）のパラメータを推定装置10により推定する。そして、このパラメータを設定した関数モデルを用いて、ベイズ推定の枠組みに基づき、目標問題を最適化装置20により最適化する。これにより、より少ない評価回数で目標問題を最適化することができ、元問題及び目標問題、すなわち複数の最適化問題を効率的に解くことができる。

[0020] なお、本発明の実施の形態では、主に、最適化問題の特徴量（上記の $r_d$ や $r_{d*}$ ）が与えられる場合について説明するが、特徴量は与えられないこともある。また、本発明の実施の形態では、元問題が与えられている状況で目標問題を最適化する場合について説明するが、例えば、与えられた複数の最適化問題を同時に最適化する場合についても同様に適用することができる。

[0021] また、本発明の実施の形態では、目標関数 $f_{d*}$ の最大値を求める場合（つまり、目標問題が最大化問題である場合）について説明するが、目標関数 $f_{d*}$ の最小値を求める場合（つまり、目標問題が最小化問題である場合）について

も同様に適用することができる。

[0022] <推定装置 10 及び最適化装置 20 の機能構成>

まず、本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 の機能構成について、図 1 を参照しながら説明する。図 1 は、本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 の機能構成の一例を示す図である。

[0023] 《推定装置 10》

図 1 に示すように、本発明の実施の形態における推定装置 10 は、パラメータ推定処理部 101 と、記憶部 102 とを有する。

[0024] パラメータ推定処理部 101 は、関数モデルのパラメータを推定するための処理（以降、「パラメータ推定処理」とも表す。）を実行する。記憶部 102 は、パラメータ推定処理に用いられる各種データ（例えば、元問題データ等）やパラメータ推定処理の処理結果（例えば、関数モデルのパラメータ等）を記憶する。

[0025] ここで、パラメータ推定処理部 101 は、各問題  $d$  の関数  $f_d(\cdot)$  をそれぞれ以下の式（1）に示すニューラルガウス過程でモデル化する（つまり、以下の式（1）に示すニューラルガウス過程を関数モデルとする。）。

[0026] [数6]

$$f_d(\mathbf{x}) \sim \mathcal{GP}\left(m(\mathbf{x}, \mathbf{r}_d; \xi), k(g(\mathbf{x}, \mathbf{r}_d; \psi), g(\mathbf{x}', \mathbf{r}_d; \psi); \theta)\right) \quad (1)$$

ここで、

[0027] [数7]

$$\mathcal{GP}(m, k)$$

は平均関数 $m$ 、カーネル関数 $k$ のガウス過程、 $m(\cdot; \xi)$ はパラメータ $\xi$ を持つニューラルネットワークで定義される平均関数、 $k(\cdot, \cdot; \theta)$ はパラメータ $\theta$ を持つカーネル関数、 $g(\cdot; \phi)$ はパラメータ $\phi$ を持つニューラルネットワークを表す。パラメータ $\xi$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ はそれぞれベクトルで表現され、全ての問題 $d$ の間で共有される。なお、ガウス過程の代わりに、例えば、スチューデント $t$ 過程等、関数を生成する任意のモデルを利用してもよい。

[0028] ニューラルネットワークとしては、例えば、フィードフォワード型、畳み込み型、再帰型等、任意のニューラルネットワークを利用することができる。また、ニューラルネットワークの代わりに、他のモデルが用いられてもよい。

[0029] このとき、パラメータ推定処理部101は、上記の式(1)に示す関数モデルによって元問題データが説明できるようにパラメータ $\xi$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ を推定する。パラメータ推定処理部101は、例えば、以下の式(2)に示す尤度を目的関数として、この目的関数を最大することによってパラメータ $\xi$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ を推定する。

[0030] [数8]

$$L(\xi, \psi, \theta, \beta) = -\frac{1}{2} \sum_{d=1}^D \left( N_d \log 2\pi + \log |\mathbf{K}_d + \beta \mathbf{I}| + (\mathbf{y}_d - \mathbf{m}_d)^\top (\mathbf{K}_d + \beta \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{y}_d - \mathbf{m}_d) \right) \quad (2)$$

ここで、

[0031] [数9]

$$\mathbf{y}_d = (y_{dn})_{n=1}^{N_d}$$

は問題 $d$ の $N_d$ 次元の出力値のベクトル、

[0032] [数10]

$$\mathbf{m}_d = (m(\mathbf{x}_{dn}, \mathbf{r}_d; \boldsymbol{\xi}))_{n=1}^{N_d}$$

は問題dの $N_d$ 次元の平均関数値のベクトル、 $K_d$ は $N_d \times N_d$ の問題dのカーネル行列であり、その $(n, n')$ 要素が

[0033] [数11]

$$k(g(\mathbf{x}_{dn}, \mathbf{r}_d; \boldsymbol{\psi}), g(\mathbf{x}_{dn'}, \mathbf{r}_d; \boldsymbol{\psi}); \boldsymbol{\theta}))$$

で与えられる行列である。

[0034] なお、各問題dに特徴量 $\mathbf{r}_d$ が与えられない場合は、ニューラルネットワークの入力として特徴量 $\mathbf{r}_d$ をとらないものを用いればよい。すなわち、 $m(\mathbf{x}, \mathbf{r}_d; \boldsymbol{\xi})$ の代わりに $m(\mathbf{x}; \boldsymbol{\xi})$ 、 $g(\mathbf{x}, \mathbf{r}_d; \boldsymbol{\psi})$ の代わりに $g(\mathbf{x}; \boldsymbol{\psi})$ を用いればよい。

[0035] ここで、図1に示すように、パラメータ推定処理部101には、入力部111と、初期化部112と、勾配計算部113と、パラメータ更新部114と、終了条件判定部115と、出力部116とが含まれる。

[0036] 入力部111は、元問題データを入力する。なお、入力部111は、記憶部102に記憶されている元問題データを入力してもよいし、通信ネットワークを介して接続される他の装置から元問題データを受信及び入力してもよい。

[0037] 初期化部112は、関数モデルのパラメータ（例えば、上記のパラメータ $\boldsymbol{\xi}$ 、 $\boldsymbol{\theta}$ 、 $\boldsymbol{\psi}$ ）を初期化する。勾配計算部113は、目的関数（例えば、上記の式（2）に示す尤度）の勾配を計算する。パラメータ更新部114は、勾配計算部113により計算された勾配を用いて、目的関数の値が高くなるように、関数モデルのパラメータを更新する。

[0038] 勾配計算部 113 による勾配の計算と、パラメータ更新部 114 によるパラメータの更新とは、所定の終了条件を満たすまで繰り返し実行される。なお、以降では、この所定の終了条件を「第 1 の終了条件」と表す。

[0039] 終了条件判定部 115 は、第 1 の終了条件を満たすか否かを判定する。第 1 の終了条件としては、例えば、上記の繰り返し回数が所定の回数に達したこと、目的関数値の変化量が所定の閾値以下になったこと、更新の前後でパラメータの変化量が所定の閾値以下になったこと等が挙げられる。

[0040] 出力部 116 は、終了条件判定部 115 により第 1 の終了条件を満たすと判定された場合、関数モデルのパラメータを出力する。なお、出力部 116 は、関数モデルのパラメータを記憶部 102 に出力（保存）してもよいし、通信ネットワークを介して接続される他の装置（例えば、最適化装置 20 等）に出力してもよい。以降では、出力部 116 により出力されるパラメータを「推定済パラメータ」とも表す。

[0041] 《最適化装置 20》

図 1 に示すように、本発明の実施の形態における最適化装置 20 は、最適化処理部 201 と、記憶部 202 とを有する。

[0042] 最適化処理部 201 は、ベイズ最適化の枠組みに基づいて、目標問題を最適化するための処理（以降、「最適化処理」とも表す。）を実行する。記憶部 202 は、目標問題の最適化処理に用いられる各種データ（例えば、推定済パラメータが設定された関数モデル等）や目標問題の最適化処理の処理結果（例えば、目標関数の最大値やこの最大値を与える点等）を記憶する。

[0043] ここで、ベイズ最適化では、次の評価に用いられる入力を獲得関数によって選択する。そこで、最適化処理部 201 は、例えば、以下の式（3）に示す期待改善量を獲得関数として用いる。

[0044]

[数12]

$$a(\mathbf{x}) = (\mu(\mathbf{x}) - y^*)\Phi\left(\frac{\mu(\mathbf{x}) - y^*}{\sigma(\mathbf{x})}\right) + \sigma(\mathbf{x})\phi\left(\frac{\mu(\mathbf{x}) - y^*}{\sigma(\mathbf{x})}\right) \quad (3)$$

ここで、 $\phi(\cdot)$ 及び $\Phi(\cdot)$ はそれぞれ標準正規分布の密度関数及び累積密度関数、 $y^*$ はこれまでに得られている最大値（つまり、これまで評価した目標関数値のうちの最大の目標関数値）、 $\mu(x)$ は平均、 $\sigma(x)$ は標準偏差を表す。なお、最適化処理部201は、期待改善量以外の任意の獲得関数を用いてもよい。

[0045] これまでに $N_{d^*}$ 回の目標関数 $f_{d^*}$ の評価を行っているとした場合に、これまでの入力

[0046] [数13]

$$\mathbf{X}^* = (\mathbf{x}_{d^*n})_{n=1}^{N_{d^*}}$$

、これまでの評価値（つまり、目標関数値）を

[0047] [数14]

$$\mathbf{y}^* = (y_{d^*n})_{n=1}^{N_{d^*}}$$

とする。このとき、上記の式（1）に示すニューラルガウス過程を関数モデルとして用いた場合、最適化処理部201は、目標関数の分布を以下の式（4）～（5）により計算することができる。

[0048]

[数15]

$$f_{d^*}(\mathbf{x})|\mathbf{X}^*, \mathbf{y}^*, \hat{\boldsymbol{\xi}}, \hat{\boldsymbol{\psi}}, \hat{\boldsymbol{\theta}}, \hat{\beta} \sim \mathcal{N}(\mu_{d^*}(\mathbf{x}), \sigma_{d^*}^2(\mathbf{x})) \quad (4)$$

$$\mu_{d^*}(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{d^*}; \hat{\boldsymbol{\xi}}) + \mathbf{k}_*^\top (\mathbf{K}_* + \hat{\beta} \mathbf{I})^{-1} (\mathbf{y}^* - m(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{d^*}; \hat{\boldsymbol{\xi}})) \quad (5)$$

$$\sigma_{d^*}^2(\mathbf{x}) = k_{\mathbf{x}} - \mathbf{k}_*^\top \mathbf{K}_*^{-1} \mathbf{k}_* \quad (6)$$

ここで、

[0049] [数16]

$$k_{\mathbf{x}} = k(g(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{d^*}; \hat{\boldsymbol{\psi}}), g(\mathbf{x}, \mathbf{r}_{d^*}; \hat{\boldsymbol{\psi}}); \hat{\boldsymbol{\theta}})$$

は $\mathbf{x}$ でのカーネル関数値、

[0050] [数17]

$$\mathbf{k}_*$$

は $\mathbf{x}$ と $\mathbf{X}^*$ との間のカーネル関数値の $N_{d^*}$ 次元ベクトル、

[0051] [数18]

$$\mathbf{K}_*$$

は $\mathbf{X}^*$ のカーネル行列、

[0052]

[数19]

$$\hat{\xi}, \hat{\psi}, \hat{\theta}, \hat{\beta}$$

はパラメータ推定処理部101によって推定された関数モデルのパラメータ（つまり、推定済パラメータ）である。

[0053] ここで、図1に示すように、最適化処理部201には、入力部211と、分布推定部212と、獲得関数計算部213と、関数評価部214と、終了条件判定部215と、出力部216とが含まれる。

[0054] 入力部211は、推定済パラメータが設定された関数モデルを入力する。なお、入力部211は、記憶部202に記憶されている関数モデルを入力してもよいし、通信ネットワークを介して接続される他の装置から関数モデルを受信及び入力してもよい。

[0055] 分布推定部212は、例えば上記の式(4)により、目標関数の分布を推定する。獲得関数計算部213は、分布推定部212により推定された分布を用いて、獲得関数（例えば、上記の式(3)に示す期待改善量）を計算する。関数評価部214は、獲得関数計算部213により計算された獲得関数の値が最大となる点で目標関数を評価する（つまり、当該点における目標関数値を得る。）。

[0056] 分布推定部212による分布の推定と、獲得関数計算部213による獲得関数の計算と、関数評価部214による関数の評価とは、所定の終了条件を満たすまで繰り返し実行される。なお、以降では、この所定の終了条件を「第2の終了条件」と表す。

[0057] 終了条件判定部215は、第2の終了条件を満たすか否かを判定する。第2の終了条件としては、例えば、上記の繰り返し回数が所定の回数に達したこと、目標関数の最大値が所定の閾値以上になったこと、目標関数の最大値の変化量が所定の閾値以下になったこと等が挙げられる。

[0058] 出力部 216 は、終了条件判定部 215 により第 2 の終了条件を満たすと判定された場合、最適化処理の処理結果（例えば、評価値（目標関数値）の最大値やこの最大値を与える点）を出力する。なお、出力部 216 は、最適化処理の処理結果を記憶部 202 に出力（保存）してもよいし、通信ネットワークを介して接続される他の装置に出力してもよい。

[0059] ここで、本発明の実施の形態では、推定装置 10 と最適化装置 20 とが異なる装置である場合について説明するが、推定装置 10 と最適化装置 20 とが 1 台の装置で実現されていてもよい。この場合、当該装置は、パラメータ推定処理部 101 と、最適化処理部 201 と、記憶部とを有するように構成されていけばよい。

[0060] <推定装置 10 及び最適化装置 20 のハードウェア構成>

次に、本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 のハードウェア構成について、図 2 を参照しながら説明する。図 2 は、本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 のハードウェア構成の一例を示す図である。なお、推定装置 10 及び最適化装置 20 は同様のハードウェア構成で実現可能であるため、以降では、主に、推定装置 10 のハードウェア構成について説明する。

[0061] 図 2 に示すように、本発明の実施の形態における推定装置 10 は、入力装置 301 と、表示装置 302 と、外部 I/F 303 と、RAM (Random Access Memory) 304 と、ROM (Read Only Memory) 305 と、プロセッサ 306 と、通信 I/F 307 と、補助記憶装置 308 とを有する。これら各ハードウェアは、それぞれがバス B を介して通信可能に接続されている。

[0062] 入力装置 301 は、例えばキーボードやマウス、タッチパネル等であり、ユーザが各種操作を入力するのに用いられる。表示装置 302 は、例えばディスプレイ等であり、推定装置 10 の処理結果等を表示する。なお、推定装置 10 及び最適化装置 20 は、入力装置 301 及び表示装置 302 の少なくとも一方を有していなくてもよい。

[0063] 外部 I/F 303 は、外部装置とのインタフェースである。外部装置には

、記録媒体 303a 等がある。推定装置 10 は、外部 I/F 303 を介して、記録媒体 303a の読み取りや書き込み等を行うことができる。記録媒体 303a には、例えば、パラメータ推定処理部 101 を実現する 1 以上のプログラムや最適化処理部 201 を実現する 1 以上のプログラム等が記録されている。いてもよい。

[0064] 記録媒体 303a としては、例えば、フレキシブルディスク、CD (Compact Disc)、DVD (Digital Versatile Disk)、SD メモリカード (Secure Digital memory card)、USB (Universal Serial Bus) メモリカード等がある。

[0065] RAM 304 は、プログラムやデータを一時保持する揮発性の半導体メモリである。ROM 305 は、電源を切ってもプログラムやデータを保持することができる不揮発性の半導体メモリである。ROM 305 には、例えば、OS (Operating System) に関する設定情報や通信ネットワークに関する設定情報等が格納されている。

[0066] プロセッサ 306 は、例えば CPU (Central Processing Unit) や GPU (Graphics Processing Unit) 等であり、ROM 305 や補助記憶装置 308 等からプログラムやデータを RAM 304 上に読み出して処理を実行する演算装置である。パラメータ推定処理部 101 は、ROM 305 や補助記憶装置 308 等に格納されている 1 以上のプログラムを RAM 304 上に読み出してプロセッサ 306 が処理を実行することで実現される。同様に、最適化処理部 201 は、ROM 305 や補助記憶装置 308 等に格納されている 1 以上のプログラムを RAM 304 上に読み出してプロセッサ 306 が処理を実行することで実現される。

[0067] 通信 I/F 307 は、推定装置 10 を通信ネットワークに接続するためのインタフェースである。パラメータ推定処理部 101 を実現する 1 以上のプログラムや最適化処理部 201 を実現する 1 以上のプログラムは、通信 I/F 307 を介して、所定のサーバ装置等から取得 (ダウンロード) されてもよい。

[0068] 補助記憶装置 308 は、例えば HDD (Hard Disk Drive) や SSD (Solid State Drive) 等であり、プログラムやデータを格納している不揮発性の記憶装置である。補助記憶装置 308 に格納されているプログラムやデータには、例えば、OS、当該 OS 上で各種機能を実現するアプリケーションプログラム等がある。また、推定装置 10 の補助記憶装置 308 にはパラメータ推定処理部 101 を実現する 1 以上のプログラムが格納されている。同様に、最適化装置 20 の補助記憶装置 308 には最適化処理部 201 を実現する 1 以上のプログラムが格納されている。

[0069] また、推定装置 10 が有する記憶部 102 は、例えば補助記憶装置 308 を用いて実現可能である。同様に、最適化装置 20 が有する記憶部 202 は、例えば補助記憶装置 308 を用いて実現可能である。

[0070] 本発明の実施の形態における推定装置 10 は、図 2 に示すハードウェア構成を有することにより、後述する各種処理を実現することができる。同様に、本発明の実施の形態における最適化装置 20 は、図 2 に示すハードウェア構成を有することにより、後述する各種処理を実現することができる。

[0071] なお、図 2 に示す例では、本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 がそれぞれ 1 台の装置（コンピュータ）で実現されている場合を示したが、これに限られない。本発明の実施の形態における推定装置 10 及び最適化装置 20 の少なくとも一方が、複数台の装置（コンピュータ）で実現されていてもよい。また、1 台の装置（コンピュータ）には、複数のプロセッサ 306 や複数のメモリ（RAM 304 や ROM 305、補助記憶装置 308 等）が含まれていてもよい。

[0072] <パラメータ推定処理>

次に、本発明の実施の形態におけるパラメータ推定処理について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 は、本発明の実施の形態におけるパラメータ推定処理の一例を示すフローチャートである。

[0073] まず、入力部 111 は、元問題データを入力する（ステップ S101）。

[0074] 次に、初期化部 112 は、関数モデルのパラメータ（例えば、上記のパラ

メータ  $\xi$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ ) を初期化する (ステップ S 1 0 2)。なお、初期化部 1 1 2 は、最適化の対象となる問題 d に応じて、上記のパラメータを適切な値に初期化する。

[0075] 次に、勾配計算部 1 1 3 は、目的関数 (例えば、上記の式 (2) に示す尤度) の勾配を計算する (ステップ S 1 0 3)。

[0076] 次に、パラメータ更新部 1 1 4 は、勾配計算部 1 1 3 により計算された勾配を用いて、目的関数の値が高くなるように、関数モデルのパラメータを更新する (ステップ S 1 0 4)。

[0077] 次に、終了条件判定部 1 1 5 は、第 1 の終了条件を満たすか否かを判定する (ステップ S 1 0 5)。

[0078] ステップ S 1 0 5 で第 1 の終了条件を満たさないと判定された場合、パラメータ推定処理部 1 0 1 は、ステップ S 1 0 3 に戻る。これにより、第 1 の終了条件を満たすまで、ステップ S 1 0 3 ~ ステップ S 1 0 4 が繰り返し実行される。

[0079] 一方で、ステップ S 1 0 5 で第 1 の終了条件を満たすと判定された場合、出力部 1 1 6 は、関数モデルのパラメータ (つまり、推定済パラメータ) を出力する (ステップ S 1 0 6)。

[0080] <最適化処理>

次に、本発明の実施の形態における最適化処理 (目標問題の最適化処理) について、図 4 を参照しながら説明する。図 4 は、本発明の実施の形態における最適化処理の一例を示すフローチャートである。

[0081] まず、入力部 2 1 1 は、推定済パラメータが設定された関数モデルを入力する (ステップ S 2 0 1)。

[0082] 次に、分布推定部 2 1 2 は、目標関数の分布を推定する (ステップ S 2 0 2)。なお、例えば、上記の式 (1) に示すニューラルガウス過程を関数モデルとして用いた場合、分布推定部 2 1 2 は、上記の式 (4) ~ (5) により目標関数の分布を推定する。

[0083] 次に、獲得関数計算部 2 1 3 は、分布推定部 2 1 2 により推定された分布

を用いて、獲得関数（例えば、上記の式（３）に示す期待改善量）を計算する（ステップＳ２０３）。

[0084] 次に、関数評価部２１４は、獲得関数計算部２１３により計算された獲得関数の値が最大となる点で目標関数を評価する（ステップＳ２０４）。

[0085] 次に、終了条件判定部２１５は、第２の終了条件を満たすか否かを判定する（ステップＳ２０５）。

[0086] ステップＳ２０５で第２の終了条件を満たさないと判定された場合、最適化処理部２０１は、ステップＳ２０２に戻る。これにより、第２の終了条件を満たすまで、ステップＳ２０２～ステップＳ２０４が繰り返し実行される。

[0087] 一方で、ステップＳ２０５で第２の終了条件を満たすと判定された場合、出力部２１６は、最適化処理の処理結果（例えば、目標関数の最大値やこの最大値を与える点）を出力する（ステップＳ２０６）。なお、出力部２１６は、評価値の最大値のみを出力してもよいし、この最大値を与える点のみを出力してもよいし、これらの両方を出力してもよい。

[0088] ＜従来技術との比較結果＞

次に、本発明と従来技術との比較結果について説明する。ここで、比較に用いる最適化問題としては、「人工最適化問題」、「最適人流誘導探索」、「最適機械学習器探索」の３種類を用いた。この３種類の最適化問題を解いた場合に、最適値（最大値又は最小値）を見つけるまでの平均評価回数と標準誤差とを以下の表１に示す。

[0089]

[表1]

| 手法 \ 問題 | 人工最適化問題      | 最適人流誘導探索    | 最適機械学習器探索   |
|---------|--------------|-------------|-------------|
| 本発明-RMK | 9.00±1.85*   | 18.16±0.81* | 60.40±1.58* |
| 本発明-RM  | 19.50±3.78   | 22.53±0.90  | 61.19±1.63* |
| 本発明-RK  | 25.65±2.75   | 23.38±0.82  | 62.87±1.52* |
| 本発明-MK  | 25.85±2.40   | 19.82±0.66  | 61.32±1.64* |
| GP      | 71.05±30.04  | 42.30±1.00  | 78.59±1.85  |
| TGP     | 27.95±3.39   | 31.16±0.85  | 88.00±1.56  |
| NP      | 147.95±18.42 | 162.37±3.61 | 76.92±1.87  |
| NN      | 192.40±19.12 | 172.57±3.99 | 83.95±1.83  |
| NN-R    | 66.45±12.28  | 35.41±1.20  | 70.05±1.80  |
| Random  | 333.40±30.92 | 565.52±5.95 | 107.79±1.77 |

ここで、本発明としては、RMK、RM、RK、MKの4種類のバージョンを用いた。Rは特徴量を利用したもの（つまり、各最適化問題に特徴量が与えられており、その特徴量を利用したもの）、Mは平均関数でニューラルネットワークを用いたもの、Kはカーネル関数でニューラルネットワークを用いたものを表す。

[0090] 例えば、「本発明-RMK」は、特徴量を利用し、かつ、平均関数 $m$ としてニューラルネットワーク、カーネル関数 $k$ の入力としてニューラルネットワークを用いて、本発明の手法により最適化問題を解いた場合を示す。同様に、例えば、「本発明-RM」は、特徴量を利用し、かつ、平均関数 $m$ としてニューラルネットワーク、カーネル関数 $k$ としてニューラルネットワーク以外の関数を用いて、本発明の手法により最適化問題を解いた場合を示す。「本発明-RK」や「本発明-MK」についても同様である。

[0091] また、従来技術としては、ガウス過程（GP）、元問題でカーネルパラメータを学習するガウス過程（TGP）、ニューラル過程（NP）、ニューラルネットワーク（NN）、特徴量を利用するニューラルネットワーク（NN-R）、次の評価に用いる点をランダムに選ぶ手法（Random）を用いた。

[0092] 上記の表 1 に示すように、本発明の手法が他の従来技術よりも少ない評価回数で（すなわち、従来技術よりも効率的に）最適値を見つけることができることがわかる。なお、上記の表 1 では、平均評価回数が最も良い手法（つまり、本発明-RMK）を太字としている。また、最も良い手法と統計的有意差がなかったものにはアスタリスク「\*」を付与している。

[0093] 本発明は、具体的に開示された上記の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲から逸脱することなく、種々の変形や変更が可能である。

### 符号の説明

|        |       |            |
|--------|-------|------------|
| [0094] | 1 0   | 推定装置       |
|        | 2 0   | 最適化装置      |
|        | 1 0 1 | パラメータ推定処理部 |
|        | 1 1 1 | 入力部        |
|        | 1 1 2 | 初期化部       |
|        | 1 1 3 | 勾配計算部      |
|        | 1 1 4 | パラメータ更新部   |
|        | 1 1 5 | 終了条件判定部    |
|        | 1 1 6 | 出力部        |
|        | 1 0 2 | 記憶部        |
|        | 2 0 1 | 最適化処理部     |
|        | 2 0 2 | 記憶部        |
|        | 2 1 1 | 入力部        |
|        | 2 1 2 | 分布推定部      |
|        | 2 1 3 | 獲得関数計算部    |
|        | 2 1 4 | 関数評価部      |

2 1 5      終了条件判定部

2 1 6      出力部

## 請求の範囲

- [請求項1] 複数の最適化問題に関するデータを入力する入力手段と、  
前記複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルのパラメータを推定する推定手段と、  
を有することを特徴とする推定装置。
- [請求項2] 前記推定手段は、  
前記関数モデルと前記データとに応じた目的関数の勾配を計算し、  
該勾配を用いて、前記目的関数の値が最大又は最小となるように、前記関数モデルのパラメータを推定する、ことを特徴とする請求項1に記載の推定装置。
- [請求項3] 複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルを入力する入力手段と、  
前記関数モデルを用いて、前記複数の最適化問題のそれぞれとは異なる最適化問題で最適化対象となる目標関数を繰り返し評価することで、前記目標関数を最適化する最適化手段と、  
を有することを特徴とする最適化装置。
- [請求項4] 前記最適化手段は、  
前記関数モデルのパラメータを用いて、前記目標関数の分布を計算し、  
前記分布を用いて、所定の獲得関数により決定される値で前記目標関数を評価する、ことを特徴とする請求項3に記載の最適化装置。
- [請求項5] 複数の最適化問題に関するデータを入力する入力手段と、  
前記複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルのパラメータを推定する推定手段と、  
前記推定したパラメータが設定された関数モデルを用いて、前記複数の最適化問題のそれぞれとは異なる最適化問題で最適化対象となる目標関数を繰り返し評価することで、前記目標関数を最適化する最適化手段と、

を有することを特徴とする最適化装置。

[請求項6]

複数の最適化問題に関するデータを入力する入力手順と、  
前記複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルのパラメータを推定する推定手順と、  
をコンピュータが実行することを特徴とする推定方法。

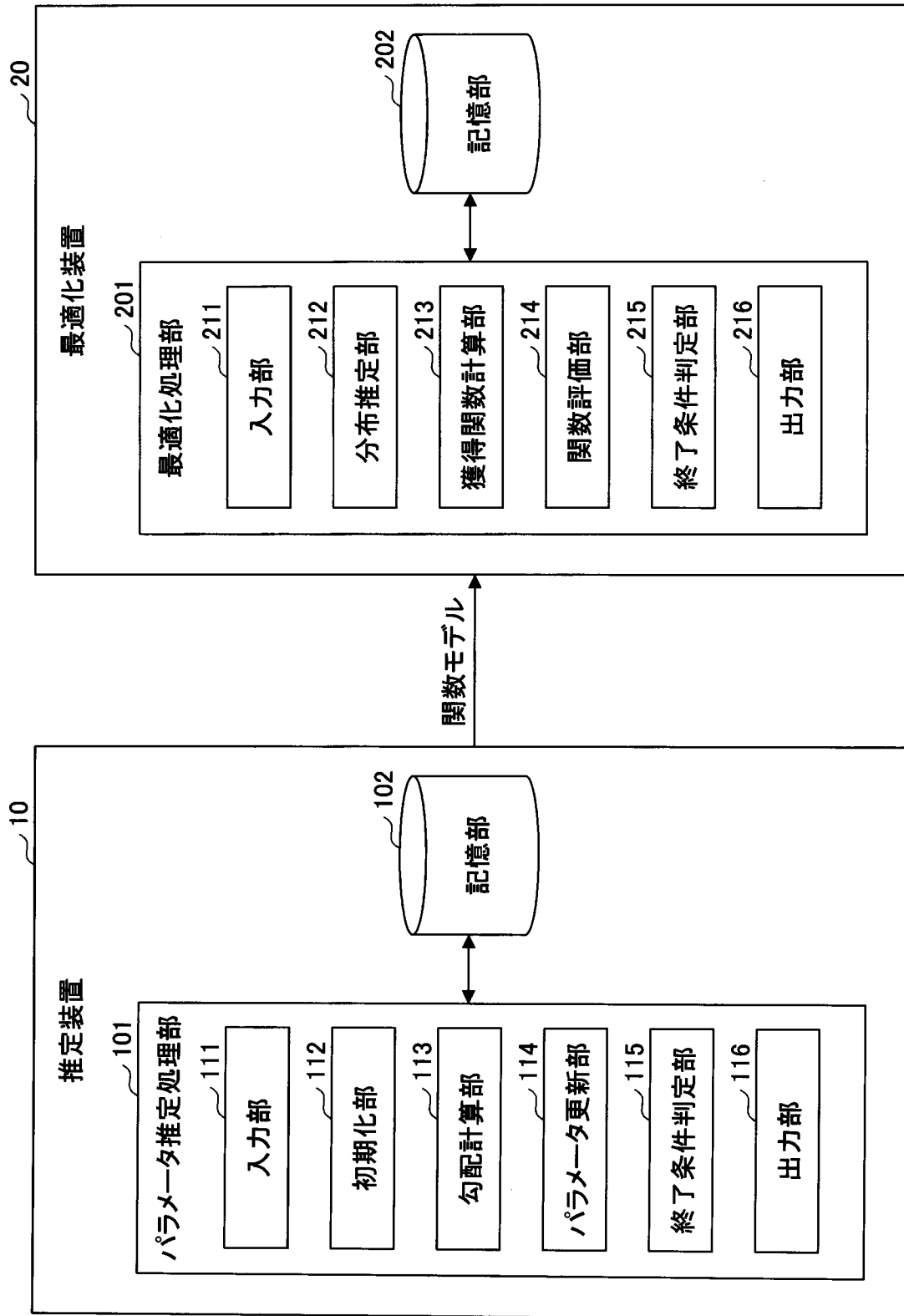
[請求項7]

複数の最適化問題のそれぞれで最適化対象となる関数をモデル化した関数モデルを入力する入力手順と、  
前記関数モデルを用いて、前記複数の最適化問題のそれぞれとは異なる最適化問題で最適化対象となる目標関数を繰り返し評価することで、前記目標関数を最適化する最適化手順と、  
をコンピュータが実行することを特徴とする最適化方法。

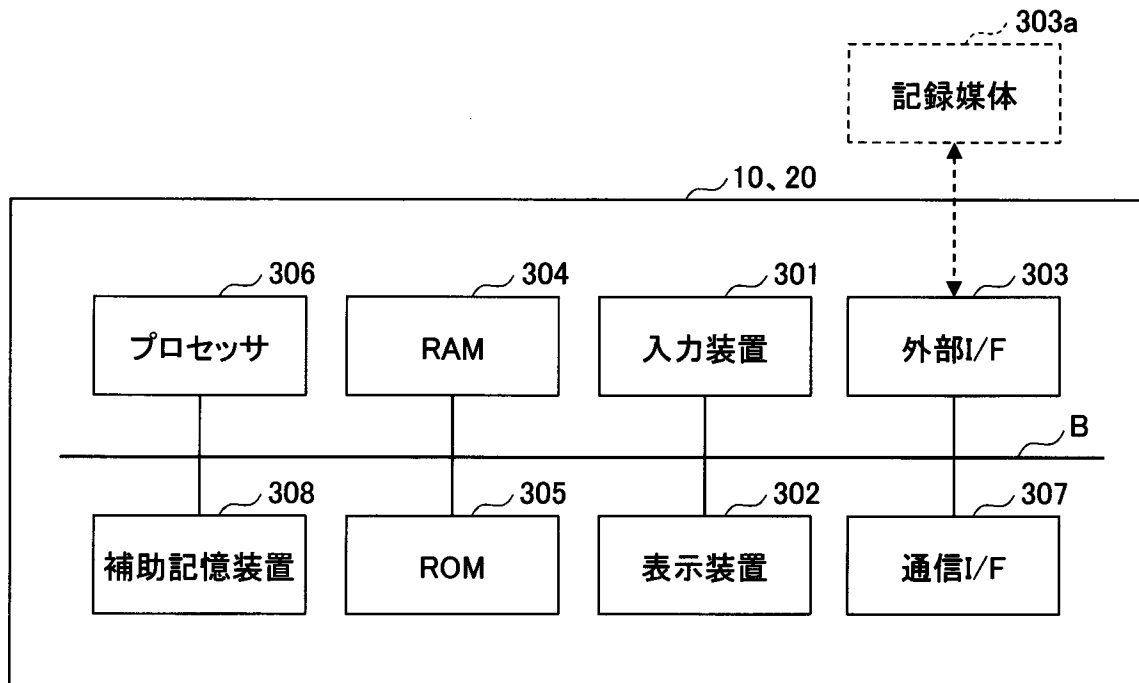
[請求項8]

コンピュータを、請求項1又は2に記載の推定装置、又は、請求項3乃至5の何れか一項に記載の最適化装置として機能させるためのプログラム。

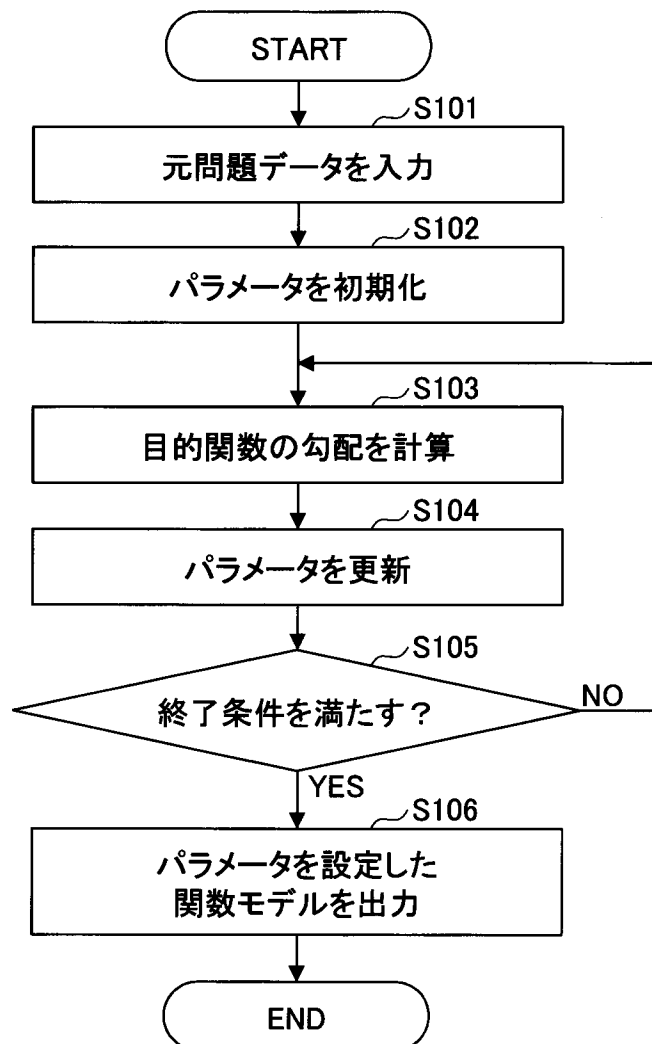
[図1]



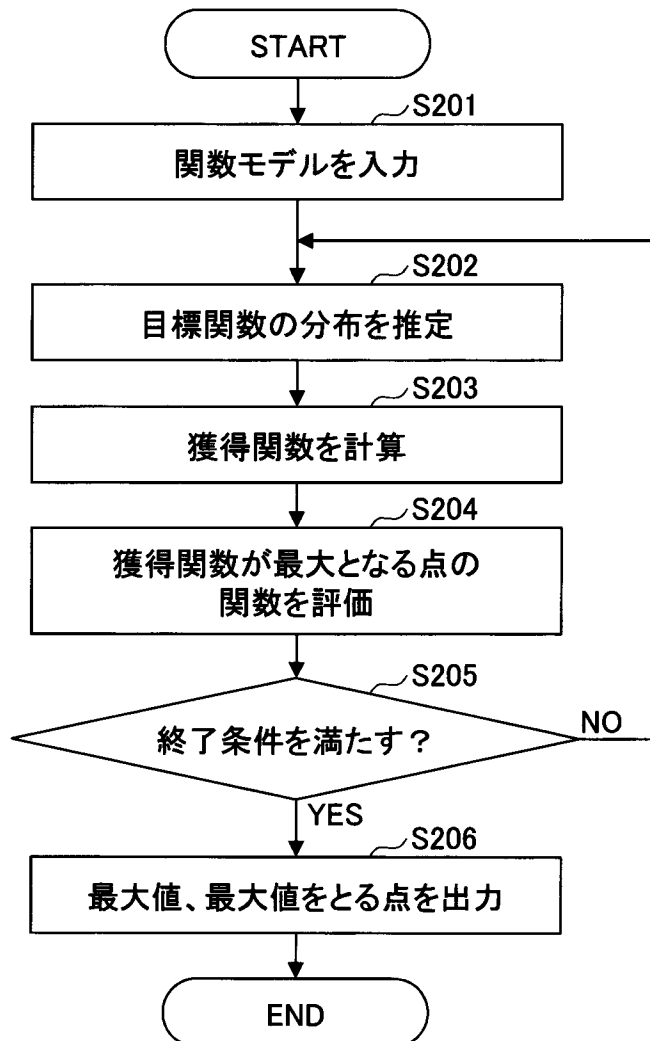
[図2]



[図3]



[図4]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/045849

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G06N99/00 (2019.01) i

FI: G06N99/00 180

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

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G06N99/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

IEEE Xplore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | NAKAYAMA, Hirotaka, Sequential Approximate                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1, 3-8                |
| Y         | Multiobjective Optimization using Computational Intelligence, In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'10) (Also published as "Lecture Notes in Operations Research 12"), [online], 23 August 2010, pages 1-12, ISBN: 978-7-5100-2406-1, [retrieved on 16 January 2020], Retrieved from the Internet: <URL: <a href="http://www.aporc.org/LNOR/12/ISORA2010F01.pdf">http://www.aporc.org/LNOR/12/ISORA2010F01.pdf</a> > and <URL: <a href="http://www.aporc.org/LNOR/12/">http://www.aporc.org/LNOR/12/</a> > and <URL: <a href="http://www.aporc.org/LNOR/">http://www.aporc.org/LNOR/</a> >. sections 2, 3.1 and 4. | 2                     |



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

24.01.2020

Date of mailing of the international search report

04.02.2020

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/JP2019/045849

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | ARIIZUMI, Ryo et al., Multiobjective Optimization Based on Expensive Robotic Experiments under Heteroscedastic Noise, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, vol. 33, no. 2, 28 December 2016, pages 468-483, ISSN: 1552-3098, <DOI 10.1109/TRO.2016.2632739>. Section II.A.1 (Standard GP Regression).                                                                                                      | 2                     |
| A         | HAN, Zhong-Hua et al., Surrogate-Based Optimization, In: Real-World Applications of Genetic Algorithms, [online], 07 March 2012, pages 343-362, ISBN 978-953-51-0146-8, [retrieved on 16 January 2020], Retrieved from the Internet: <URL: <a href="https://api.intechopen.com/chapter/pdf-download/30305">https://api.intechopen.com/chapter/pdf-download/30305</a> >. sections 2, 2.2 and 3, 2, 2, | 4                     |
| A         | 尹禮分, メタモデルと多目的最適化手法, システム/制御/情報, vol. 55, no. 9, 15 September 2011, pp. 367-373, ISSN:0916-1600 [in Japanese], sections 3.2, 4.2 (YUN, Yeboon. Meta-Heuristic Methods and Multi-Objective Optimization. Systems, Control and Information.)                                                                                                                                                           | 4                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>G06N 99/00(2019.01)i<br>FI: G06N99/00 180                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
| 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））<br>G06N99/00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br>日本国実用新案公報 1922 - 1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971 - 2020年<br>日本国実用新案登録公報 1996 - 2020年<br>日本国登録実用新案公報 1994 - 2020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）<br>IEEE Xplore                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号                                                        |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | NAKAYAMA, Hirotaka, Sequential Approximate Multiobjective Optimization using Computational Intelligence, In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'10)(Also published as "Lecture Notes in Operations Research 12"), [online], 2010.08.23, Pages 1-12, ISBN: 978-7-5100-2406-1, [retrieved on 2020.01.16], Retrieved from the Internet: <URL: http://www.aporc.org/LNOR/12/ISORA2010F01.pdf> and <URL: http://www.aporc.org/LNOR/12/> and <URL: http://www.aporc.org/LNOR/>. | 1,3-8                                                                 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sections 2, 3.1 and 4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2                                                                     |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ARIIZUMI, Ryo, et al., Multiobjective Optimization Based on Expensive Robotic Experiments under Heteroscedastic Noise, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, Vol.33, No.2, 2016.12.28, Pages 468-483, ISSN: 1552-3098, <DOI: 10.1109/TR0.2016.2632739>.                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2                                                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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<br>"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<br>"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<br>"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）<br>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>"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<br>"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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>"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<br>"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<br>"&" 同一パテントファミリー文献 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |
| 国際調査を完了した日<br>24.01.2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 国際調査報告の発送日<br>04.02.2020                                              |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 権限のある職員（特許庁審査官）<br><br>久保 光宏 5C 9189<br><br>電話番号 03-3581-1101 内線 3539 |

| C. 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| A               | ZHONG-HUA HAN, et al., Surrogate-Based Optimization, In: Real-World Applications of Genetic Algorithms, [online], 2012.03.07, Pages 343-362, ISBN 978-953-51-0146-8, [retrieved on 2020.01.16], Retrieved from the Internet: <URL: <a href="https://api.intechopen.com/chapter/pdf-download/30305">https://api.intechopen.com/chapter/pdf-download/30305</a> >. Sections 2.2.2 and 3.2.2. | 4              |
| A               | 尹 禮分, メタモデルと多目的最適化手法, システム／制御／情報, Vol.55, No.9, 2011.09.15, Pages 367-373, ISSN: 0916-1600, [in Japanese]. Sections 3.2 and 4.2.                                                                                                                                                                                                                                                          | 4              |