



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114442974 B

(45) 授权公告日 2025.04.15

(21) 申请号 202111008081.6

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2021.08.31

G06F 3/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06T 1/20 (2006.01)

申请公布号 CN 114442974 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2022.05.06

JP 2020144530 A, 2020.09.10

(30) 优先权数据

US 2020050717 A1, 2020.02.13

2020-185291 2020.11.05 JP

审查员 莫院

(73) 专利权人 株式会社东芝

地址 日本东京都

(72) 发明人 中川英之 田口安则 雁木比吕

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

专利代理人 李今子

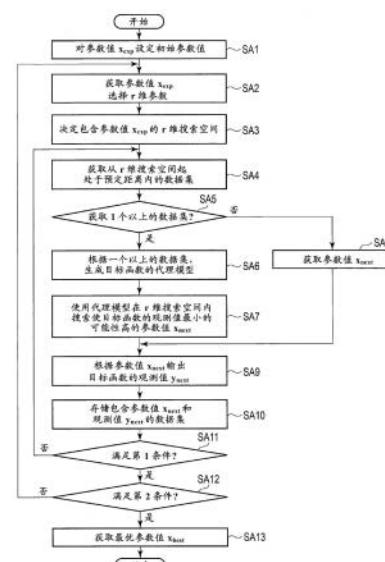
权利要求书3页 说明书18页 附图11页

(54) 发明名称

参数最优化装置、方法以及系统

(57) 摘要

本发明涉及参数最优化装置、方法及系统。本发明要解决的课题是提供能够高效地搜索最优参数值的参数最优化装置、方法及系统。参数最优化装置具有存储部、搜索空间决定部、第1获取部及参数搜索部。存储部存储包含第1维数的第1参数值和与第1参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集。搜索空间决定部决定包含预定的第1参数值的比第1维数小的第2维数的搜索空间。第1获取部基于多个数据集获取具有从搜索空间起的预定距离中包含的第1参数值的一个以上的数据集或具有与该数据集对应的第2参数值的数据集。参数搜索部使用基于获取到的一个以上的数据集的目标函数的代理模型，在搜索空间内搜索能够最优化目标函数的第1参数值或第2参数值。



1.一种参数最优化装置,具备:

存储部,存储包含第1维数的第1参数值和与第1参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集;

搜索空间决定部,决定包含预定的第1参数值的比所述第1维数小的第2维数的搜索空间;

第1获取部,基于所述多个数据集获取具有从所述搜索空间起的预定的距离内包含的第1参数值的一个以上的数据集或者具有与该数据集对应的所述第2维数的第2参数值的一个以上的数据集;

参数搜索部,使用基于获取到的所述一个以上的数据集的所述目标函数的代理模型,在所述搜索空间内搜索能够对所述目标函数进行最优化的第1参数值或者第2参数值。

2.根据权利要求1所述的参数最优化装置,其中,

所述参数最优化装置还具备生成部,该生成部生成包含与搜索出的所述第1参数值对应的所述目标函数的观测值或者与和搜索出的所述第2参数值对应的第1参数值对应的所述目标函数的观测值以及搜索出的所述第1参数值或者第2参数值的数据集,

所述存储部存储所生成的所述数据集。

3.根据权利要求2所述的参数最优化装置,其中,

所述搜索空间决定部在由所述生成部生成数据集之后,判定是否满足第1条件,

在判定为不满足所述第1条件的情况下,反复进行由所述存储部、所述搜索空间决定部、所述第1获取部、所述参数搜索部以及所述生成部进行的处理。

4.根据权利要求3所述的参数最优化装置,其中,

所述搜索空间决定部在由所述搜索空间决定部、所述第1获取部、所述参数搜索部以及所述生成部进行的反复处理中,在满足第2条件下,从存储于所述存储部的多个数据集获取目标函数的观测值最小或者最大的第1参数值,选择所述第2维数的其它第2参数,以包括获取到的所述第1参数值的方式决定用于搜索所选择的所述第2参数的所述第2维数的搜索空间。

5.根据权利要求4所述的参数最优化装置,其中,

所述搜索空间决定部针对每个所述反复处理,从分为多个组的所述第2维数的第2参数值之中选择属于一个组的第2参数,或者从所述第1维数的第1参数之中随机地选择所述第2维数的第2参数。

6.根据权利要求4所述的参数最优化装置,其中,

所述搜索空间决定部将包含所述预定的第1参数值的所述第2维数的仿射部分空间设定为所述搜索空间,

针对每个所述反复处理,使所述第2维数或者所述仿射部分空间所附带的线性部分空间中的至少任意一方变化,从而使所述第2维数的仿射部分空间变化。

7.根据权利要求4所述的参数最优化装置,其中,

所述参数搜索部在不满足所述第2条件下,反复搜索相同的所述搜索空间来搜索所述第1参数值或者第2参数值。

8.根据权利要求4所述的参数最优化装置,其中,

所述反复处理并行地或者串行地作为多个任务而被执行,

所述存储部具有与所述多个任务分别对应的多个任务存储部，

所述多个任务存储部各自针对每个该任务而积蓄第1参数值和与第1参数值对应的观测值，

所述多个任务存储部各自在满足所述第2条件下,将存储于所述多个任务存储部的第1参数值中的与最小或者最大的观测值对应的第1参数值存储。

9. 根据权利要求3所述的参数最优化装置,其中,

所述参数最优化装置还具备第2获取部,该第2获取部在满足所述第1条件时从存储于所述存储部的数据集之中获取具有最大或者最小的观测值的第1参数值。

10. 根据权利要求9所述的参数最优化装置,其中,

由所述存储部、所述搜索空间决定部、所述第1获取部、所述参数搜索部以及所述生成部进行的反复处理并行地或者串行地作为多个任务而执行,

所述存储部具有与所述多个任务分别对应的多个任务存储部，

所述多个任务存储部各自针对每个该任务而积蓄第1参数值和与第1参数值对应的观测值，

所述第2获取部在满足所述第1条件的情况下,获取存储于所述多个任务存储部的第1参数值中的与最小或者最大的观测值对应的第1参数值。

11. 根据权利要求1所述的参数最优化装置,其中,

所述第1获取部关于所述多个数据集的各个数据集计算第1参数值与所述搜索空间的距离,将所述距离为阈值以下的第1参数值或者与该第1参数值对应的所述第2维数的第2参数值作为所述一个以上的第1参数值或者第2参数值而获取。

12. 根据权利要求11所述的参数最优化装置,其中,

所述阈值是正的值。

13. 根据权利要求11所述的参数最优化装置,其中,

所述阈值是零。

14. 根据权利要求3所述的参数最优化装置,其中,

所述第1获取部关于所述多个数据集的各个数据集计算第1参数值与所述搜索空间的距离,将所述距离为阈值以下的第1参数值或者与该第1参数值对应的所述第2维数的第2参数值作为所述一个以上的第1参数值或者第2参数值而获取，

所述阈值根据由所述搜索空间决定部、所述第1获取部、所述参数搜索部以及所述生成部进行的反复处理的次数而不同。

15. 根据权利要求11或者14所述的参数最优化装置,其中,

所述参数最优化装置还具备显示部,该显示部显示用于依照来自用户的指示而选择所述阈值的GUI画面。

16. 根据权利要求1所述的参数最优化装置,其中,

所述距离是欧几里得距离、曼哈顿距离、余弦距离或者马哈拉诺比斯距离。

17. 根据权利要求16所述的参数最优化装置,其中,

所述参数最优化装置还具备显示部,该显示部显示用于依照来自用户的指示而选择所述距离的种类的GUI画面。

18. 根据权利要求1所述的参数最优化装置,其中,

所述第1获取部基于所述多个数据集抽取或者基于所述第2维数的搜索空间随机地生成直至所述搜索空间为止的距离为所述预定的距离中包含的所述一个以上的第1参数值或者第2参数值。

19. 根据权利要求18所述的参数最优化装置，其中，

所述参数最优化装置还具备生成部，该生成部生成包含与所述一个以上的第1参数值对应的所述目标函数的观测值或者与和所述一个以上的第2参数值对应的第1参数值对应的所述目标函数的观测值以及所述一个以上的第1参数值或者第2参数值的数据集，

所述存储部存储所生成的所述数据集。

20. 根据权利要求1所述的参数最优化装置，其中，

所述参数最优化装置还具备显示部，该显示部显示用于依照来自用户的指示而选择所述第2维数的GUI画面。

21. 根据权利要求1所述的参数最优化装置，其中，

所述参数搜索部基于获取到的所述一个以上的数据集生成所述代理模型，将对所述代理模型进行最优化的所述搜索空间内的第1参数值或者第2参数值搜索为能够对所述目标函数进行最优化的第1参数值或者第2参数值。

22. 根据权利要求1所述的参数最优化装置，其中，

所述预定的第1参数值是默认值、随机值、存储于所述存储部的第1参数值中的与最小或者最大的观测值对应的第1参数值中的任意一个值。

23. 一种参数最优化方法，具备：

决定包含第1维数的预定的第1参数值的比所述第1维数小的第2维数的搜索空间，

基于包含所述第1维数的第1参数值和与该第1参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集获取具有从所述搜索空间起的预定的距离内包含的第1参数值的一个以上的数据集或者具有与该数据集对应的所述第2维数的第2参数值的一个以上的数据集，

使用基于获取到的所述一个以上的数据集的所述目标函数的代理模型，在所述搜索空间内搜索能够对所述目标函数进行最优化的第1参数值或者第2参数值。

24. 一种参数最优化系统，具备：

存储部，存储包含第1维数的第1参数值和与第1参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集；

搜索空间决定部，决定包含预定的第1参数值的比所述第1维数小的第2维数的搜索空间；

第1获取部，基于所述多个数据集获取具有从所述搜索空间起的预定的距离内包含的第1参数值的一个以上的数据集或者具有与该数据集对应的所述第2维数的第2参数值的一个以上的数据集；

参数搜索部，使用基于获取到的所述一个以上的数据集的所述目标函数的代理模型，在所述搜索空间内搜索能够对所述目标函数进行最优化的第1参数值或者第2参数值；

计算部，计算与搜索出的所述第1参数值对应的所述目标函数的观测值或者与和搜索出的所述第2参数值对应的第1参数值对应的所述目标函数的观测值；以及

生成部，生成包含搜索出的所述第1参数值或者与第2参数值对应的第1参数值和计算出的所述观测值的数据集。

参数最优化装置、方法以及系统

[0001] 本申请以日本专利申请特愿2020-185291(申请日:2020年11月5日)为基础,从该申请享有优先权。本申请通过参照该申请,从而包含该申请的全部内容。

技术领域

[0002] 本发明的实施方式涉及参数最优化装置、方法以及系统。

背景技术

[0003] 在社会中,存在各种设备,这些设备由各种部件构成。这些设备、部件被设计、制造、活用。

[0004] 在设计阶段,有时设计特性满足规格的设备、部件。此时,通过将能够在设计时调整的参数变更为各种值,实施仿真、实验、问卷调查,从而获取按照这些参数值设计时的特性,求出该特性满足规格的参数值。在此,特性例如是设备、部件的性能、制造成本、顾客满足度。设备、部件的性能越良好越优选,制造成本越低越优选,顾客满足度越高越优选。在特性的值越大越好的情况下,要求以少的时间、工夫求出使该特性最大化的参数值。在特性的值越小越好的情况下,要求以少的时间、工夫求出使该特性最小化的参数值。

[0005] 求出特性最大或者最小的参数值的过程被称为参数最优化。与参数值相应地变化的特性被称为目标函数。仿真、实验、问卷调查是用于观测目标函数的值的手段。

[0006] 在制造阶段,也有时使用参数最优化。例如,有时求出使制造时的成品率最大化的参数值,或者求出使出货后的故障率最小化的参数值。

[0007] 在活用阶段,也有时使用参数最优化。例如,有时在由用户进行初始设定时求出到达用户手头的设备、部件发挥符合用户的利用环境的性能的参数值。

[0008] 参数存在多个的情况较多。当用D表示要调整的参数的数量时,多个参数能够用D维矢量表达。将能够用D维矢量表达的参数称为D维参数,将D维参数所具有的值称为D维参数值。搜索最优的D维参数值的空间是D维空间。D越大,则搜索空间越广,所以难以进行最优化。

[0009] 在D维空间($D \geq 2$)中,作为搜索使目标函数最大或者最小的D维参数值的参数最优化方式,已知非专利文献1的手法。在该手法中,将搜索空间限定为D维空间中的1维空间,一边切换该1维搜索空间,一边反复进行贝叶斯最优化,从而搜索参数值。由此,使D维参数的搜索高效化。

[0010] 现有技术文献

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1:日本特开2020-27370号公报

[0013] 非专利文献

[0014] 非专利文献1:J.Kirschner,M.Mutny,N.Hiller,R.Iscbebeck, and A.Krause, "Adaptive and safe Bayesian optimization in high dimensions via one-dimensional subspaces," in Proceedings of the 36th International Conference on

Machine Learning, vol. 97, pp. 3429-3438, PMLR, 2019.

发明内容

[0015] 在非专利文献1的手法利用的贝叶斯最优化中,需要逆矩阵的计算,与参数搜索的反复次数相应地,计算量增加。虽说仿真、实验、问卷调查这样的为了观测目标函数的值而花费的时间长,但参数搜索的反复次数变多时的计算量有时也成为无法忽略的长度。

[0016] 本发明解决的课题在于提供能够高效地搜索最优的参数值的参数最优化装置、方法以及系统。

[0017] 实施方式的参数最优化装置具有存储部、搜索空间决定部、第1获取部以及参数搜索部。存储部存储包含第1维数的第1参数值和与第1参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集。搜索空间决定部决定包含预定的第1参数值的比所述第1维数小的第2维数的搜索空间。第1获取部基于所述多个数据集获取具有从所述搜索空间起的预定的距离中包含的第1参数值的一个以上的数据集或者具有与该数据集对应的第2参数值的数据集。参数搜索部使用基于获取到的所述一个以上的数据集的所述目标函数的代理模型,在所述搜索空间内搜索能够对所述目标函数进行最优化的第1参数值或者第2参数值。

附图说明

- [0018] 图1是示出第1实施方式的参数最优化系统的功能结构例的图。
- [0019] 图2是示出存储于数据存储部的数据集的一个例子的图。
- [0020] 图3是示出2维参数空间中的1维搜索空间的一个例子的图。
- [0021] 图4是示出2维参数空间中的1维搜索空间附近的数据集的概念的图。
- [0022] 图5是示出将20维数据集变换为1维数据集的方法的一个例子的图。
- [0023] 图6是示出从1维参数值变换为20维参数值的方法的一个例子的图。
- [0024] 图7是示出第1实施方式的参数最优化系统的处理动作的一个例子的流程图。
- [0025] 图8是示出1维仿射部分空间的一个例子的图。
- [0026] 图9是示出第2实施方式的参数最优化系统的功能结构例的图。
- [0027] 图10是示出第2实施方式的参数最优化系统的处理动作的一个例子的流程图。
- [0028] 图11是示出维获取画面的一个例子的图。
- [0029] 图12是示出距离种类输入画面的一个例子的图。
- [0030] 图13是示出阈值输入画面的一个例子的图。
- [0031] 图14是示出参数最优化装置的硬件结构例的图。
- [0032] 符号说明
- [0033] 1:参数最优化系统;2A、2B:参数最优化装置;3:观测值输出装置;11:数据存储部;12:搜索空间决定部;13:数据获取部;14:参数搜索部;15:数据生成部;16:最优参数值获取部;17:维获取部;18:距离获取部;19:阈值获取部;20:显示部;21:外部数据获取部。

具体实施方式

[0034] 对在本实施方式中使用的用语进行定义。用D表示调整对象的参数的数量。D个参数能够用D维矢量表达。将能够用D维矢量表达的参数称为D维参数,将D维参数所具有的值

称为D维参数值。用 x 表示D维参数值。用 $f(\cdot)$ 表示最优化的目标函数,用 y 表示目标函数的观测值。用 x^r 表示 r 维的参数值。设为 $D > r$ 。

[0035] 在想要求出使目标函数的值最大化的D维参数值的情况下,通过使目标函数的符号反转,从而能够改写为等效的最小化问题。因而,以下,说明求出使目标函数 $f(\cdot)$ 的值最小化的D维参数值的情况下的例子,省略最大化问题的说明。

[0036] 以下,参照附图,说明本实施方式的参数最优化装置、方法以及系统。在以下的实施方式中,主要说明参数最优化装置的特征性的结构以及动作,但在参数最优化装置中可能存在在以下的说明中省略的结构以及动作。

[0037] (第1实施方式)

[0038] 图1是示出第1实施方式的参数最优化系统1的功能结构例的图。如图1所示,参数最优化系统1是具有参数最优化装置2A和观测值输出装置3的计算机系统。参数最优化装置2A与观测值输出装置3经由有线或者无线能够通信地连接。参数最优化装置2A是根据来自观测值输出装置3的观测值和与该观测值对应的参数值搜索有可能对目标函数进行最优化的参数值的计算机。观测值输出装置3是根据参数值进行仿真、实验或者问卷调查,并观测目标函数的值,换言之输出目标函数的观测值的计算机。参数最优化系统1反复由参数最优化装置2A进行的有可能对目标函数进行最优化的参数值的搜索和利用了与搜索出的参数值对应的观测值输出装置3的目标函数的观测值的输出。

[0039] 如图1所示,参数最优化装置2A例如具有数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14、数据生成部15以及最优参数值获取部16。

[0040] 数据存储部11例如将D维参数值与和该D维参数值对应的目标函数的观测值的集合(set)作为数据而存储。将D维参数值与观测值的集合的数据称为数据集(data set)。在数据存储部11中,存储有一个以上的数据集。目标函数的观测值是由观测值输出装置3根据D维参数值来计算的。

[0041] 数据存储部11存储有 N_0 个数据集 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N_0-1\}$ 。 x_n 表示第n个D维参数值。 y_n 表示与 x_n 有关的目标函数 f 的观测值。即, $y_n = f(x_n) + \epsilon_n$ 。在此, ϵ_n 表示观测值 y_n 中包含的噪声分量。数据集数 N_0 由于由数据生成部15生成的数据集存储于数据存储部11而可能增加。

[0042] 观测值 y_n 是根据由观测值输出装置3进行的仿真、实验、问卷调查等来观测的。在实验、仿真、问卷调查等中,能够得到关于一个以上的项目的特性值。在项目数是一个的情况下,所得到的特性值是标量,所以特性值被用作目标函数的观测值。在通过实验、仿真、问卷调查等得到的特性值的项目是多个的情况下,所得到的特性值用矢量表达。将用矢量表达的特性值变换为标量而得到的值被用作目标函数的观测值。作为向标量的变换,例如使用线性加权求和法等。

[0043] 图2是示出存储于数据存储部11的数据集的一个例子的图。图2是 $D=20$ 的数据集的一个例子。20维参数具有20个变量 $x_{(0)}, x_{(1)}, \dots, x_{(19)}$,各变量具有固有的值。各变量既可以是滤波器、器件的设计参数,也可以是制造装置的设定参数。各变量的值也可以是连续值、离散值或者范畴变量。将根据20维参数值而计算的目标函数的观测值的变量设为 y 。图2的各行是具有20维参数值和与该20维参数值对应的目标函数的观测值的数据集。

[0044] 搜索空间决定部12从存储于数据存储部11的数据集获取目标函数的观测值最小

的D维参数值 x_{exp} ,从D维参数选择小于D维的r维参数,决定包含获取到的D维参数值的r维的搜索空间。如果没有存储于所述数据存储部11的数据集,则既可以随机地设定D维参数值 x_{exp} ,也可以从过去的调整结果挪用。搜索空间是仿射部分空间。维数r的值既可以是预先决定的值,也可以是随机地决定的值。

[0045] 图3是示出2维参数空间中的1维搜索空间的一个例子的图。也就是说,图3是D=2且r=1的情况下一个例子。图3所示的2维参数空间是根据坐标轴 x_0 以及坐标轴 x_1 规定的空间。等高线图50表示该2维参数空间内的2维的目标函数。等高线图50的中心51对应于目标函数的最小值。4个点表示4个2维参数值。这些2维参数值中的、目标函数的观测值最小的2维参数值被标记为 x_{exp} 。2维参数值 x_{exp} 是1维搜索空间52的基准点。在决定1维搜索空间52的情况下,需要选择关注的1维,在图3中, x_0 被选择为关注的1维。搜索空间决定部12将包含2维参数值 x_{exp} 的沿着 x_0 的1维空间决定为1维搜索空间52。通过这样进行维选择,能够使高维参数的最优化问题局部问题化成低维参数的最优化问题而求解。

[0046] 数据获取部13根据存储于数据存储部11的多个数据集,获取具有从由搜索空间决定部12获取到的搜索空间起的预定的距离中包含的D维参数值的数据集。将具有从搜索空间起的预定的距离中包含的D维参数值的数据集称为搜索空间附近的数据集。搜索空间与D维参数值之间的距离可以从欧几里得距离、曼哈顿距离、余弦距离以及马哈拉诺比斯距离之中任意地选择。余弦距离是从1减去余弦类似度而得到的。余弦距离不满足数学上的距离的公理,但能够用作用于测量与搜索空间的距离的尺度。此外,由数据获取部13获取的数据集既可以是D维参数值与观测值的集合,也可以是r维参数值与观测值的集合。

[0047] 图4是示出2维参数空间中的1维搜索空间附近的数据集的概念的图。也就是说,图4是D=2且r=1的情况下一个例子。1维搜索空间附近的2维参数值是指从1维搜索空间52起的预定的距离为阈值d以下的2维参数值。也就是说,获取从1维搜索空间52起的距离为阈值d以下的空间53中包含的2维参数值 x_{exp} 和2维参数值 x_{oth} 。2维参数值 x_{oth} 包含于空间53,但不包含于1维搜索空间52。在d=0的情况下,1维搜索空间附近的2维参数值意味着1维搜索空间51上的2维参数值。在图4中的4个点之中,1维搜索空间51上的2维参数值仅为 x_{exp} 。在d=0的情况下,2维参数值 x_{oth} 由数据获取部13获取不到。

[0048] 数据获取部13既可以从存储于数据存储部11的多个数据集选择搜索空间附近的数据集,也可以根据存储于数据存储部11的多个数据集来生成。数据获取部13也可以将具有从数据存储部11获取到的搜索空间附近的D维参数值的数据集变换为r维参数值与和该r维参数值对应的目标函数的观测值的数据集。另外,也可以随机地生成搜索空间附近的D维参数值或者r维参数值,根据该参数值制作数据集。

[0049] 图5是示出将20维数据集变换为1维数据集的方法的一个例子的图。也就是说,图5是D=20且r=1的情况下一个例子。图5是由搜索空间决定部12选择的1维参数是 $x_{(2)}$ 的情况下例子,图5的左侧是从数据存储部11获取到的1维搜索空间附近的20维数据集。该20维的数据集的向1维的数据集的变换例如通过将由搜索空间决定部12选择的1维参数 $x_{(2)}$ 的值和目标函数的观测值y设为集合来数据化而进行。

[0050] 参数搜索部14使用基于由数据获取部13获取到的一个以上的数据集的目标函数的代理模型,在由搜索空间决定部12决定的搜索空间内决定能够对目标函数进行最优化的D维参数值 x_{next} 或者r维参数值 x^r_{next} 。具体而言,参数搜索部14根据获取到的数据集生成目

标函数的代理模型,将对代理模型进行最优化的r维搜索空间内的D维参数值或者r维参数搜索为能够对目标函数进行最优化的D维参数值 x_{next} 或者r维参数值 x_{next}^r 。在从数据获取部13获取到的数据集的参数值是D维的情况下,搜索D维参数值 x_{next} 。另一方面,在从数据获取部13获取到的数据集的参数值是r维的情况下,搜索r维参数值 x_{next}^r 。在参数值的搜索中使用贝叶斯最优化等即可。

[0051] 数据生成部15生成包含与由参数搜索部14搜索出的D维参数值 x_{next} 或者r维参数值 x_{next}^r 对应的目标函数的观测值 y_{next} 以及该D维参数值 x_{next} 或者r维参数值 x_{next}^r 的数据集。

[0052] 具体而言,数据生成部15在由参数搜索部14搜索到D维参数值 x_{next} 的情况下,将D维参数值 x_{next} 输入到观测值输出装置3。观测值输出装置3执行仿真、实验、问卷调查,从D维参数值 x_{next} 输出观测值 y_{next} 。数据生成部15从观测值输出装置3获取观测值 y_{next} ,生成包含D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集,将该数据集存储于数据存储部11。数据生成部15在由参数搜索部14r搜索到维参数值 x_{next}^r 的情况下,将r维参数值 x_{next}^r 变换为D维参数值 x_{next} 。

[0053] 图6是示出从1维参数值变换为20维参数值的方法的一个例子的图。也就是说,图6是D=20且r=1的情况下一个例子。图6是由搜索空间决定部12选择的1维参数为第3个要素的1维参数值 $x_{(2)}$ 的情况下的例子。也可以如图6那样将1维参数值 x_{next}^1 嵌入到20维参数值 x_{exp} 中的第3个要素的1维参数值 $x_{(2)}$,从而变换为20维参数值 x_{exp} 。

[0054] 之后,数据生成部15将变换后的D维参数值 x_{next} 输入到观测值输出装置3。观测值输出装置3执行仿真、实验、问卷调查而从D维参数值 x_{next} 输出观测值 y_{next} 。数据生成部15从观测值输出装置3获取观测值 y_{next} ,生成包含D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集,将该数据集存储于数据存储部11。

[0055] 最优参数值获取部16将存储于数据存储部11的多个数据集中的与最小的观测值对应的D维参数值选择为最优参数值 x_{best} 。

[0056] 接下来,参照图7,说明具有第1实施方式的参数最优化装置2A的参数最优化系统1的处理动作。图7是示出第1实施方式的参数最优化系统1的处理动作的一个例子的流程图。

[0057] 如图7所示,首先,搜索空间决定部12对作为搜索空间的基准点的参数值 x_{exp} 设定初始参数值(步骤SA1)。初始参数值既可以随机地选择,也可以从过去的调整结果挪用。

[0058] 当进行步骤SA1时,搜索空间决定部12选择小于D维的r维参数(步骤SA2)。另外,搜索空间决定部12如果存在存储于数据存储部11的数据集,则获取目标函数的观测值最小的D维参数值 x_{exp} ,如果没有所有存储的数据集,则获取在步骤SA1中设定的参数值 x_{exp} 。r维参数的选择例如既可以将D维参数预先分割为包括多个r维参数的组,从多个组之中选择一个组,也可以随机地选择。可以每当进行预定次数的与后述第2条件有关的循环的反复时,从多个组之中按顺序选择组。例如,也可以是将 x_0 至 x_4 设定为第1组,将 x_5 至 x_9 设定为第2组,将 x_{10} 至 x_{14} 设定为第3组,将 x_{15} 至 x_{19} 设定为第4组,针对与第2条件有关的循环的每个反复而按顺序选择第1组、第2组、第3组以及第4组。另外,也可以不分组,从D维参数之中随机地选择r维参数。

[0059] 当进行了步骤SA2时,搜索空间决定部12将包括步骤SA2中获取到的D维参数值 x_{exp} 且与在步骤SA2中选择的r维参数对应的r维的仿射部分空间决定为搜索空间(步骤SA3)。具体而言,搜索空间决定部12决定通过参数值 x_{exp} 的r维仿射部分空间。在此,用A表示r维仿射部分空间。A用 $A = x_{exp} + U = \{x_{exp} + u \mid u \in U\}$ 表示。 x_{exp} 是A的位置矢量。U是A所附带的r维线性部

分空间。r维仿射部分空间可以针对与第2条件有关的循环的每个反复而变更。

[0060] 图8是示出1维仿射部分空间61的一个例子的图。即,图8是D=2且r=1的情况下一个例子。图8例示出设定于将 x_0 以及 x_1 作为坐标轴的2维空间的1维仿射部分空间61。设定有1维仿射部分空间61所附带的1维线性部分空间62。1维线性部分空间62通过2维坐标空间的原点。1维仿射部分空间61能够在通过 x_{exp} 的范围内根据与第2条件有关的循环的反复次数来变更1维线性部分空间62。例如,1维仿射部分空间61根据与第2条件有关的循环的反复次数,以与2维空间的各坐标轴平行的方式进行变更。在图8的例子的情况下,变更前的1维仿射部分空间61与和在步骤SA2中选择的1维 x_0 对应的 x_0 轴平行,但在反复与第2条件有关的循环的情况下,也可以与和在步骤SA2中选择的1维 x_1 对应的 x_1 轴平行的方式进行变更。这样,也可以每当反复与第2条件有关的循环时,将1维仿射部分空间61所附带的1维线性部分空间62交替地变更为 x_0 轴和 x_1 轴。搜索空间决定部12将变更后的1维仿射部分空间61设定为1维搜索空间。

[0061] 在 $D>r\geq 2$,仿射部分空间的维为2以上的情况下,针对与第2条件有关的循环的每个反复,以使r维仿射部分空间所附带的r维线性部分空间包括规定D维空间的D个坐标轴中的任意r个坐标轴的方式设定即可。由此,在 x_{exp} 不是零矢量的情况下,r维仿射部分空间与该r个各坐标轴平行。

[0062] 当进行了步骤SA3时,数据获取部13获取从r维搜索空间起处于预定距离(阈值)内的数据集(步骤SA4)。具体而言,数据获取部13从数据存储部11中包含的多个数据集之中选择具有从r维搜索空间起的预定距离内包含的D维参数值(搜索空间附近的D维参数值)的数据集而获取。具体而言,数据获取部13关于 N_0 个数据集分别计算D维参数值与r维搜索空间的距离,确定计算出的距离为预定的距离以下的D维参数值。从数据存储部11获取包含所确定的D维参数值和与该D维参数值对应的观测值的数据集。在此,数据获取部13也可以获取所确定的D维参数值中的r维参数值。在该情况下,数据获取部13也可以将与所确定的D维参数值有关的数据集如图6所示变换为r维参数值与和该r维参数值有关的数据集。距离的阈值无需是固定值,也可以设为可变。距离的阈值例如也可以在与后述步骤SA11、SA12有关的循环中每次进行变更。也可以根据该循环的反复次数来变更。也可以是反复次数越多,则将阈值设定得越小。

[0063] 用N表示由数据获取部13获取到的数据集的个数。用 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 表示N个数据集。存储于数据存储部11的数据集的数量 N_0 通过反复与第1条件有关的循环以及与第2条件有关的循环而增加,所以与和第1条件有关的循环以及与第2条件有关的循环的反复相应地,个数N的值会变化。

[0064] 当进行步骤SA4时,数据获取部13在步骤SA4中判定是否从数据存储部11获取到一个以上的数据集(步骤SA5)。

[0065] 当在步骤SA5中判定为获取到一个以上的数据集的情况下(步骤SA5:是),参数搜索部14根据一个以上的数据集生成目标函数的代理模型(步骤SA6)。如上述那样,在步骤SA6中,参数搜索部14作为一个例子,通过高斯过程回归将目标函数模型化。当在步骤SA4中获取到的数据集的参数值是D维参数值的情况下,将目标函数模型化为D维参数的函数。当在步骤SA4中获取到的数据集的参数值是r维参数值的情况下,将目标函数模型化为r维参数的函数。

[0066] 当进行了步骤SA6时,参数搜索部14使用代理模型在r维搜索空间内搜索使目标函数的观测值最小的可能性高的D维参数值 x_{next} 或者r维参数值 x_{next}^r (步骤SA7)。在将目标函数模型化成D维参数的函数的情况下,搜索D维参数值 x_{next} ,在将目标函数模型化成r维参数的函数的情况下,搜索r维参数值 x_{next}^r 。

[0067] 在此,详细地说明步骤SA6以及步骤SA7。在目标函数的代理模型的生成中,既可以使用高斯过程回归,也可以使用TPE(Tree-structured Parzen Estimator,树状结构Parzen估计法)、随机森林回归等其它代理模型。

[0068] 在贝叶斯最优化的情况下,可以使用作为D维参数的函数的高斯过程回归。在该情况下,参数搜索部14根据在步骤SA4中获取到的N个数据集 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N-1\}$,作为目标函数的代理模型,生成高斯过程回归模型。接下来,参数搜索部14使用高斯过程回归模型,计算与任意的D维参数值 x_* 对应的目标函数的观测值 y_* 的预测分布的平均值 $m(x_*)$ 和标准偏差 $\sigma(x_*)$ 。参数搜索部14根据平均值 $m(x_*)$ 和标准偏差 $\sigma(x_*)$ 计算获得函数 $a(x_*)$ 。参数搜索部14将使获得函数 $a(x_*)$ 最大的D维参数值 x_{next} 限制在r维搜索空间内而决定。D维参数值 x_{next} 被决定为使目标函数的观测值最小的可能性高的D维参数值。

[0069] 在从数据获取部13获取到的参数值是r维的情况下,当使用高斯过程回归模型时,能够计算与任意的r维参数值 x_*^r 对应的目标函数的观测值 y_* 的预测分布的平均值 $m_r(x_*^r)$ 和标准偏差 $\sigma_r(x_*^r)$ 。然后,求出在r维搜索空间内使使用平均值 $m_r(x_*^r)$ 和标准偏差 $\sigma_r(x_*^r)$ 计算的获得函数 $a_r(x_*^r)$ 最大的r维参数值 x_{next}^r ,将该r维参数值 x_{next}^r 设为使目标函数的观测值最小的可能性高的r维参数值。当与从数据获取部13获取到的参数值是D维的情况下公式进行比较时,存在有或没有上标r的区别。作为r维的情况下公式,对D维的情况下公式附加上标r即可,所以以后有时将参数值是r维的情况下说明省略一部分。

[0070] 获得函数例如既可以使用PI(Probability of Improvement,改善概率),也可以使用EI(Expected Improvement,预期改善)。或者,也可以使用UCB(Upper Confidential Bound,置信区间上界)、TS(Thompson Sampling,汤普森采样)、ES(Entropy Search,熵搜索)、MI(Mutual Information,互信息)。另外,作为求出使获得函数最大的D维参数值 x_{next} 的方法,例如已知全搜索、随机搜索、网格搜索、牛顿法、L-BFGS、DIRECT、CMA-ES、多开始局部搜索等。作为获得函数的最大化方法,不限于这些,可以使用任意的方法。

[0071] 在此,详细地说明高斯过程回归。将由数据获取部13获取到的N个数据集设为 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 。在高斯过程回归中,假定为与输入参数值的矢量 $\{x_n | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 对应的目标函数的观测值的矢量 $\{y_n | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 遵循高斯分布 $\text{Norm}(m, K+s^2I)$ 而模型化。 m 是N维的平均矢量。 m 的第*i*分量根据平均函数 $m_0(x_i)$ 来计算。 K 是表示所有的输入参数值 x_n 之间的协方差的N×N矩阵。 K 的第 (x_i, x_j) 分量根据核函数 $k(x_i, x_j)$ 来计算。核函数例如也可以是高斯核、Matern核、线性核。 s 是观测目标函数 $f(\cdot)$ 时的噪声分量的标准偏差。 I 是N×N的单位矩阵。另外,关于 m_0 ,对数据适当地进行处理而作为0矢量对待的情形较多。因而,以下,设为以遵循高斯分布 $\text{Norm}(0, K+s^2I)$ 的方式进行模型化而进行说明。

[0072] 在使用高斯过程回归模型来预测与任意的D维参数值 x_* 对应的目标函数的观测值 y_* 的分布的情况下,观测值 y_* 的预测分布的平均值 $m(x_*)$ 按照 $m(x_*) = k(x_*, x_{0:N-1})^T(K+s^2I)^{-1}y_{0:N-1}$ 计算,分散 $\sigma^2(x_*)$ 按照 $\sigma^2(x_*) = k(x_*, x_*) - k(x_*, x_{0:N-1})^T(K+s^2I)^{-1}k(x_*, x_{0:N-1})$ 计算。已知在观测值 y_* 的预测分布的计算中使用的 $K+s^2I$ 的逆矩阵 $(K+s^2I)^{-1}$ 是N行N列的逆

矩阵,其计算量的阶(order)是 $O(N^3)$ 。在参数值是r维的情况下也同样地,计算量的阶是 $O(N^3)$ 。另一方面,在不利用由数据获取部13获取到的N个数据集,而利用存储于数据存储部11的 N_0 个数据集的所有数据集的情况下,对应的逆矩阵的计算量的阶是 $O(N_0^3)$ 。

[0073] 如本实施方式的数据获取部13那样,从存储于数据存储部11的 N_0 个数据集之中选择在高斯过程回归中使用的N个数据集,从而能够减少用于高斯过程回归的数据集数来减少 $K+s^2I$ 的逆矩阵 $(K+s^2I)^{-1}$ 的计算量。由此,能够解决 $K+s^2I$ 的逆矩阵 $(K+s^2I)^{-1}$ 的计算量的课题。除此之外,作为数据集的选择方针而利用r维搜索空间附近的数据集会防止搜索效率的劣化。也就是说,通过本实施方式,能够同时实现计算量的削减和搜索效率的劣化抑制。

[0074] 在不使用高斯过程回归而使用TPE的情况下,在步骤SA2中,搜索空间决定部12设定为 $r=1$ 。在步骤SA6中,参数搜索部14根据预先决定的阈值,分为数据集的目标函数的观测值比阈值小的组和阈值以上的组这两个组,通过核密度推测将两个组的r维参数值 x^r 的分布模型化。将目标函数的观测值比阈值小的组的分布设为 $l(x^r)$,将目标函数的观测值比阈值大的组的分布设为 $g(x^r)$ 。分布 $l(x^r)$ 和分布 $g(x^r)$ 对应于目标函数的代理模型。

[0075] 接下来,在步骤SA7中,参数搜索部14将使 $g(x^r)/l(x^r)$ 最小的r维参数值 x_{next}^r 决定为使目标函数的观测值最小的可能性高的r维参数值。即使在使用TPE的情况下,使用的数据集也被限制为搜索空间附近的数据集,所以能够削减 $g(x^r)/l(x^r)$ 等的计算量。防止搜索效率的劣化。因而,根据本实施方式,能够同时实现计算量的削减和搜索效率的劣化抑制。

[0076] 当在步骤SA5中判定为未获取到一个以上数据集的情况下(步骤SA5:否),数据获取部13获取D维参数值 x_{next} (步骤SA8)。在步骤SA8中,数据获取部13作为用于计算目标函数的观测值的D维参数值 x_{next} 而例如获取在步骤SA2中设定的D维参数值 x_{exp} 。数据获取部13也可以从r维搜索空间内随机地生成D维参数值 x_{next} 。此外,数据获取部13也可以通过与D维参数值 x_{next} 同样的手法,获取r维参数值 x_{next}^r 。

[0077] 在进行了步骤SA7或者SA8的情况下,观测值输出装置3根据在步骤SA7或者SA8中搜索或者获取到的D维参数值 x_{next} 输出目标函数的观测值(步骤SA9)。具体而言,首先,数据生成部15将在步骤SA7或者SA8中搜索或者获取到的D维参数值 x_{next} 通知给观测值输出装置3。数据生成部15当在步骤SA7或者SA8中搜索或者获取到r维参数值 x_{next}^r 的情况下,将r维参数值 x_{next}^r 变换为D维参数值 x_{next} ,通知给观测值输出装置3。观测值输出装置3使用D维参数值 x_{next} 来执行仿真、实验或者问卷调查等,输出与该D维参数值 x_{next} 对应的目标函数的观测值。

[0078] 例如,观测值输出装置3具有仿真器及实验装置和变换装置。仿真器及实验装置和变换装置通过计算机来实现。仿真器及实验装置按照D维参数值 x_{next} 实施仿真、实验或者问卷调查,或者在观测值输出装置3的外部获取实施仿真、实验或者问卷调查的结果,输出关于D维参数值 x_{next} 的一个以上的项目的特性值。变换装置从仿真器及实验装置获取特性值,将获取到的特性值变换为标量。变换为标量后的特性值作为与D维参数值 x_{next} 有关的目标函数的观测值 y_{next} 而发送到数据生成部15。

[0079] 此外,仿真器及实验装置和变换装置也可以通过单一的计算机来实现。另外,也可以是仿真器及实验装置和变换装置中的任意一方被嵌入到参数最优化装置2A,例如,包含于数据生成部15。

[0080] 当进行了步骤SA9时,数据存储部11将包含步骤SA7或者SA8中搜索或者获取到的D

维参数值 x_{next} 和在步骤SA9中输出的观测值的数据集存储于数据存储部11(步骤SA10)。具体而言,首先,数据生成部15将在步骤SA7或者SA8中搜索或者获取到的D维参数值 x_{next} 与在步骤SA9中输出的观测值 y_{next} 进行结合,生成数据集 (x_{next}, y_{next}) 。然后,数据存储部11存储所生成的数据集 (x_{next}, y_{next}) 。

[0081] 当进行了步骤SA10时,数据获取部13判定是否满足第1条件(步骤SA11)。第1条件规定有在由搜索空间决定部12决定的r维搜索空间内反复参数搜索的次数。因而,在该反复中,r维搜索空间不发生改变。满足第1条件是指,例如既可以是次数超过预先决定的次数的情况,也可以是经过时间超过预先决定的时间的情况,也可以是目标函数的观测值的改善量低于预先决定的值的情况。或者,也可以是将它们组合的条件。

[0082] 在判定为不满足第1条件的情况下(步骤SA11:否),数据获取部13关于相同的r维搜索空间执行步骤SA4的处理。之后,进行步骤SA5至步骤SA11。直至在步骤SA11中判定为满足第1条件为止,反复进行数据存储部11、数据获取部13、参数搜索部14以及数据生成部15的步骤SA4至步骤SA11的处理,关于相同的r维搜索空间反复进行D维参数值 x_{next} 的搜索或者获取和包含该D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集 (x_{next}, y_{next}) 的生成以及存储。步骤SA4至步骤SA11的一连串的处理既可以通过多个任务并行地执行,也可以串行地执行。在该情况下,在各任务中设置有数据存储部11,在各数据存储部11中积蓄对应的任务的多个数据集 (x_{next}, y_{next}) 。

[0083] 然后,当在步骤SA11中判定为满足第1条件的情况下(步骤SA11:是),搜索空间决定部12判定是否满足第2条件(步骤SA12)。第2条件规定有基于搜索空间决定部12的r维搜索空间的决定次数。r的值既可以是预先决定的值,也可以是随机地决定的值。满足第2条件是指,例如既可以是次数超过预先决定的次数的情况,也可以是经过时间超过预先决定的时间的情况,也可以是目标函数的观测值的改善量低于预先决定的值的情况。或者,也可以是将它们组合的条件。

[0084] 在判定为不满足第2条件的情况下(步骤SA12:否),搜索空间决定部12选择D维参数中的不同的r维参数(步骤SA2)。另外,搜索空间决定部12从存储于数据存储部11的数据集获取目标函数的观测值最小的D维参数值 x_{exp} 。r维参数的选择既可以如上述那样在将D维参数预先分割为多个r维参数的组的情况下,从多个组之中按顺序选择一个,也可以随机地选择。另外,也可以从D维参数之中随机地选择r维参数。也可以在小于D的范围随机地设定r的值。之后,进行步骤SA3至步骤SA12。直至在步骤SA12中判定为满足第2条件为止,反复进行数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14以及数据生成部15的步骤SA2至步骤SA12的处理,一边变更r维参数,即一边变更r维搜索空间,一边反复进行D维参数值 x_{next} 的搜索或者获取和包含该D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集 (x_{next}, y_{next}) 的生成以及存储。步骤SA2至步骤SA12的一连串的处理既可以通过多个任务并行地执行,也可以串行地执行。在该情况下,在各任务中设置有数据存储部11,在各数据存储部11中,积蓄对应的任务的多个数据集 (x_{next}, y_{next}) 。

[0085] 此外,在步骤SA4至步骤SA11的一连串的处理通过多个任务并行或者串行地执行的情况下,也可以在判定为满足第1条件之后,在进行步骤SA2的处理之前,数据生成部15获取存储于各任务的数据存储部11的多个数据集中的使目标函数的观测值最小的D维参数值。获取到的D维参数值和与该D维参数值对应的观测值的数据集存储于各任务的数据存储

部11。

[0086] 然后,当在步骤SA12中判定为满足第2条件下(步骤SA12:是),最优参数值获取部16从存储于数据存储部11的数据集之中获取目标函数的观测值最小的最优参数值 x_{best} (步骤SA13)。最优参数值 x_{best} 被输出到外部的装置。在是制造阶段的情况下,最优参数值 x_{best} 例如意味着使制造时的成品率最大化的参数值、使出货后的故障率最小化的参数值。在活用阶段的情况下,最优参数值 x_{best} 例如意味着到达用户手头的设备、部件发挥符合用户的利用环境的性能的参数值。最优参数值 x_{best} 也可以在输出目的地的外部装置中根据各种目的而被利用。此外,最优参数值 x_{best} 也可以存储于数据存储部11,或者显示于显示设备。

[0087] 此外,在步骤SA2至步骤SA12的一连串的处理通过多个任务并行或者串行地执行的情况下,也可以在判定为满足第2条件之后,最优参数值获取部16获取存储于各任务的数据存储部11的多个数据集中的使目标函数的观测值最小的最优参数值 x_{best} 。

[0088] 基于以上,第1实施方式的参数最优化系统1的处理动作结束。

[0089] 如上述那样,根据第1实施方式,将在代理模型的计算中使用的数据集限制为搜索空间附近的数据集,所以相比于以往,能够削减代理模型的计算量。另外,作为在代理模型的计算中使用的数据集,活用从搜索空间起的距离比较短的数据集,从而防止参数值 x_{next} 的搜索效率的劣化。即,能够同时实现计算量的削减和搜索效率的劣化抑制,最优参数值 x_{best} 的搜索效率换言之参数最优化的效率提高。

[0090] (第2实施方式)

[0091] 接下来,说明第2实施方式的参数最优化系统1以及参数最优化装置2B。此外,在以下的说明中,关于具有与第1实施方式大致相同的功能的构成要素,附加相同的符号,仅在必要的情况下重复说明。

[0092] 图9是示出第2实施方式的参数最优化系统1的功能结构例的图。如图9所示,第2实施方式的参数最优化系统1具有参数最优化装置2B和观测值输出装置3。

[0093] 参数最优化装置2B具有数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14、数据生成部15、最优参数值获取部16、维获取部17、距离获取部18、阈值获取部19、显示部20以及外部数据获取部21。

[0094] 维获取部17获取由用户经由输入设备等输入的维数r。例如,维获取部17获取输入到显示于显示部20的用于输入维数r的GUI(Graphical User Interface,图形用户界面)画面(以下,称为维输入画面)的维数r。

[0095] 距离获取部18获取由用户经由输入设备等输入的距离的种类。例如,距离获取部18获取输入到显示于显示部20的用于输入距离的种类的GUI画面(以下,称为距离种类输入画面)的距离的种类。

[0096] 阈值获取部19获取由用户经由输入设备等输入的针对从r维搜索空间起的距离的阈值。例如,阈值获取部19获取输入到显示于显示部20的用于输入阈值的GUI画面(以下,称为阈值输入画面)的阈值。

[0097] 显示部20将维输入画面、距离种类输入画面、阈值输入画面等显示于显示设备。显示设备例如通过显示器、投影仪来实现即可。

[0098] 外部数据获取部21从参数最优化装置1B的外部的装置获取多个数据集。

[0099] 接下来,参照图10,说明具有第2实施方式的参数最优化装置2B的参数最优化系统1的处理动作。图10是示出第2实施方式的参数最优化系统1的处理动作的一个例子的流程图。

[0100] 如图10所示,维获取部17、距离获取部18以及/或者阈值获取部19获取依照来自用户的经由输入设备的指示的各种设定值(步骤SB1)。设定值设为是维数r、距离的种类以及阈值的总称。

[0101] 在步骤SB1中,维获取部17受理来自用户的关于维数的指示,供给到搜索空间决定部12和显示部20。例如,维获取部17受理针对显示于显示部20的维获取画面的由用户进行的维数的输入指示。

[0102] 图11是示出维获取画面I1的一个例子的图。如图11所示,在维获取画面I1,显示“请输入搜索空间的维数r”等催促维数r的输入的消息、维数r的显示栏I11以及上下按钮I12。在显示栏I11,显示由用户指定的维数r的数值。上下按钮I12由用户经由输入设备按下,从而上调下凋维数r的数值。上下按钮I12被按下,从而显示部20以预定值为单位上调下凋显示于显示栏I11的维数r的数值。显示于显示部20的数值作为维数的输入指示而被维获取部17受理。

[0103] 此外,图11所示的维获取画面I1是一个例子,能够进行各种变更。例如,也可以在维获取画面I1,显示用于用户经由输入设备直接地输入维数r的数值的文本框。由用户在文本框内输入表示维数的数值,从而输出使维获取部17受理的维数的指示。在本实施方式中设想的r是1以上且小于D的整数值,所以维获取部17也可以限制输入值,使得无法进行小于1或者D以上的数值、小数的输入。另外,维获取部17也可以在输入了小于1或者D以上的数值、小数的情况下,使错误显示于显示部20。

[0104] 由用户进行的维数的输入指示不是必须的。在没有来自用户的维数的输入指示的情况下,维获取部17将维数的默认值供给到搜索空间决定部12和显示部20。默认值例如被设定为“1”即可。默认值也可以显示于文本框。

[0105] 在步骤SB1中距离获取部18受理来自用户的关于距离的种类的指示,供给到搜索空间决定部12和显示部20。例如,距离获取部18受理针对显示于显示部20的距离种类输入画面的由用户进行的距离的种类的输入指示。

[0106] 图12是示出距离种类输入画面I2的一个例子的图。如图12所示,在距离种类输入画面I2,显示“请选择距离的种类”等催促距离的种类的输入的消息、距离的种类的候补显示栏I21以及选择按钮I22。在候补显示栏I21,例如显示欧几里得距离、曼哈顿距离、余弦距离、马哈拉诺比斯距离等。选择按钮I22与显示于候补显示栏I21的多个候补分别对应地设置。由用户经由鼠标等输入设备按下选择按钮I22,从而对应的距离的种类作为距离的种类的输入指示而被距离获取部18受理。

[0107] 此外,图12所示的距离种类输入画面I2是一个例子,能够进行各种变更。例如,也可以在距离种类输入画面I2显示用于用户经由输入设备直接地输入距离的种类的文本框。由用户在文本框内输入表示距离的种类的字符串,从而输出使距离获取部18受理的距离的种类的指示。

[0108] 由用户进行的距离的种类的输入指示不是必须的。在没有由用户进行的距离的种类的输入指示的情况下,距离获取部18将距离的种类的默认值供给到数据获取部13和显示

部20。默认值例如可以设定为欧几里得距离。但是，默认值也可以设定为曼哈顿距离、余弦距离、马哈拉诺比斯距离。存在D种类的参数各自的单位、尺度、定义域不同的情况、马哈拉诺比斯距离有效的情况。关于在高斯过程回归中利用的核函数的距离尺度，也可以不采用欧几里得距离而采用曼哈顿距离、余弦距离、马哈拉诺比斯距离。

[0109] 在步骤SB1中，阈值获取部19受理来自用户的关于阈值的指示，供给到数据获取部13和显示部20。由阈值获取部19获取的阈值是针对从搜索空间起的距离的阈值。例如，阈值获取部19受理针对显示于显示部20的阈值输入画面的由用户进行的阈值的输入指示。

[0110] 图13是示出阈值输入画面I3的一个例子的图。如图13所示，在阈值输入画面I3，显示“请输入针对从搜索空间起的距离的阈值”等催促阈值的输入的消息、阈值的显示栏I31以及上下按钮I32。在显示栏I31，显示由用户指定的阈值d的数值。上下按钮I32由用户经由输入设备按下，从而上调下调阈值d的数值。通过按下上下按钮I32，从而显示部20以预定值为单位上调下调显示于显示栏I31的阈值d的数值。显示于显示部20的数值作为阈值d的输入指示而被维获取部17受理。

[0111] 此外，图13所示的阈值输入画面I3是一个例子，能够进行各种变更。例如，也可以在阈值输入画面I3，显示用于用户经由输入设备直接地输入阈值d的数值的文本框。由用户在文本框内输入表示阈值d的数值，从而输出使阈值获取部19受理的阈值d的指示。在本实施方式中设想的阈值d是0.0以上的小数，所以阈值获取部19也可以限制输入值，以使得无法进行负的值的输入。另外，阈值获取部19也可以在输入了负的值的情况下，使错误显示于显示部20。

[0112] 由用户进行的阈值的输入指示不是必须的。在没有来自用户的阈值的输入指示的情况下，阈值获取部19将阈值的默认值供给到搜索空间决定部12和显示部20。默认值例如设定为“0.0”、任意的正的值即可。默认值也可以显示于文本框。在没有来自用户的阈值的输入指示的情况下，阈值保持默认值而无需设为固定值，也可以自动地变更。阈值例如也可以在与后述步骤SB10、SB11、SB12有关的循环中，每次进行变更。也可以根据该循环的反复次数来进行变更。也可以是反复次数越多，则将阈值设定得越小。

[0113] 当进行了步骤SB1时，外部数据获取部21从观测值输出装置3等外部装置获取 N_0 个数据集 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N_0-1\}$ （步骤SB2）。由此，获取过去的仿真、实验、问卷调查等的结果。获取到的 N_0 个数据集存储于数据存储部11。

[0114] 当进行了步骤SB2时，搜索空间决定部12设定参数值 x_{exp} （步骤SB3）。参数值 x_{exp} 被设定为存储于数据存储部11的 N_0 个数据集中的与最小的观测值对应的D维参数值。

[0115] 当进行了步骤SB3时，搜索空间决定部12选择小于D维的r维参数（步骤SB4）。步骤SB4与步骤SA3大致相同。此外，维数r使用在步骤SB1中由维获取部17获取到的维数。

[0116] 当进行了步骤SB4时，数据获取部13获取从r维搜索空间起处于预定距离内的数据集（步骤SB5）。步骤SB5与步骤SA4大致相同。此外，距离的种类使用在步骤SB1中由距离获取部18获取到的距离的种类。阈值使用在步骤SB1中由阈值获取部19获取到的阈值。用 $\{(x_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 表示获取到的N个数据集。与和第1条件有关的循环的反复相应地，N的值发生变化。

[0117] 当进行了步骤SB5时，参数搜索部14根据一个以上的数据集生成目标函数的代理模型（步骤SB6）。步骤SB6与步骤SA6大致相同。

[0118] 当进行了步骤SB6时,参数搜索部14使用代理模型搜索r维搜索空间,决定使目标函数的观测值最小的可能性高的参数值 x_{next} (步骤SB7)。步骤SB7与步骤SA7大致相同。

[0119] 当进行了步骤SB7时,观测值输出装置3根据在步骤SB7中决定的D维参数值 x_{next} 输出目标函数的观测值 y_{next} (步骤SB8)。步骤SB8与步骤SA9大致相同。

[0120] 当进行了步骤SB8时,数据存储部11将包含步骤SB7中决定的D维参数值 x_{next} 和在步骤SB8中输出的观测值 y_{next} 的数据集(x_{next}, y_{next})存储于数据存储部11(步骤SB9)。步骤SB9与步骤SA10大致相同。

[0121] 当进行了步骤SB9时,数据获取部13判定是否满足第1条件(步骤SB10)。与第2实施方式有关的第1条件规定为与该第1条件有关的循环的反复次数达到预定次数。

[0122] 在判定为不满足第1条件的情况下(步骤SB10:否),进行步骤SB5至步骤SB10。直至在步骤SB10中判定为满足第1条件为止,反复进行数据存储部11、数据获取部13、参数搜索部14以及数据生成部15的步骤SB5至步骤SB10的处理,关于相同的r维搜索空间,反复进行D维参数值 x_{next} 的搜索或者获取和包含该D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集(x_{next}, y_{next})的生成。

[0123] 然后,当在步骤SB10中判定为满足第1条件的情况下(步骤SB10:是),搜索空间决定部12判定是否满足第2条件(步骤SB11)。与第2实施方式有关的第2条件规定为与该第2条件有关的循环的反复次数达到预定次数。

[0124] 在判定为不满足第2条件的情况下(步骤SB11:否),进行步骤SB3至步骤SB11。反复进行数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14以及数据生成部15的步骤SB3至步骤SB11的处理,直至在步骤SB11中判定为满足第2条件为止。由此,一边变更规定搜索空间的D维参数值 x_{exp} 和包含该参数值的r维搜索空间,一边反复进行D维参数值 x_{next} 的搜索或者获取和包含该D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集(x_{next}, y_{next})的生成。

[0125] 当在步骤SB11中判定为满足第2条件的情况下(步骤SB11:是),搜索空间决定部12判定是否满足第3条件(步骤SB12)。第3条件例如规定为步骤SB3至SB12的反复次数的条件。具体而言,规定为反复次数达到预定的次数。预定的次数设定为1以上的整数。

[0126] 在判定为不满足第3条件的情况下(步骤SB12:否),进行步骤SB3至步骤SB12。反复进行数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14以及数据生成部15的步骤SB3至步骤SB12的处理,直至在步骤SB12中判定为满足第3条件为止。由此,一边变更规定搜索空间的D维参数值 x_{exp} 和包含该参数值的r维搜索空间,一边反复进行D维参数值 x_{next} 的搜索或者获取和包含该D维参数值 x_{next} 和观测值 y_{next} 的数据集(x_{next}, y_{next})的生成。

[0127] 然后,当在步骤SB12中判定为满足第3条件的情况下(步骤SB12:是),最优参数值获取部16从存储于数据存储部11的数据集获取目标函数的观测值最小的最优参数值 x_{best} (步骤SB13)。最优参数值 x_{best} 被输出到外部的装置。

[0128] 基于以上,第2实施方式的参数最优化系统1的处理动作结束。

[0129] 如上述那样,根据第2实施方式,与第1实施方式同样地,将在代理模型的计算中使用的数据集限制为搜索空间附近的数据集,所以相比于以往,能够削减代理模型的计算量。另外,在代理模型的计算中使用的数据集通过活用从搜索空间起的距离比较短的数据集,从而防止参数值 x_{next} 的搜索效率的劣化。即,能够同时实现计算量的削减和搜索效率的劣化抑制,最优参数值 x_{best} 的搜索效率换言之参数最优化的效率提高。

[0130] 进而,根据第2实施方式,能够利用GUI等依照用户指示而设定维数、距离的种类以及阈值等设定项目。因而,能够利用用户的知识效率良好地进行参数最优化。

[0131] (变形例)

[0132] 以下,说明第1实施方式以及/或者第2实施方式的一些变形例。此外,在以下的说明中,关于具有与本实施方式大致相同的功能的构成要素,附加相同的符号,仅在必要的情况下重复说明。

[0133] (变形例1)

[0134] 在上述实施方式中,数据获取部13从存储于数据存储部11的数据库之中获取搜索空间附近的数据集。变形例1的数据获取部13随机地生成搜索空间附近的D维参数值。所生成的D维参数值被供给到数据生成部15。用R表示随机地生成的D维参数值的数量。在此,R是1以上的整数。用 $\{x_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 表示所生成的R个随机的D维参数值。

[0135] 数据生成部15将D维参数值 $\{x_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 发送到观测值输出装置3。

[0136] 接下来,例如,作为观测值输出装置3的构成要素的一个例子的仿真器及实验装置关于R个的D维参数值 $\{x_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 分别实施仿真、实验或者问卷调查,关于 $\{x_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 的各个,输出针对一个以上的项目的特性值。作为观测值输出装置3的构成要素的一个例子的变换装置获取一个以上的特性值,分别变换为标量。变换为标量后的特性值作为与D维参数值 $\{x_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 对应的目标函数的观测值 $\{y_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 而输出。观测值 $\{y_{rand,i} | i=0,1,\dots,R-1\}$ 被发送到数据生成部15。

[0137] 数据生成部15将数据集 $\{(x_{rand,i}, y_{rand,i}) | i=0,1,\dots,R-1\}$ 供给到数据存储部11,数据存储部11存储数据集 $\{(x_{rand,i}, y_{rand,i}) | i=0,1,\dots,R-1\}$ 。

[0138] 最后,数据获取部13从存储于数据存储部11的数据,获取作为要素而具有直至搜索空间为止的距离为阈值以下的D维参数值的数据集。

[0139] 在这样获取到的N个数据集 $\{(x_n, y_n) | n=0,1,\dots,N-1\}$ 中,包含 $\{(x_{rand,i}, y_{rand,i}) | i=0,1,\dots,R-1\}$ 。即,数据获取部13也可以除了从存储于数据存储部11的数据获取作为要素而具有直至搜索空间为止的距离为阈值以下的D维参数值的数据集之外,随机地生成直至搜索空间为止的距离为阈值以下的D维参数值,获取包含该D维参数值和与该D维参数值对应的目标函数的观测值的数据集。

[0140] 由此,不需要高斯过程回归而能够简单地追加直至搜索空间为止的距离为阈值以下的D维参数值。由于不需要高斯过程回归,所以也不需要逆矩阵的计算。

[0141] (变形例2)

[0142] 关于第2实施方式,维获取部17、距离获取部18、阈值获取部19进行动作的定时也可以是与步骤SB1不同的定时。

[0143] 由维获取部17获取的维数r在搜索空间决定部12中被利用。即,在搜索空间决定部12进行动作之前维获取部17进行动作即可。

[0144] 由距离获取部18获取的距离的种类在数据获取部13中被利用。即,在数据获取部13进行动作之前距离获取部18进行动作即可。

[0145] 由阈值获取部19获取的阈值在数据获取部13中被利用。即,在数据获取部13进行动作之前阈值获取部19进行动作即可。

[0146] 也可以针对与第1条件、第2条件、第3条件有关的循环的每个反复,在能够变更维

数、距离的种类、阈值的定时，使维获取部17、距离获取部18、阈值获取部19分别进行动作。

[0147] 由此，能够在各种定时受理来自用户的指示，能够在各种定时变更维数、距离的种类，阈值。

[0148] (变形例3)

[0149] 在上述第1以及第2实施方式的说明中利用的图3、4、5、6、8中，示出了设定为搜索空间的r维仿射部分空间在通过 x_{exp} 的1维仿射部分空间中根据与第2条件以及/或者第3条件有关的循环的反复次数以与D维空间的不同的各坐标轴平行的方式进行控制的例子。在该例子中，将r限定为1，以使r维仿射部分空间所附带的r维线性部分空间包含任意的坐标轴的方式进行了控制。但是，设定为搜索空间的r维仿射部分空间的控制方法不限于此。

[0150] 作为搜索空间的r维仿射部分空间根据维数r和r维仿射部分空间所附带的r维线性部分空间确定。因而，设定为搜索空间的r维仿射部分空间能够通过控制r和r维线性部分空间而控制。在本变形例中，不将r限定为1，也可以在与第2条件、第3条件有关的循环中，在1以上的整数的范围变更r。r既可以在与第2条件、第3条件有关的循环中，按照与预定的顺序、反复次数相应的规则变更，也可以随机地变更。另外，不限于r维仿射部分空间所附带的r维线性部分空间包含任意的坐标轴，也可以在与第2条件、第3条件有关的循环中进行变更。该r维线性部分空间既可以在与第2条件、第3条件有关的循环中，按照与预定的顺序、反复次数相应的规则进行变更，也可以随机地变更。

[0151] 例如，当在某个时间点将r设定为1时，能够将r(=1)维仿射部分空间控制成直线，当在其它某个时间点将r设定为2时，能够将r(=2)维仿射部分空间控制成平面。在r是1的情况下，只要以使r(=1)维仿射部分空间所附带的r(=1)维线性部分空间不包含任意的坐标轴的方式设定，则能够将r(=1)维仿射部分空间控制成通过 x_{exp} 且与任意的坐标轴都不平行的直线。在r是1的情况下，只要以使r(=1)维仿射部分空间所附带的r(=1)维线性部分空间包含某个坐标轴的方式设定，则能够将r(=1)维仿射部分空间控制成通过 x_{exp} 且与该坐标轴平行的直线。在r是2的情况下，只要以使r(=2)维仿射部分空间所附带的r(=2)维线性部分空间不包含任意的坐标轴的方式设定，则能够将r(=2)维仿射部分空间控制成通过 x_{exp} 且与哪个坐标轴都不平行的平面。在r是2的情况下，只要以使r(=2)维仿射部分空间所附带的r(=2)维线性部分空间仅包含一个坐标轴的方式设定，则能够将r(=2)维仿射部分空间控制成通过 x_{exp} 且与该坐标轴平行的平面。在r是2的情况下，只要以使r(=2)维仿射部分空间所附带的r(=2)维线性部分空间包含两个坐标轴的方式设定，则能够将r(=2)维仿射部分空间控制成通过 x_{exp} 且与这两个坐标轴平行的平面。

[0152] 此外，在r维仿射部分空间所附带的r维线性部分空间不包含r个坐标轴的情况下，并非在步骤SA3或者步骤SB4中搜索空间决定部12通过选择小于D维的r维参数来决定r维仿射部分空间，而是如前述那样决定。如果作为搜索空间的r维仿射部分空间被决定，则接着在步骤SA4或者步骤SB5中由数据获取部13作为D维参数值与r维仿射部分空间的距离而计算D维参数值向r维仿射部分空间的射影长度。

[0153] (变形例4)

[0154] D维参数值也可以通过参数最优化装置2A、2B归一化，或者逆归一化。

[0155] 要调整的D种类的参数各自的单位、尺度、定义域不同的情况较多。因而，也可以通过参数最优化装置2A、2B以使定义域例如成为0至1的方式将参数值归一化或者为了恢复为

原来的定义域而归一化后的参数被逆归一化。归一化可以由归一化部进行,逆归一化可以由逆归一化部进行。在进行归一化的情况下归一化部设置于参数最优化装置2A、2B即可,在进行逆归一化的情况下逆归一化部设置于参数最优化装置2A、2B即可。由此,易于同时处理单位、尺度、定义域不同的D种类的参数。

[0156] 此外,归一化以及/或者逆归一化也可以在观测值输出装置3或者其它装置等参数最优化装置2A、2B的外部进行。

[0157] (变形例5)

[0158] 第1实施方式的第2条件以及第2实施方式的第3条件也可以变更为与最优参数值获取部16通过当前的反复处理获取到的最优参数值对应的目标函数的观测值与和通过刚刚之前的反复处理获取到的最优参数值对应的目标函数的观测值的差分的绝对值(改善量)是否为预定的阈值以下这样的条件。关于与最优参数值对应的目标函数的观测值,获取存储于数据存储部11的值即可。

[0159] 由此,能够在基于反复处理的最优参数值的改善量变小的定时结束处理。因此,能够高效地搜索最优参数值。

[0160] (变形例6)

[0161] 在本实施方式中,为了对D维参数值进行最优化,将搜索空间设定为r维仿射部分空间。属于r维仿射部分空间的任意的D维参数值能够用r维矢量表达,该r维矢量能够没有劣化地逆变换为原来的D维矢量。在距离的阈值是0的情况下,由数据获取部13获取的D维参数值属于r维仿射部分空间。因而,在阈值是0的情况下,变形例6的参数搜索部15作为步骤SA6以及SA7和步骤SB6以及SB7而执行以下的处理。

[0162] 变形例6的参数搜索部15将属于r维仿射部分空间的D维参数值 x_n ($n=0, 1, \dots, N-1$) 变换为r维参数值 x^r_n ($n=0, 1, \dots, N-1$)。根据N个数据集 $\{(x^r_n, y_n) | n=0, 1, \dots, N-1\}$ 生成高斯过程回归模型。接下来,通过高斯过程回归模型计算与任意的r维参数值 x^r 有关的目标函数的值 $h(x^r)$ 的平均 $m_r(x^r)$ 和标准偏差 $\sigma_r(x^r)$ 。在此,目标函数 $h(\cdot)$ 是关于将属于r维仿射部分空间的所有D维参数值 x 变换为r维矢量后的r维参数值 x^r 满足 $h(x^r) = f(x)$ 的函数。使用 $m_r(x^r)$ 和 $\sigma_r(x^r)$,求出与r维参数值 x^r 有关的获得函数 $a_r(x^r)$ 最大的 x^r 。作为获得函数、获得函数的最大化方式,也可以采用任意的方式。将把所求出的 x^r 变换为D维参数值的结果设为 x_{next} 。该 x_{next} 属于r维仿射部分空间即搜索空间。将该 x_{next} 供给到数据生成部15。

[0163] 由此,在高斯过程回归中处理的参数的维从D减少到r。另外,在高斯过程回归中利用的核函数的参数的维、在获得函数中处理的参数的维也从D减少到r。由此能够削减计算量。此外,在距离的阈值是正的值的情况下,由数据获取部13获取的D维参数值不属于r维仿射部分空间,但是距离为阈值以下,不远。因而,也可以将由数据获取部13获取的D维参数值射影到r维仿射部分空间,与阈值是0的情况同样地处理。虽然存在逆变换时的劣化,但该劣化误差不大,所以能够得到与阈值是0的情况同样的效果。

[0164] (变形例7)

[0165] 在第1实施方式以及第2实施方式中,设为参数最优化装置2A、2B和观测值输出装置3是不同的计算机。变形例7的观测值输出装置3嵌入于参数最优化装置2A、2B。由此,能够由单一装置将参数自动地最优化。

[0166] (变形例8)

[0167] 第1实施方式、第2实施方式、变形例1、变形例2、变形例3、变形例4、变形例5、变形例6以及变形例7的各实施例能够任意地组合。

[0168] (硬件结构)

[0169] 图14是示出参数最优化装置2A、2B的硬件结构例的图。如图14所示，参数最优化装置2A、2B具备处理电路91、主存储装置92、辅助存储装置93、显示设备94、输入设备95以及通信设备96。处理电路91、主存储装置92、辅助存储装置93、显示设备94、输入设备95以及通信设备96经由总线连接。

[0170] 处理电路91执行从辅助存储装置93读出到主存储装置92的参数最优化程序，作为搜索空间决定部12、数据获取部13、参数搜索部14、数据生成部15、最优参数值获取部16、维获取部17、距离获取部18、阈值获取部19以及外部数据获取部21发挥功能。主存储装置92是RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器) 等存储器。辅助存储装置13是HDD (Hard Disk Drive, 硬盘驱动器)、SSD (Solid State Drive, 固态硬盘) 以及存储卡等。主存储装置92以及辅助存储装置93作为数据存储部11发挥功能。

[0171] 显示设备94显示各种显示信息。显示设备14例如是显示器、投影仪等。显示设备94作为显示部20发挥功能。

[0172] 输入设备95是用于操作计算机的接口。输入设备95例如是键盘、鼠标等。显示设备94以及输入设备95也可以由触摸面板构成。通信设备96是用于与观测值输出装置3等其它装置进行通信的接口。

[0173] 由计算机执行的程序以能够安装的形式或者能够执行的形式的文件记录于CD-ROM、存储卡、CD-R以及DVD (Digital Versatile Disc, 数字多功能盘) 等能够由计算机读取的存储介质，作为计算机程序产品被提供。

[0174] 也可以构成为通过将由计算机执行的程序储存于与因特网等网络连接的计算机上，经由网络进行下载而提供。另外也可以构成为不下载由计算机执行的程序而经由因特网等网络提供。

[0175] 也可以构成为将由计算机执行的程序预先编入到ROM等而提供。由计算机执行的程序是参数最优化装置2A、2B的功能结构(功能块)中的包括通过程序也能够实现的功能块的模块结构。该各功能块作为实际的硬件而由处理电路91从存储介质读出程序而执行，从而上述各功能块被载入到主存储装置92上。即上述各功能块在主存储装置92上生成。

[0176] 也可以不是通过软件实现上述各功能块的一部分或者全部，而是通过IC (Integrated Circuit, 集成电路) 等硬件来实现。在使用多个处理器实现各功能的情况下，各处理器既可以实现各功能中的一个功能，也可以实现各功能中的两个以上的功能。

[0177] 实现参数最优化装置2A、2B的计算机的动作方式可以是任意方式。例如，也可以由1台计算机实现参数最优化装置2A、2B。另外，例如，也可以使参数最优化装置2A、2B作为网络上的云系统进行动作。

[0178] (附言)

[0179] 如上述那样，参数最优化装置2A、2B具有数据存储部11、搜索空间决定部12、数据获取部13以及参数搜索部14。数据存储部11存储包含第1维数D的D维参数值和与D维参数值对应的目标函数的观测值的多个数据集。搜索空间决定部12决定包含预定的D维参数值的比D维小的r维的搜索空间。数据获取部13根据多个数据集获取具有从r维搜索空间起的预

定的距离d中包含的D维参数值的一个以上的数据集或者具有与该数据集对应的r维参数值的数据集。参数搜索部14使用基于获取到的一个以上的数据集的目标函数的代理模型,在r维搜索空间内搜索能够对目标函数进行最优化的D维参数值或者r维参数值。

[0180] 预定的D维参数值在第1实施方式的情况下,在第1个循环中,是在步骤SA1中设定的默认值或者随机值,在第2个循环以后,是在步骤SA2中获取的存储于数据存储部11的多个数据集中的与最小的观测值对应的D维参数值。在第2实施方式的情况下,是在步骤SB3中设定的存储于数据存储部11的多个数据集中的与最小的观测值对应的D维参数值。

[0181] 根据上述结构,在能够对目标函数进行最优化的D维参数值的搜索中,不使用数据存储部11的所有的数据集,而使用具有从r维搜索空间起的距离d中包含的D维参数值的数据集或者具有与该数据集对应的r维参数值的数据集,从而相比于不具有数据获取部13的情况,能够削减搜索有关的计算量。另外,通过使用如上所述接近r维搜索空间的数据集,能够抑制与数据集数的削减相伴的搜索效率的劣化。即,根据本实施方式,能够同时实现计算量的削减和搜索效率的劣化抑制。

[0182] 这样,根据本实施方式,能够高效地搜索最优的参数。

[0183] 说明了本发明的几个实施方式,但这些实施方式是作为例子而提示的,未意图限定发明的范围。这些新的实施方式能够以其它各种方式被实施,能够在不脱离发明的要旨的范围进行各种省略、置换、变更。这些实施方式及其变形包含于发明的范围、要旨,并且包含于专利权利要求书所记载的发明及与其均等的范围。

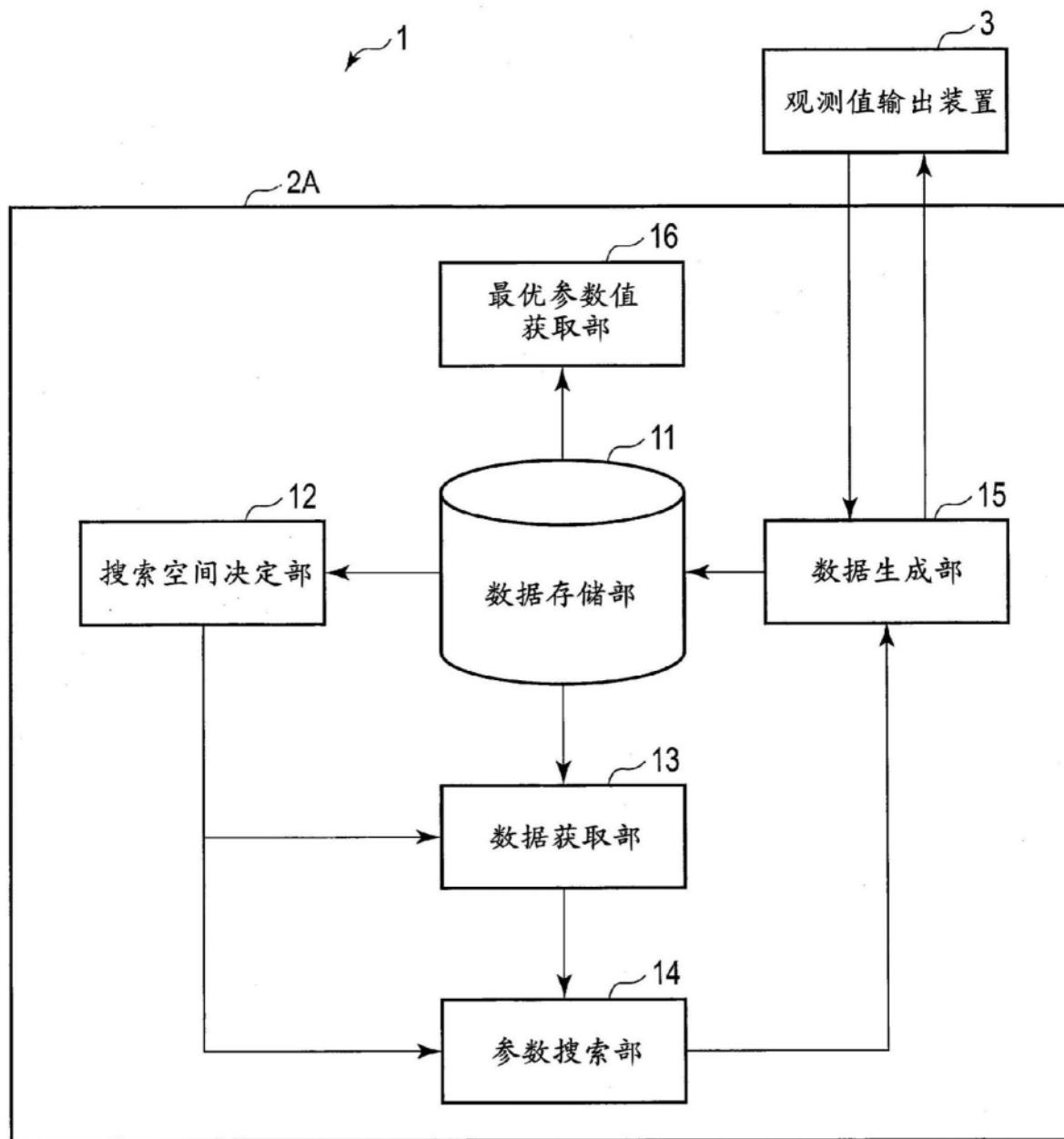


图1

	$x(0)$	$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$...	$x(17)$	$x(18)$	$x(19)$	y
数据集	0.967	1.322	0.950	0.632	...	1.141	1.116	1.525	1.989
数据集	0.868	1.322	0.950	0.632	...	1.141	1.116	1.525	1.875
数据集	0.868	0.745	0.950	0.632	...	1.141	1.116	1.525	2.507
数据集	0.868	0.745	1.568	0.632	...	1.141	1.116	1.525	1.876
...
数据集	0.777	1.557	0.810	0.451	...	0.998	0.643	1.34	0.773

图2

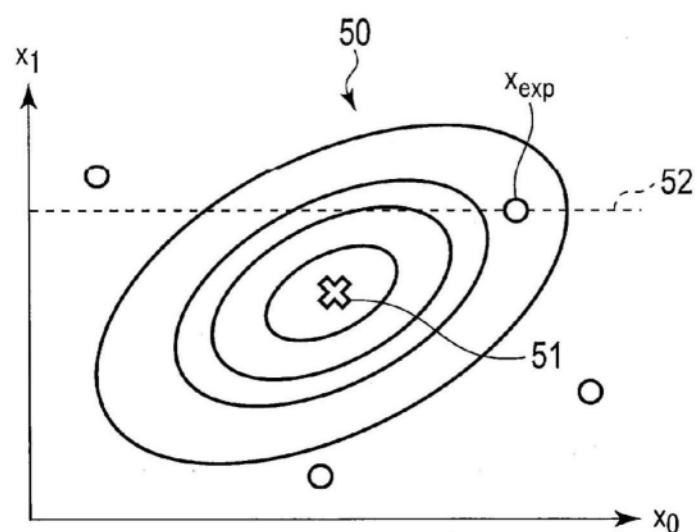


图3

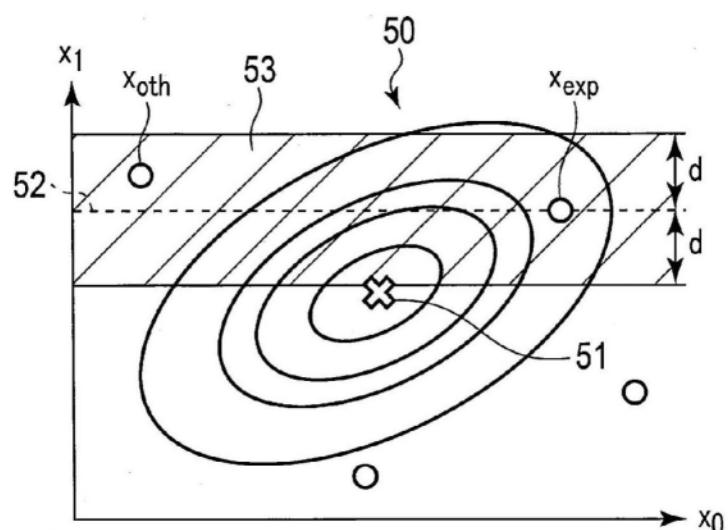


图4

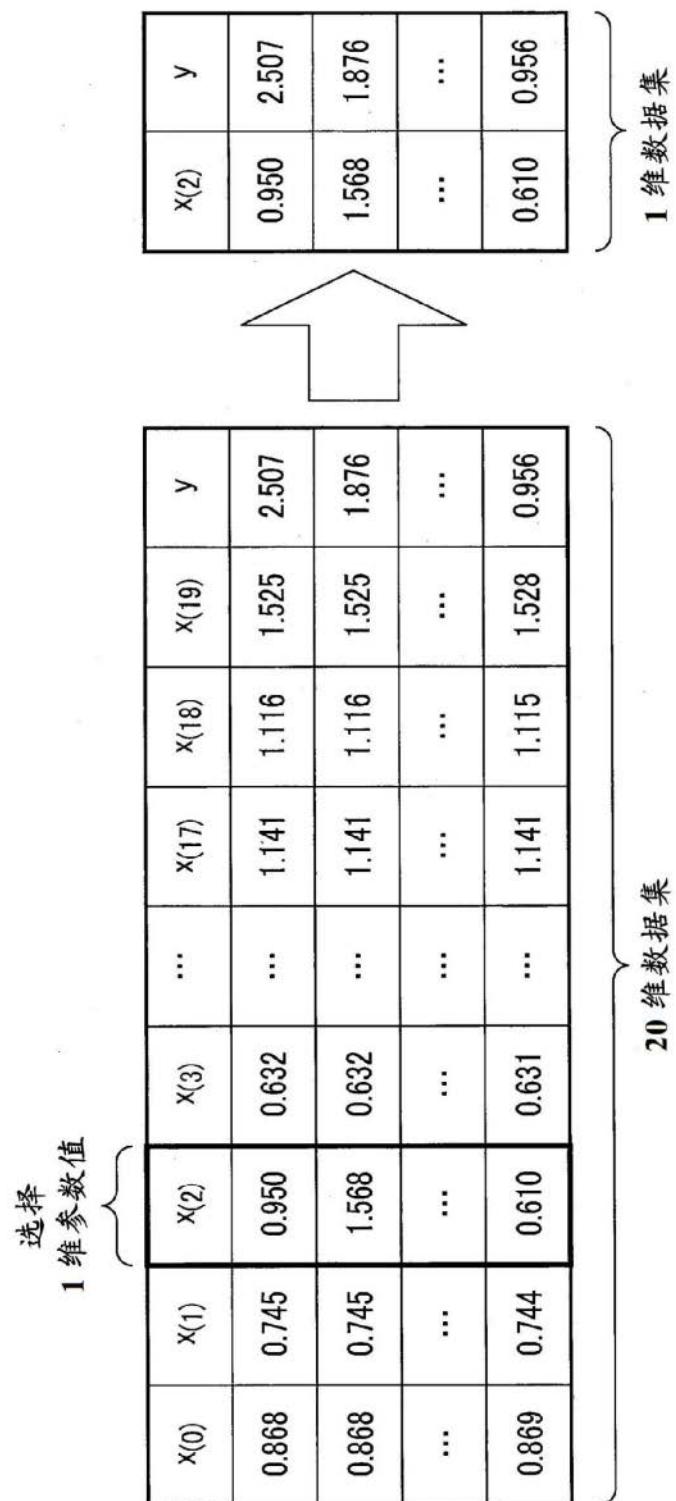


图5

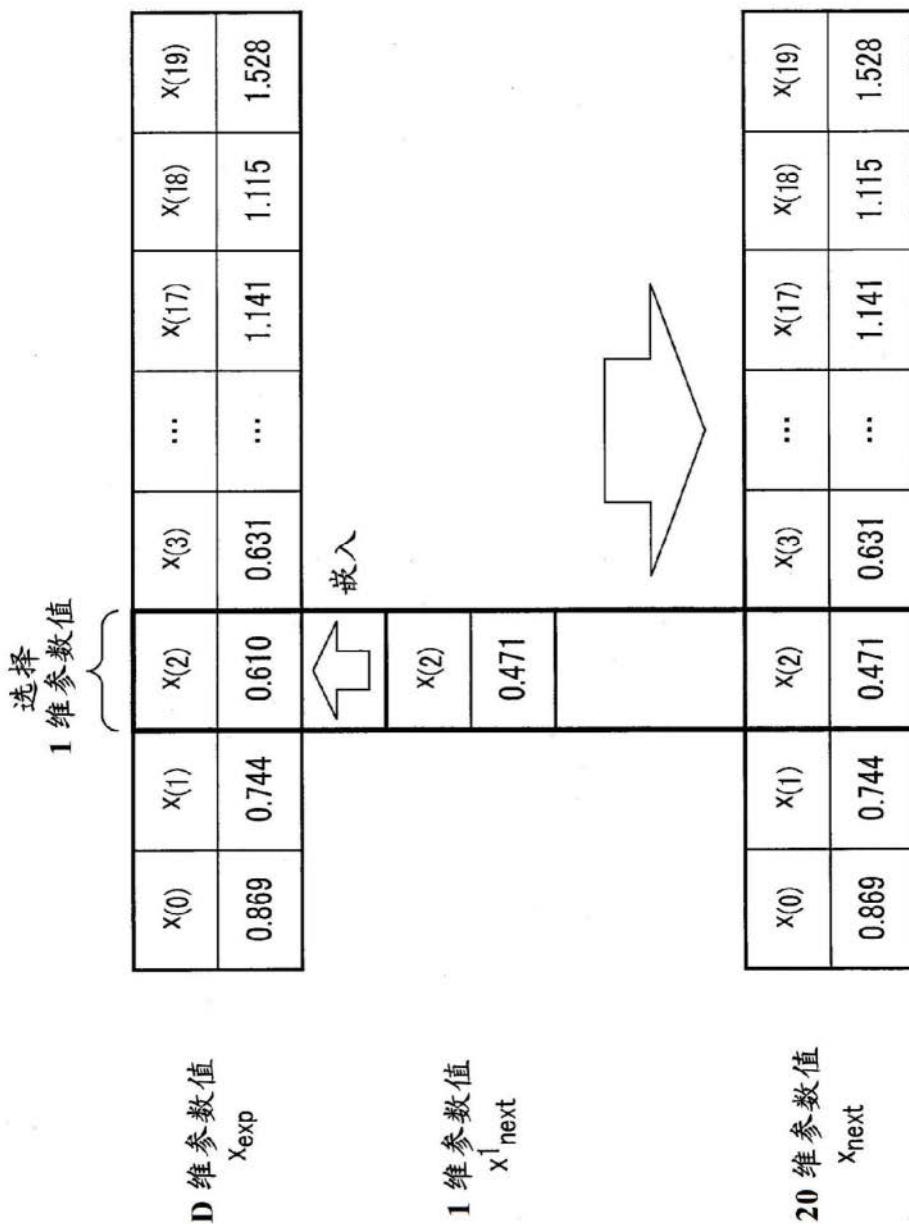


图6

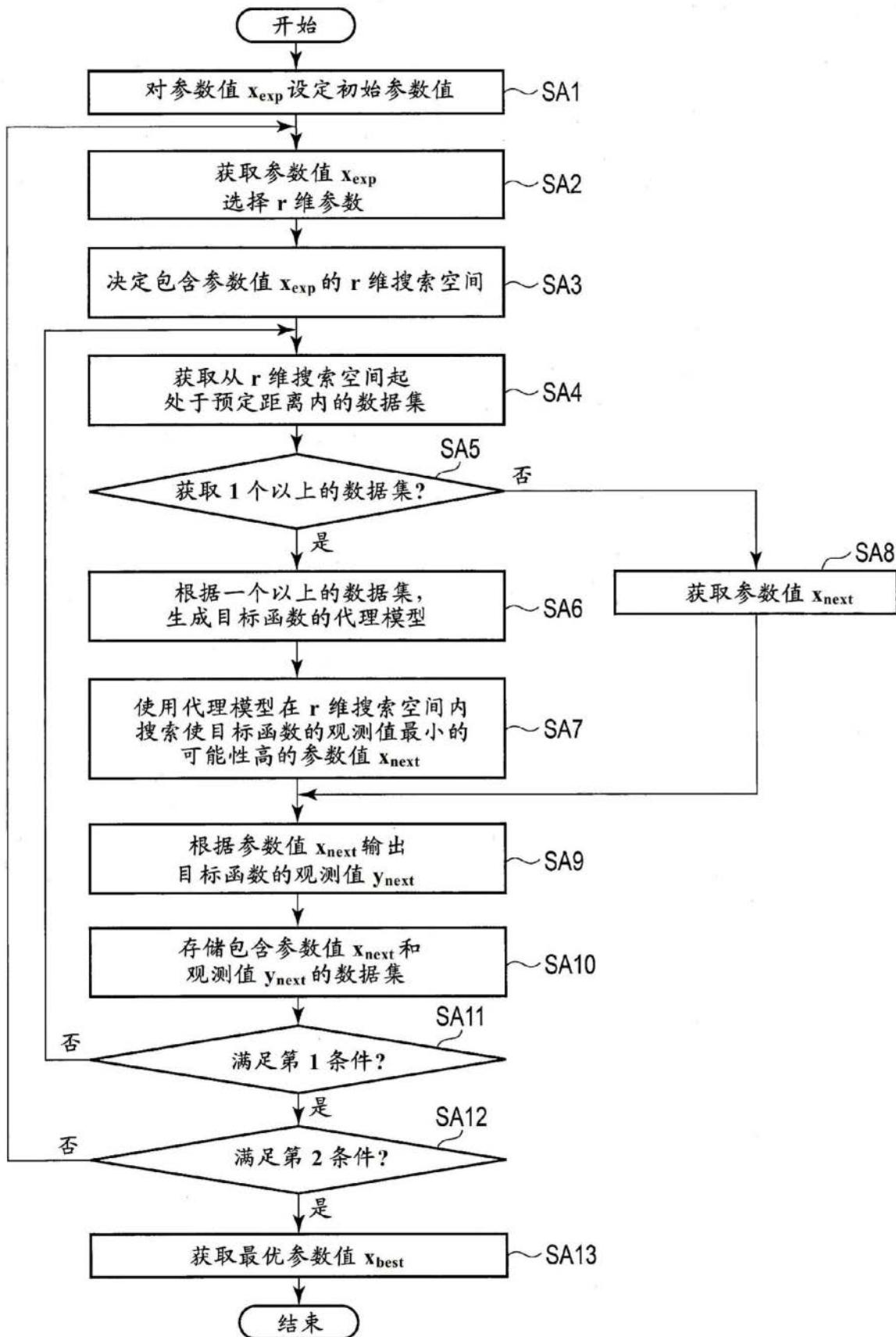


图7

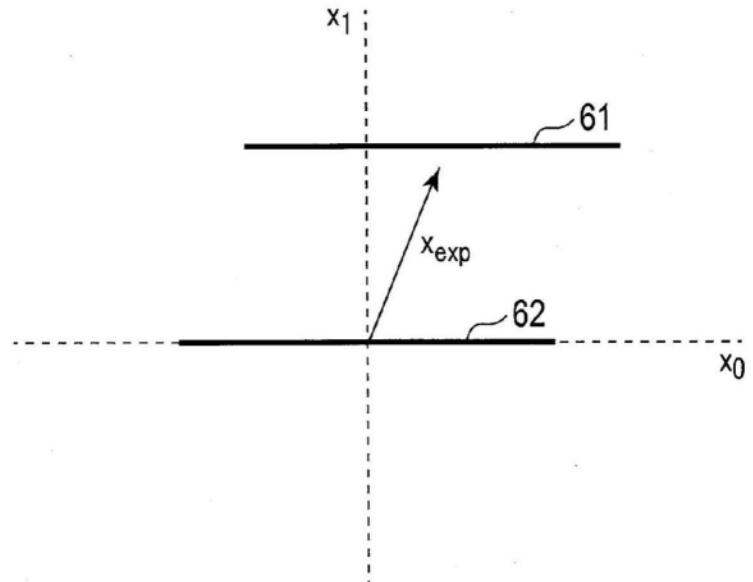


图8

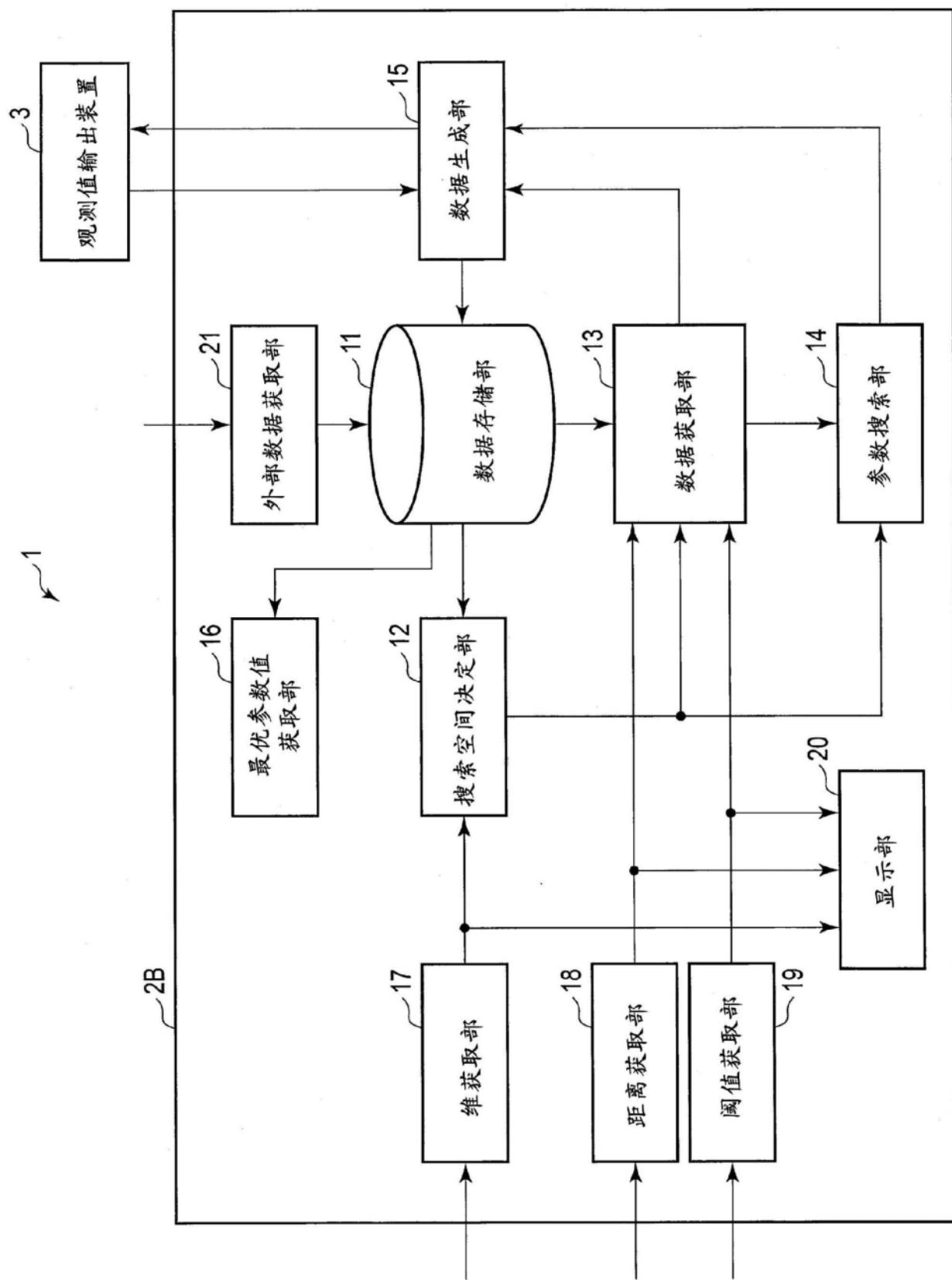


图9

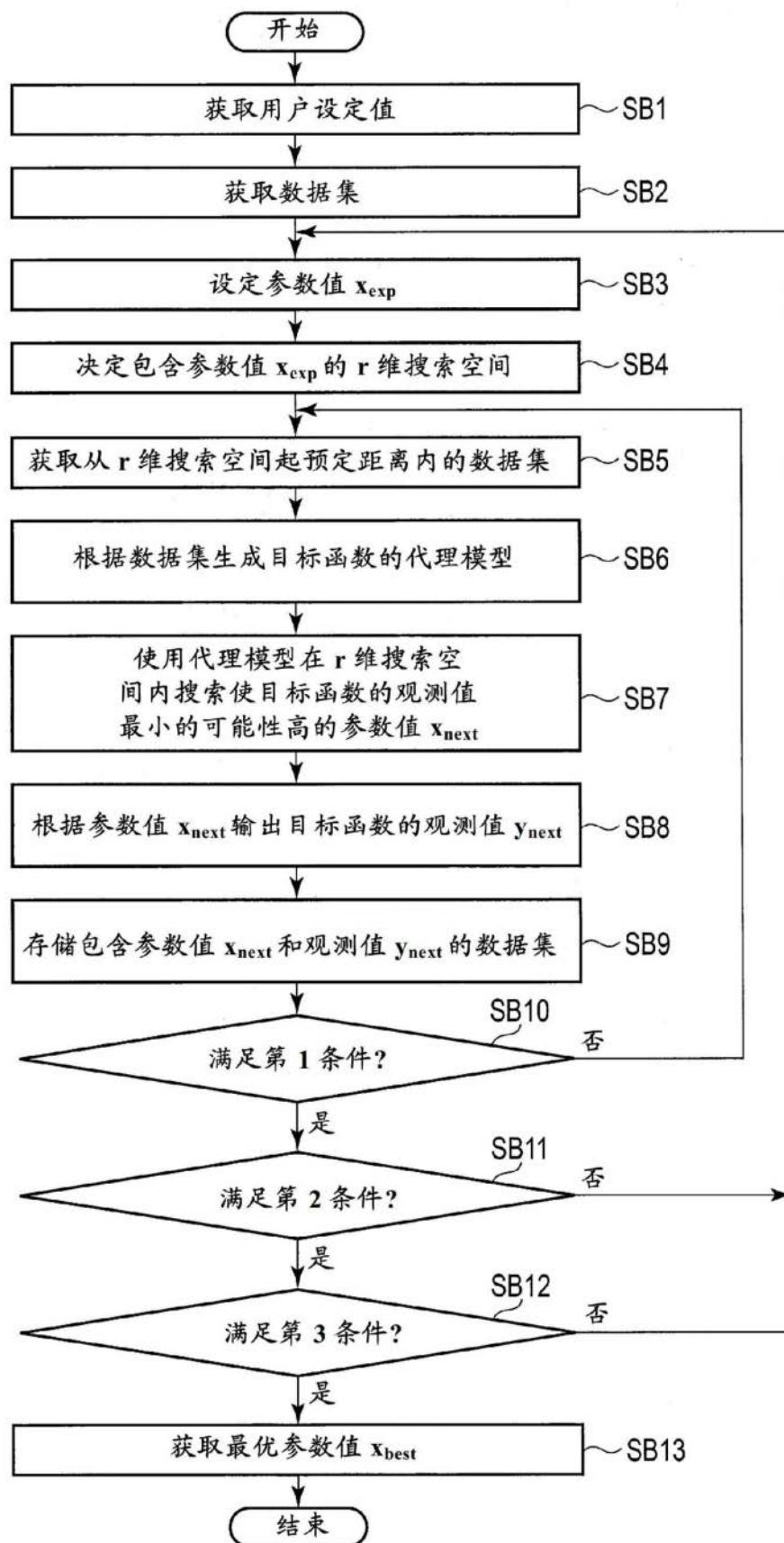


图10

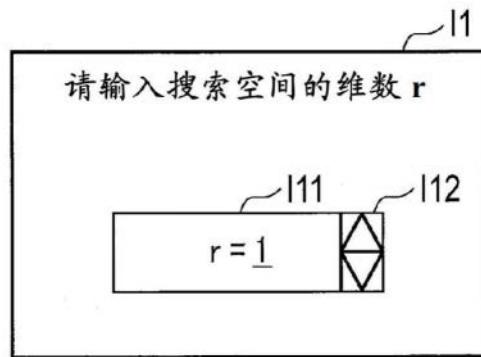


图11

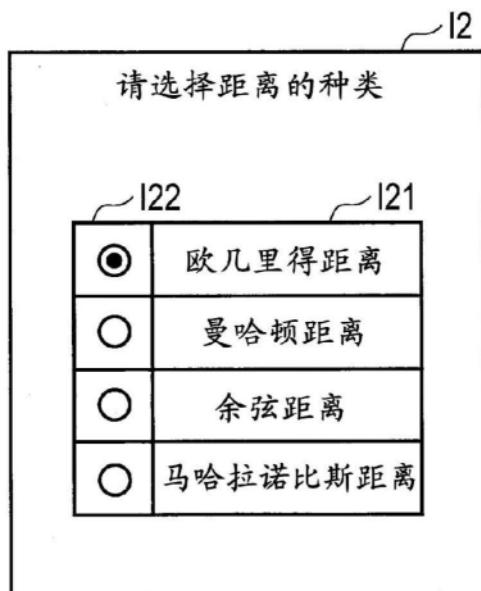


图12

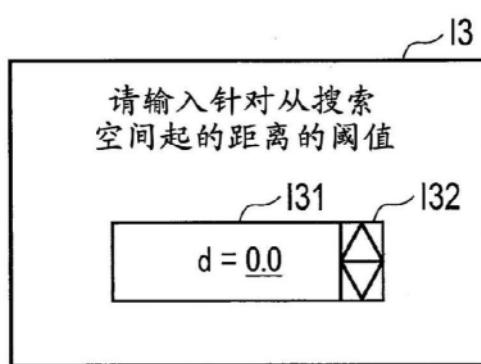


图13

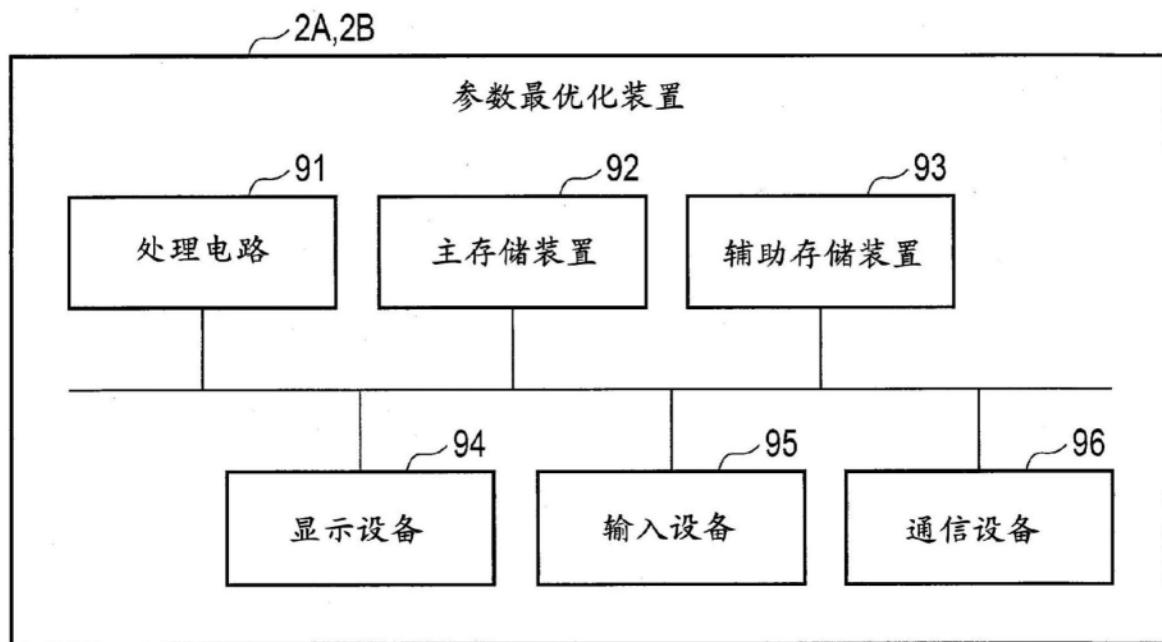


图14