



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119476751 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 30

(21) 申请号 202510072174.7

(22) 申请日 2025.01.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119476751 A

(43) 申请公布日 2025.02.18

(73) 专利权人 生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心

地址 100012 北京市朝阳区安外大羊坊8号

专利权人 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

中国环境监测总站

(72) 发明人 闫铁柱 杜新忠 冯茂 李龙龙 张笑颜

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

专利代理师 王爱涛

(51) Int.Cl.

G06Q 10/063 (2023.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

(56) 对比文件

CN 104992245 A, 2015.10.21

CN 114372685 A, 2022.04.19

审查员 张亮

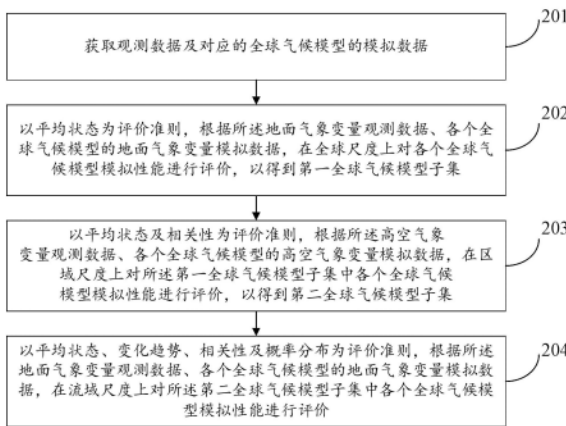
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质

(57) 摘要

本申请公开了一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质,涉及流域未来气候变化影响研究的全球气候模型模拟性能评价技术领域,方法包括:在对应的评价准则下,根据地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据进行全球尺度模拟性能评价得到第一全球气候模型子集;根据高空气象变量观测数据、各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据对第一全球气候模型子集中的模型进行区域尺度模拟性能评价得到第二全球气候模型子集;根据地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据对第二全球气候模型子集中的模型进行流域尺度模拟性能评价。本申请实现对全球气候模型模拟性能的递进式且系统的评价。



1. 一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在于,所述流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法包括:

获取观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据;所述观测数据为地面气象变量观测数据时,对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据;所述观测数据为高空气象变量观测数据时,对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据;

以平均状态为评价准则,根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在全球尺度上对各个全球气候模型模拟性能进行评价,以得到第一全球气候模型子集;所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第一预设性能条件;

以平均状态及相关性为评价准则,根据所述高空气象变量观测数据、各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据,在区域尺度上对所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价,以得到第二全球气候模型子集;所述第二全球气候模型子集中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第二预设性能条件;

以平均状态、变化趋势、相关性及概率分布为评价准则,根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在流域尺度上对所述第二全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价;

所述平均状态用于表征在第一预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在平均统计特征上,与对应的所述观测数据的吻合程度;所述变化趋势用于表征在第二预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在变化趋势及幅度上,与对应的所述观测数据的吻合程度;所述相关性用于表征在第三预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在时间及空间分布变化上,与对应的所述观测数据的吻合程度;所述概率分布用于表征在第四预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在概率分布上,与对应的所述观测数据的吻合程度。

2. 根据权利要求1所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在于,对各个全球气候模型模拟性能进行评价的过程包括:

依据所述评价准则,确定对应的多项评价指标;

针对任一全球气候模型,在全球尺度、区域尺度或流域尺度上,根据对应的所述观测数据及所述全球气候模型的模拟数据,计算各个评价指标下的评价分值;

采用层次分析法,计算各个评价指标的主观权重;采用熵权法,计算各个评价指标的客观权重;

根据每个评价指标的主观权重及客观权重,确定对应的组合权重;

根据所有所述评价指标的组合权重及评价分值,计算所述全球气候模型的综合评分,并将所述综合评分标记为模拟性能值。

3. 根据权利要求2所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在于,所述评价准则为平均状态时,对应的评价指标包括均值、标准差及均方根误差;所述评价准则为变化趋势时,对应的评价指标包括秩统计量及变化幅度;所述评价准则为相关性时,对应的评价指标包括年内分布相关系数、年尺度空间相关系数;所述评价准则为概率分布时,对应的评价指标包括KL散度、Sscore值、BS值。

4. 根据权利要求2所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在於,各个评价指标下的评价分值的计算公式为:

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - (x_i)_{\min}}{(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}} \times 10 & \text{当评价指标 } x_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \frac{(x_i)_{\max} - x_{ij}}{(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}} \times 10 & \text{当评价指标 } x_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases};$$

其中,  $x'_{ij}$  为第j个全球气候模型第i个评价指标的评价分值,  $x_{ij}$  为第j个全球气候模型第i个评价指标的数值,  $(x_i)_{\min}$  和  $(x_i)_{\max}$  分别为所有全球气候模型中第i个评价指标的最小值及最大值。

5. 根据权利要求2所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在於,采用层次分析法,计算各个评价指标的主观权重,包括:

构建判断矩阵  $A = (a_{il})_{n \times n}$ , 将所述判断矩阵按照列归一化得到归一化矩阵  $\bar{a}_{il}$ , 将所述归一化矩阵  $\bar{a}_{il}$  中同一行元素相加得到向量  $\tilde{w}_i$ , 然后除以评价指标的数量n, 最后得到具体评价指标的权重, 计算公式如下:

$$\bar{a}_{il} = a_{il} / \sum_{l=1}^n a_{il}, i, l = 1, 2, \dots, n;$$

$$\tilde{w}_i = \sum_{l=1}^n \bar{a}_{il}, i = 1, 2, \dots, n;$$

$$zw_i = \tilde{w}_i / n;$$

其中,  $a_{il}$  为第i个评价指标相对于第l个评价指标的重要性;  $zw_i$  为第i个评价指标的主观权重;

采用熵权法, 计算各个评价指标的客观权重, 包括:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^s x_{ij}};$$

$$E_i = -\frac{1}{\ln(s)} \sum_{j=1}^s P_{ij} \cdot \ln P_{ij};$$

$$kw_i = \frac{1 - E_i}{n - \sum_{i=1}^n E_i};$$

其中,  $x_{ij}$  表示第j个全球气候模型第i个评价指标的数值;  $P_{ij}$  表示第i个评价指标下第j个全球气候模型的特征比重,  $E_i$  表示第i个评价指标的熵值;  $kw_i$  表示第i个评价指标的客观权重, s为全球气候模型的数量;

组合权重的计算公式为:

$$W_i = \alpha \cdot zw_i + \beta \cdot kw_i;$$

其中,  $W_i$  表示第i个评价指标的组合权重;  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示主观权重和客观权重的相对重要程度,  $\alpha + \beta = 1$ 。

6. 根据权利要求2所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在於,根据所有所述评价指标的组合权重及评价分值,计算所述全球气候模型的综合评分,包括:

当所述观测数据为单个评价变量时,采用如下公式计算单个评价变量的全球气候模型的评分Y:

$$Y = \sum_{i=1}^n W_i x_i;$$

其中, $x_i$ 表示第*i*个评价指标的评价分值, $W_i$ 表示第*i*个评价指标的组合权重;

当所述观测数据为多个评价变量时,采用如下公式计算多个评价变量的全球气候模型的综合评分*S*:

$$S = \sum_{h=1}^m Y_h \gamma_h;$$

其中, $Y_h$ 表示全球气候模型中第*h*个评价变量对应的评分; $\gamma_h$ 表示第*h*个评价变量的权重;*m*表示评价变量的数量。

7. 根据权利要求1所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法,其特征在于,观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据的获取过程,包括:

获取多个地面气象站点的初始地面气象变量观测数据;获取全球NCEP再分析数据集的高空气象变量数据,并作为初始高空气象变量观测数据;

获取与所述初始高空气象变量观测数据同期的各个全球气候模型的初始地面气象变量模拟数据、初始高空气象变量模拟数据;

采用双线性插值法,将所述初始地面气象变量模拟数据的空间分辨率与所述初始地面气象变量观测数据的空间分辨率进行匹配;采用双线性插值法,将所述初始高空气象变量模拟数据的空间分辨率与所述初始高空气象变量观测数据的空间分辨率进行匹配;

对匹配完成后的初始地面气象变量观测数据及初始高空气象变量观测数据,进行算数平均处理或空间插值处理,以得到观测数据;对匹配完成后的初始地面气象变量模拟数据及初始高空气象变量模拟数据,进行算数平均处理或空间插值处理,以得到全球气候模型的模拟数据。

8. 一种计算机设备,包括:存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序以实现权利要求1-7中任一项所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法。

9. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,该计算机程序被处理器执行时实现权利要求1-7中任一项所述的流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法。

## 流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质

### 技术领域

[0001] 本申请涉及流域未来气候变化影响研究的全球气候模型模拟性能评价技术领域，特别是涉及一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质。

### 背景技术

[0002] 当前，全球气候模型(General Circulation Models, GCMs)是开展全球气候模拟、气候变化评估的有效工具，现已广泛应用于流域未来气候变化影响研究中。然而，不同GCMs在模型机理、初始条件、分辨率、参数化方案等方面均有差异，这就造成了其输出结果的精度在流域尺度上差异较大。尽管GCMs对地面气温和降雨模拟精度持续提升，GCMs仍是流域气候变化影响研究结果不确定性的最大来源。普遍认为GCMs的历史模拟结果与同期观测值的匹配度是衡量GCMs流域气候变化影响适用性的唯一可行的方法。因此，选择表征流域气候特征精准的GCMs来生成未来气候变化情景已成为提高未来气候变化影响研究结果置信度的重要手段。

[0003] 在流域气象变化影响研究中，传统的GCMs模拟性能评价常对部分GCMs开展地面气象变量(如降雨、气温等)平均态模拟效果评价，忽略了对影响地面观测气象要素的高空气象变量模拟以及对地面观测气象要素的动态模拟性能评价，还因存在被评价GCMs的主观性选择问题，使得现有GCMs模拟性能评价难以做到对流域GCMs模拟性能的全面科学系统的评估，这导致气候变化影响研究结果可信度降低。

### 发明内容

[0004] 本申请的目的是提供一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质，实现对全球气候模型模拟性能的递进式且系统的评价。

[0005] 为实现上述目的，本申请提供了如下方案。

[0006] 第一方面，本申请提供了一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法，包括以下多个步骤。

[0007] 获取观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据；所述观测数据为地面气象变量观测数据时，对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据；所述观测数据为高空气象变量观测数据时，对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据。

[0008] 以平均状态为评价准则，根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据，在全球尺度上对各个全球气候模型模拟性能进行评价，以得到第一全球气候模型子集；所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第一预设性能条件。

[0009] 以平均状态及相关性为评价准则，根据所述高空气象变量观测数据、各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据，在区域尺度上对所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价，以得到第二全球气候模型子集；所述第二全球气候模型子集

中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第二预设性能条件。

[0010] 以平均状态、变化趋势、相关性及概率分布为评价准则,根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在流域尺度上对所述第二全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价。

[0011] 第二方面,本申请提供了一种计算机设备,包括:存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序以实现流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法。

[0012] 第三方面,本申请提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法。

[0013] 根据本申请提供的具体实施例,本申请具有了以下技术效果:本申请提供了一种流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法、设备及介质,适用于流域气候变化影响研究,通过第一全球气候模型子集、第二全球气候模型子集、第三全球气候模型子集的逐级筛选,实现模拟性能的递进式评价,逐步缩小被评价全球气候模型的个数,从而避免对全部全球气候模型均进行评价时产生的数据处理量大的问题。并且,通过上述三个模型子集的筛选,能够对更优的全球气候模型实现进一步、更细节的评价,所能得到的精确性也更高,避免了人为主观选择部分GCMs所带来模拟性能评价结果偏差的问题。本申请中兼顾了影响地面观测气象要素的高空气象变量观测数据并考虑GCMs对其模拟性能评价,提升地面气象变量模拟数据的可靠性。同时在评价准则的选择中设置了平均状态、变化趋势、相关性及概率分布这四项,能够确保最终得到的全球气候模型模拟性能评价结果的稳健性,有助于降低流域未来气候情景构建的不确定性,提高未来流域气候变化影响研究结果的置信度。

[0014] 综上,本申请适用于流域气候变化影响研究,能够减少流域气候变化影响模拟结果中的不确定性,可对流域尺度GCMs模拟性能进行全面科学合理评估,对于提高流域气候变化影响研究置信度至关重要。

## 附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0016] 图1为本申请一实施例中一种全球气候模型模拟性能评价方法的应用环境图。

[0017] 图2为本申请一实施例提供的一种全球气候模型模拟性能评价方法的流程示意图。

[0018] 图3为本申请一实施例提供的一种计算机设备的结构示意图。

## 具体实施方式

[0019] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0020] 本申请适用于流域气候变化影响研究的全球气候模型模拟性能评价,其主要目的是降低流域气候变化影响研究中的不确定性,提升流域气候变化影响研究结果的可信度。

[0021] 为使本申请的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本申请作进一步详细的说明。

[0022] 本申请实施例提供的适用于流域气候变化影响研究的全球气候模型模拟性能评价方法,可以应用于如图1所示的应用环境中。其中,终端102通过网络与服务器104进行通信。数据存储系统可以存储服务器104需要处理的数据。数据存储系统可以单独设置,也可以集成在服务器104上,也可以放在云上或其他服务器上。终端102可以将观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据向服务器104发送,服务器104接收到数据后,以平均状态为评价准则,根据地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在全球尺度上对各个全球气候模型模拟性能进行评价,以得到第一全球气候模型子集;以平均状态及相关性为评价准则,根据高空气象变量观测数据、各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据,在区域尺度上对第一全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价,以得到第二全球气候模型子集;以平均状态、变化趋势、相关性、概率分布为评价准则,根据地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在流域尺度上对第二全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价。服务器104可以将得到的各个全球气候模型的模拟性能评价结果向终端102进行反馈。此外,在一些实施例中,流域尺度下全球气候模型模拟性能评价方法也可以单独由服务器104或者终端102实现。

[0023] 其中,终端102可以但不限于各种台式计算机、笔记本电脑、平板电脑及物联网设备。服务器104可以用独立的服务器或者是多个服务器组成的服务器集群来实现,还可以是云服务器。

[0024] 在一个示例性的实施例中,如图2所示,提供了一种全球气候模型模拟性能评价方法,该方法由计算机设备执行,具体可以由终端或服务器等计算机设备单独执行,也可以由终端和服务器共同执行,在本申请实施例中,以该方法应用于图1中的服务器104为例进行说明,包括以下步骤201至步骤204。

[0025] 步骤201,获取观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据;所述观测数据为地面气象变量观测数据时,对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据;所述观测数据为高空气象变量观测数据时,对应的全球气候模型的模拟数据为各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据。

[0026] 在本申请一个示例性的实施例中,观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据的获取过程包括如下步骤(11)-步骤(13),具体涉及识别GCMs模拟性能评价空间尺度范围、数据收集与前处理。

[0027] (11)获取多个地面气象站点的初始地面气象变量观测数据;获取全球NCEP再分析数据集的高空气象变量数据,并作为初始高空气象变量观测数据。获取与所述初始高空气象变量观测数据同期的各个全球气候模型的初始地面气象变量模拟数据、初始高空气象变量模拟数据。

[0028] 具体地,在获取初始数据之前,或在得到初始数据之后,需要确定在后续步骤202-步骤204中可能用到的评价范围。本申请涉及全球尺度、区域尺度和流域尺度的3个评价范围。其中,区域尺度空间范围上要能客观反映区域大气物理过程和表征区域地面气象变量

时空变化特征。例如：中国华北平原内某个流域开展气候变化影响研究时，区域尺度可选择华北平原。若流域面积仅占若干个GCMs网格，此时流域尺度GCMs地面气象变量模拟性能评价工作可在区域尺度上开展。

[0029] 数据收集包括评价范围内地面气象站点年/月时间尺度降雨量和平均气温数据，所收集到的数据可作为初始地面气象变量观测数据。数据收集还包括收集年/月时间尺度NCEP再分析数据集中的高空气象变量数据，此数据可作为初始高空气象变量观测数据。数据收集还包括收集年/月时间尺度GCMs地面降雨和平均气温、高空气象变量模拟值，数据时间序列与地面观测数据同期。其中，上述数据的时间序列长度一般不少于30年。

[0030] (12) 采用双线性插值法，将所述初始地面气象变量模拟数据的空间分辨率与所述初始地面气象变量观测数据的空间分辨率进行匹配；采用双线性插值法，将所述初始高空气象变量模拟数据的空间分辨率与所述初始高空气象变量观测数据的空间分辨率进行匹配。

[0031] 通过上述双线性插值的数据处理，可使得不同数据集的空间分辨率实现统一化。在一个实际应用中，可在步骤202或步骤204对GCMs地面气象变量模拟性能评估时，采用双线性插值方法将上述步骤(11)中采集得到的GCMs地面气象变量模拟数据的空间分辨率匹配到地面观测气象站点的经纬度上，从而实现空间分辨率的匹配。可在步骤203对GCMs高空气象变量模拟性能评价时，采用双线性插值方法将GCMs高空气象变量模拟数据的空间分辨率与NCEP再分析数据集中高空气象变量观测数据的空间分辨率进行匹配。

[0032] (13) 对匹配完成后的初始地面气象变量观测数据及初始高空气象变量观测数据，进行算数平均处理或空间插值处理，以得到观测数据；对匹配完成后的初始地面气象变量模拟数据及初始高空气象变量模拟数据，进行算数平均处理或空间插值处理，以得到全球气候模型的模拟数据。所得到的观测数据及对应的全球气候模型的模拟数据可以为全球尺度、区域尺度或流域尺度年/月时间尺度下，地面气象变量平均值或高空气象变量平均值。

[0033] 步骤202，以平均状态为评价准则，根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据，在全球尺度上对各个全球气候模型模拟性能进行评价，以得到第一全球气候模型子集；所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第一预设性能条件。

[0034] 具体地，全球尺度内气候系统平均状态的模拟精准性是GCMs成功运用于气候变化影响研究的必备条件。通过待评价GCMs地面气象变量模拟数据的平均状态，与对应的地面气象变量观测数据的平均状态之间的匹配度来实现模拟性能评价。经过模拟性能评价后，可将部分全球尺度气候平均状态的模拟性能差（即未满足第一预设性能条件，如全球气候模型的综合评分小于第一预设值）的GCMs从模拟性能评价流程中排除（此部分全球气候模型至此完成模拟性能评价），剩余的GCMs作为第一全球气候模型子集，用于步骤203中的高空气象变量模拟性能评价工作。

[0035] 步骤203，以平均状态及相关性为评价准则，根据所述高空气象变量观测数据、各个全球气候模型的高空气象变量模拟数据，在区域尺度上对所述第一全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价，以得到第二全球气候模型子集；所述第二全球气候模型子集中各个全球气候模型的模拟性能值均满足第二预设性能条件。

[0036] 具体地，在流域水文水环境气候变化影响研究中，表征气候变化的气象要素是地

面降雨和气温。从大气物理过程来说,GCMs能够真实地模拟气候系统的物理过程,且GCMs对地面降雨和气温的精确模拟受到高空气象变量模拟精度的影响。因此,与影响气温和地面降雨模拟性能且直接相关的高空气象变量的模拟精度高是GCMs区域尺度气温和降雨模拟效果好的必要条件。也因此,本步骤中选择与地面降雨和气温相关性显著的高空气象变量作为待评价高空气象变量。

[0037] 通过待评价GCMs高空气象变量模拟数据的均值和年内分布,与对应的NCEP高空气象变量观测数据的均值和年内分布之间的匹配度来实现模拟性能评价。经过模拟性能评价后,可将部分高空气象变量模拟性能差(即未满足第二预设性能条件,如全球气候模型的综合评分小于第二预设值)的GCMs从模拟性能评价流程中排除,剩余的GCMs作为第二全球气候模型子集,用于步骤204中地面气象变量模拟性能综合评估。

[0038] 上述步骤202与步骤203,实现了基于GCMs模拟性能评价的递进式筛选,此过程按照一定逻辑逐步剔除了模拟性能差的GCMs,最后筛选出适用于流域尺度GCMs地面气象变量模拟性能综合评价的GCMs集合。这种递进式处理,遵循两个基本逻辑:(1)从空间尺度来说,大尺度范围(例如:全球尺度)气候平均状态模拟效果好是流域尺度GCMs地面气象变量模拟效果好的必要条件;(2)从机理过程来说,与地面气象变量显著相关且有物理意义的高空气象变量模拟效果好是流域尺度GCMs地面气象变量模拟效果好的必要条件。

[0039] 步骤204,以平均状态、变化趋势、相关性及概率分布为评价准则,根据所述地面气象变量观测数据、各个全球气候模型的地面气象变量模拟数据,在流域尺度上对所述第二全球气候模型子集中各个全球气候模型模拟性能进行评价。

[0040] 在本申请一个示例性的实施例中,所述平均状态用于表征在第一预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在平均状态相关统计指标上,与对应的所述观测数据的吻合程度;对应的评价指标包括均值、标准差及均方根误差。

[0041] 所述变化趋势用于表征在第二预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在变化趋势及幅度上,与对应的所述观测数据的吻合程度;对应的评标指标包括秩统计量(Z值)及变化幅度(Slope值),上述两个指标是基于非参数Mann-Kendall趋势检验得到。

[0042] 所述相关性用于表征在第三预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在时间和空间分布变化上,与对应的所述观测数据的吻合程度;对应的评价指标包括年内分布相关系数、年尺度空间相关系数。

[0043] 所述概率分布用于表征在第四预设时长尺度内,所述全球气候模型的模拟数据在概率分布上,与对应的所述观测数据的吻合程度;对应的评价指标包括KL散度、Sscore值(Significance score)、BS(Bier Score)值。

[0044] 上述四个评价准则中出现的的第一预设时长尺度、第二预设时长尺度、第三预设时长尺度及第四预设时长尺度,可以均为年尺度,也可由相关技术人员根据需要进行调整。上述四个评价准则对应的评价指标可分为两类,一类为仅描述GCMs模拟值的统计特征的评价指标,如均值、标准差、秩统计量、变化幅度;另一类为描述GCMs模拟值和地面观测值匹配关系的评价指标,如均方根误差、年内分布相关系数、年尺度空间相关系数、Sscore值、BS值、KL散度等。上述四个评价准则对应的评价指标可如下表1所示。

[0045] 表1

| 目标层           | 评价准则 | 评价指标               |
|---------------|------|--------------------|
| [0046] 模拟性能评价 | 平均状态 | 均值、标准差、均方根误差       |
|               | 变化趋势 | 秩统计量、变化幅度          |
|               | 相关性  | 年内分布相关系数、年尺度空间相关系数 |
|               | 概率分布 | KL散度、Sscore值、BS值   |

[0047] 在本申请另一个示例性的实施例中,对各个全球气候模型模拟性能进行评价的过程包括以下步骤(21)-步骤(25)。

[0048] (21)依据所述评价准则,确定对应的多项评价指标。如在上述步骤202中,对应的多项评价指标包括均值、标准差、均方根误差;在步骤203中,对应的多项评价指标包括均值、标准差、均方根误差、年内分布相关系数、年尺度空间相关系数;在步骤204中,对应的多项评价指标包括均值、标准差、均方根误差、秩统计量、变化幅度、年内分布相关系数、年尺度空间相关系数、KL散度、Sscore值、BS值。

[0049] (22)针对任一全球气候模型,在全球尺度、区域尺度或流域尺度上,根据对应的所述观测数据及所述全球气候模型的模拟数据,计算各个评价指标下的评价分值;由于各定量评价指标的数据之间具有不同的单位和量纲,无法直接进行比较,需要对所有评价指标进行标准化处理。本申请采用极值处理法对评价指标原始数据进行标准化处理且将衡量GCM模拟性能的评价指标结果赋予0分~10分。具体地,各个评价指标下的评价分值的计算公式为:

$$[0050] \quad x'_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - (x_i)_{\min}}{(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}} \times 10 & \text{当评价指标 } x_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \frac{(x_i)_{\max} - x_{ij}}{(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}} \times 10 & \text{当评价指标 } x_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases}$$

[0051] 其中,  $x'_{ij}$  为第j个全球气候模型第i个评价指标的评价分值;  $x_{ij}$  为第j个全球气候模型第i个评价指标的数值,该数值可以为第i个评价指标的统计值或与观测值的相对误差,而具体属于哪一种类型,则与评价指标所处的类型相关;  $(x_i)_{\min}$  和  $(x_i)_{\max}$  分别为所有全球气候模型中第i个评价指标的最小值及最大值。

[0052] (23)采用层次分析法,计算各个评价指标的主观权重;采用熵权法,计算各个评价指标的客观权重。具体地,由于主观权重受人为因素影响较大,计算结果可能会出现偏差,因此引入客观权重对其进行修正和弥补。

[0053] 层次分析法计算各个评价指标权重的主要步骤:构建判断矩阵  $A = (a_{il})_{n \times n}$ ,将所述判断矩阵按照列归一化得到归一化矩阵  $\bar{a}_{il}$ ,将所述归一化矩阵  $\bar{a}_{il}$  中同一行元素相加得到向量  $\tilde{w}_i$ ,然后除以评价指标的数量n,最后得到具体评价指标的权重,计算公式如下:

$$[0054] \quad \bar{a}_{il} = a_{il} / \sum_{l=1}^n a_{il}, i, l = 1, 2, \dots, n.$$

$$[0055] \quad \tilde{w}_i = \sum_{l=1}^n \bar{a}_{il}, i = 1, 2, \dots, n.$$

$$[0056] \quad zw_i = \tilde{w}_i / n.$$

[0057] 其中,  $a_{ij}$  为第i个评价指标相对于第1个评价指标的重要性;  $zw_i$  为第i个评价指标的主观权重;n为评价指标的数量。

[0058] 采用熵权法,计算各个评价指标的客观权重,包括:

$$[0059] \quad P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^s x_{ij}}。$$

$$[0060] \quad E_i = -\frac{1}{\ln(s)} \sum_{j=1}^s P_{ij} \cdot \ln P_{ij}。$$

$$[0061] \quad kw_i = \frac{1-E_i}{n-\sum_{i=1}^n E_i}。$$

[0062] 其中, $x_{ij}$ 表示第j个全球气候模型第i个评价指标的数值; $P_{ij}$ 表示第i个评价指标下第j个全球气候模型的特征比重, $E_i$ 表示第i个评价指标的熵值; $kw_i$ 表示第i个评价指标的客观权重,s为全球气候模型的数量。

[0063] (24)根据每个评价指标的主观权重及客观权重,确定对应的组合权重,计算公式为:

$$[0064] \quad W_i = \alpha \cdot zw_i + \beta \cdot kw_i;$$

[0065] 其中, $w_i$ 表示第i个评价指标的组合权重; $\alpha$ 和 $\beta$ 分别表示主观权重和客观权重的相对重要程度, $\alpha + \beta = 1; 0 \leq \alpha \leq 1; 0 \leq \beta \leq 1$ 。在一个应用中,可取值 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

[0066] (25)根据所有所述评价指标的组合权重及评价分值,计算所述全球气候模型的综合评分,并将所述综合评分标记为模拟性能值。

[0067] 在一个实际应用中,针对单一评价变量,例如地面气象变量-气温或高空气象变量-高空500hpa处相对湿度(即当所述观测数据为单个评价变量时),采用如下公式计算该单个评价变量的全球气候模型的评分Y:

$$[0068] \quad Y = \sum_{i=1}^n W_i x_i。$$

[0069] 其中, $x_i$ 表示第i个评价指标的评价分值, $W_i$ 表示第i个评价指标的组合权重;

[0070] 当评价变量为多变量时,例如当所述观测数据为地面气象变量降雨和气温观测数据,或为多个高空气象变量(即当所述观测数据为多个评价变量),采用如下公式计算多个评价变量的全球气候模型的综合评分S:

$$[0071] \quad S = \sum_{h=1}^m Y_h Y_h。$$

[0072] 其中, $Y_h$ 表示全球气候模型中第h个评价变量模拟性能对应的评分; $Y_h$ 表示第h个评价变量的权重,由步骤(23)所述方法来确定;m表示评价变量的数量。当评价地面气象变量为降水和气温时,m等于2。

[0073] 综上,本申请实现了基于递进式的GCMs模拟性能评价,然后实现了流域尺度GCMs地面气象变量模拟性能综合评价,具体采用地面气象和高空气象变量观测值和对应各个GCMs模拟值计算各个评价指标数值,构建了评价指标数据库,进而实现了全球气候模型的综合评分的确定。本申请可对流域气候变化影响研究所涉及的GCMs模拟性能进行全面科学系统地评估。

[0074] 在一示例性的实施例中,提供了一种计算机设备,该计算机设备可以是服务器或者终端,其内部结构图可以如图3所示。该计算机设备包括处理器、存储器、输入/输出接口(Input/Output,简称I/O)和通信接口。其中,处理器、存储器和输入/输出接口通过系统总

线连接,通信接口通过输入/输出接口连接到系统总线。其中,该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质和内存存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统、计算机程序和数据库。该内存存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的输入/输出接口用于处理器与外部设备之间交换信息。该计算机设备的通信接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现全球气候模型模拟性能评价方法。

[0075] 本领域技术人员可以理解,图3中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0076] 在一个示例性的实施例中,提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,存储器中存储有计算机程序,该处理器执行计算机程序时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0077] 在一个示例性的实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0078] 在一个示例性的实施例中,提供了一种计算机程序产品,包括计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0079] 需要说明的是,本申请所涉及的用户信息(包括但不限于用户设备信息、用户个人信息等)和数据(包括但不限于用于分析的数据、存储的数据、展示的数据等),均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据,且相关数据的收集、使用和处理需要符合相关规定。

[0080] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和易失性存储器中的至少一种。非易失性存储器可包括只读存储器(Read-Only Memory, ROM)、磁带、软盘、闪存、光存储器、高密度嵌入式非易失性存储器、阻变存储器(ReRAM)、磁变存储器(Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)、铁电存储器(Ferroelectric Random Access Memory, FRAM)、相变存储器(Phase Change Memory, PCM)、石墨烯存储器等。易失性存储器可包括随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)或外部高速缓冲存储器等。作为说明而非局限,RAM可以是多种形式,比如静态随机存取存储器(Static Random Access Memory, SRAM)或动态随机存取存储器(Dynamic Random Access Memory, DRAM)等。

[0081] 本申请所提供的各实施例中所涉及的数据库可包括关系型数据库和非关系型数据库中至少一种。非关系型数据库可包括基于区块链的分布式数据库等,不限于此。本申请所提供的各实施例中所涉及的处理器可为通用处理器、中央处理器、图形处理器、数字信号处理器、可编程逻辑器、基于量子计算的数据处理逻辑器等,不限于此。

[0082] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0083] 本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说

明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本申请的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

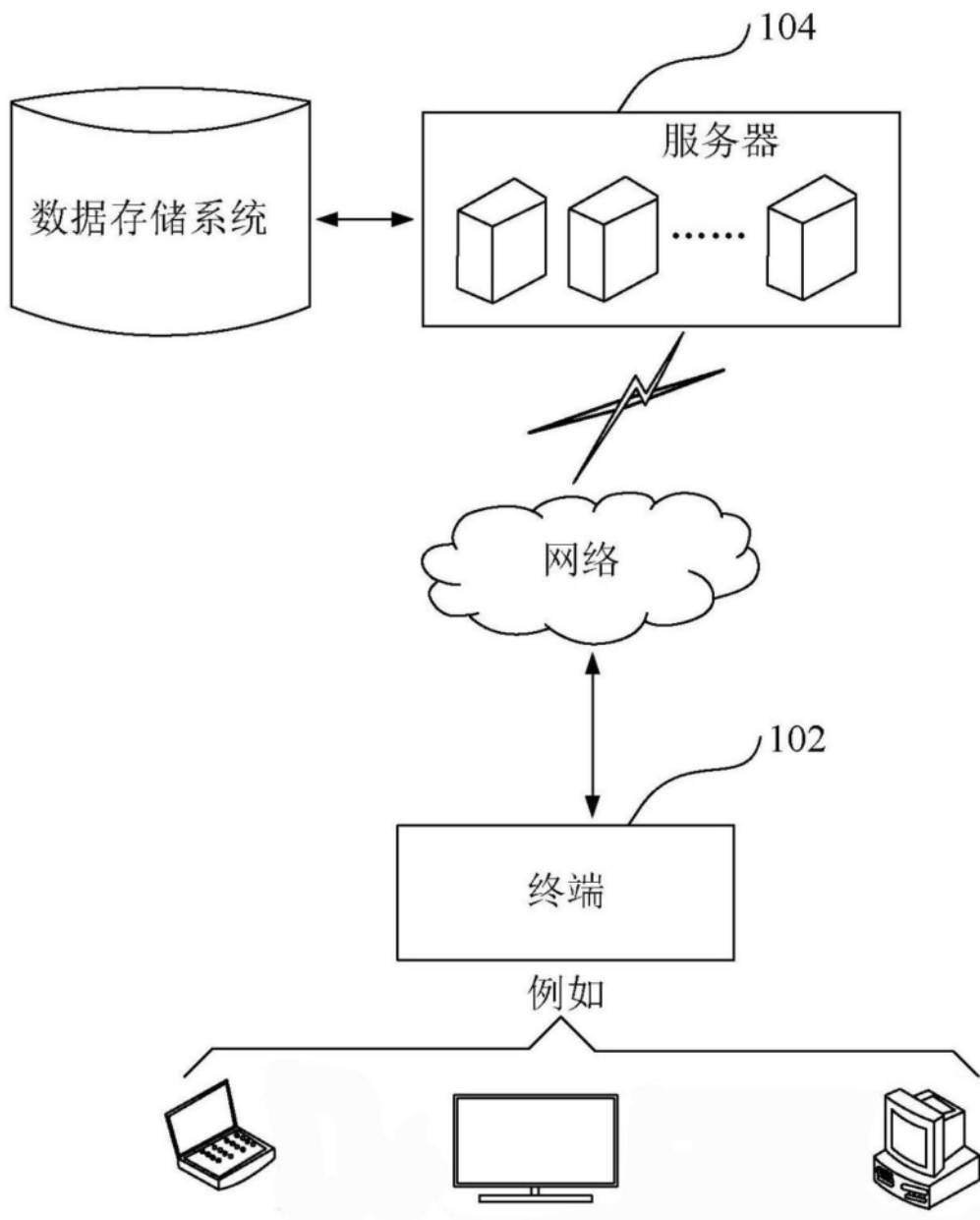


图1

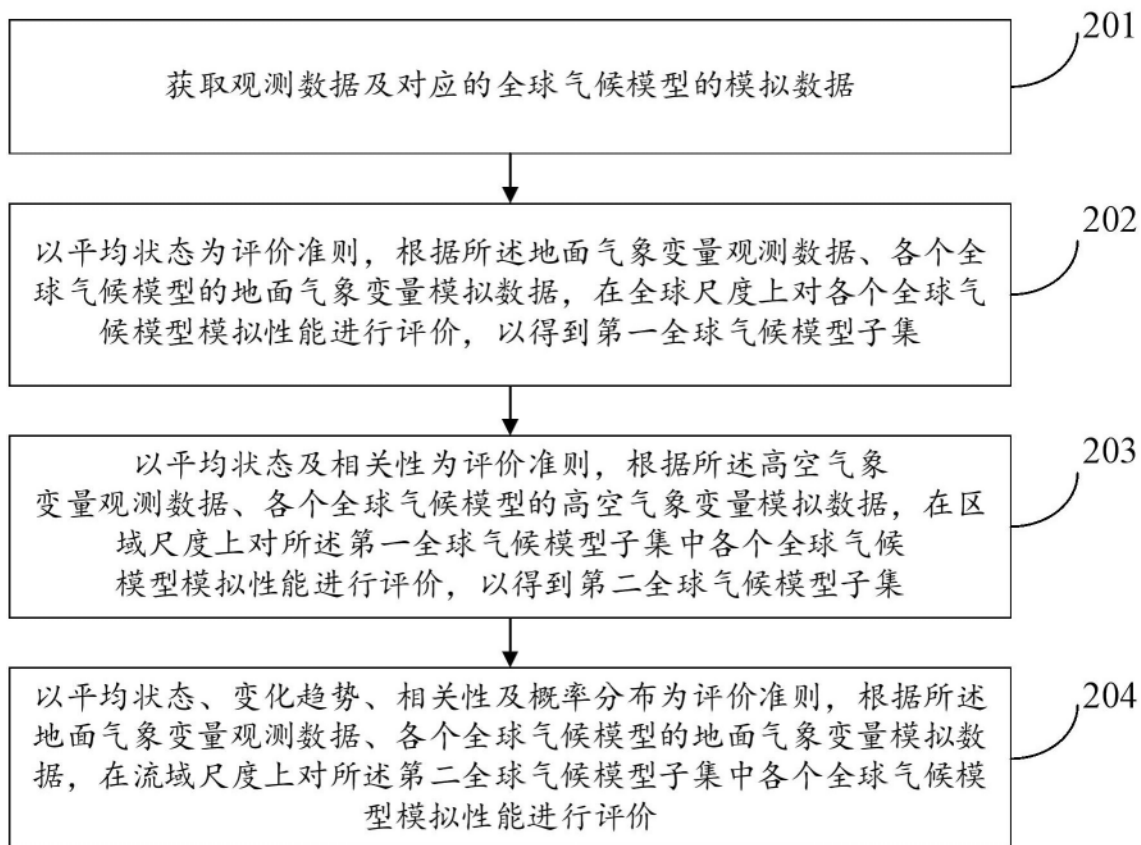


图2

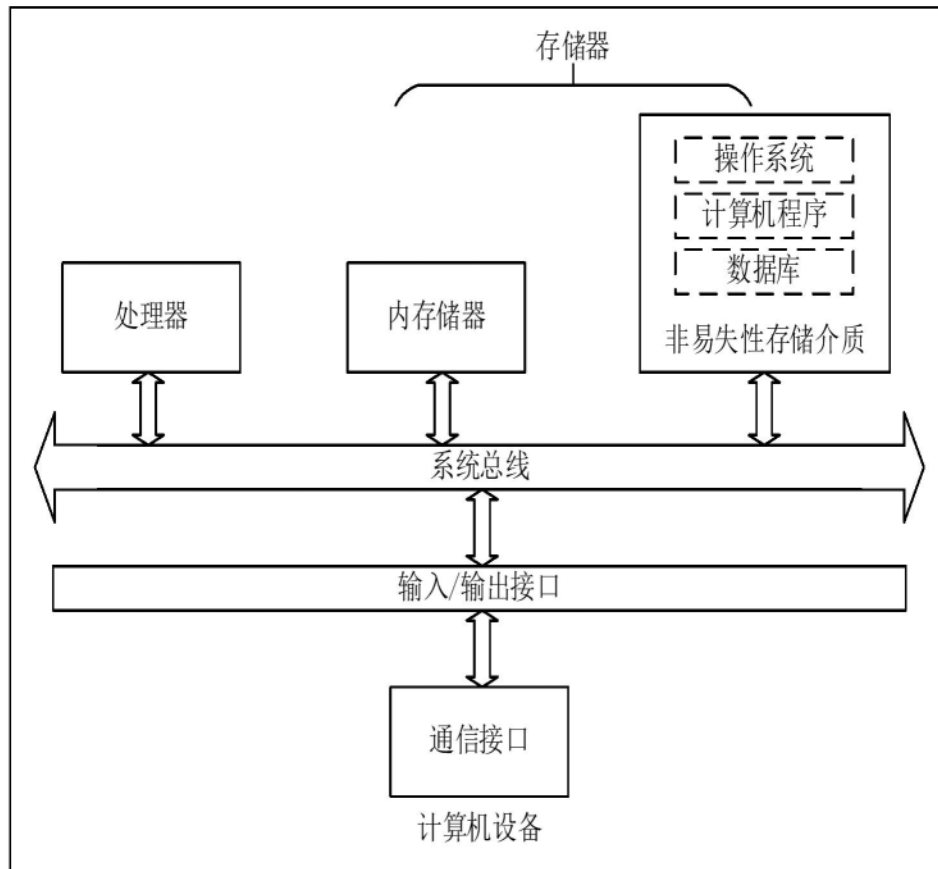


图3