

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 2 月 3 日 (03.02.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/021176 A1

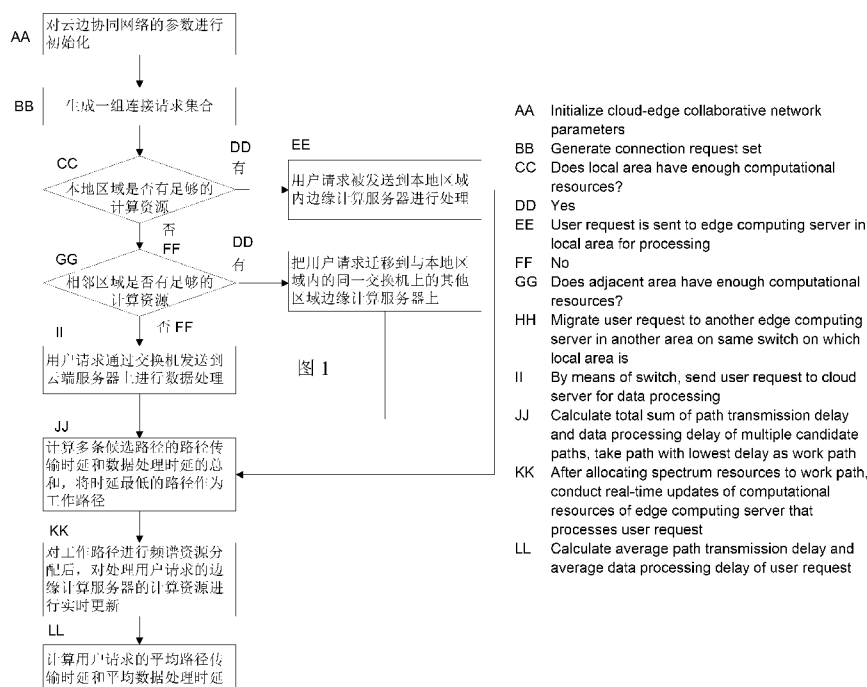
- (51) 国际专利分类号:
H04L 29/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/105691
- (22) 国际申请日: 2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010739986.X 2020年7月28日 (28.07.2020) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 陈伯文(CHEN, Bowen); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 刘玲(LIU, Ling); 中国江苏省苏州市

工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
沈纲祥(SHEN, Gangxiang); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
高明义(GAO, Mingyi); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 向练(XIANG, Lian); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 陈虹(CHEN, Hong); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路 188 号吴中万达广场 A 座苏州大学国家科技园 2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(54) Title: CLOUD-EDGE COLLABORATIVE NETWORK RESOURCE SMOOTH MIGRATION AND RESTRUCTURING METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统



(57) Abstract: The present invention relates to a cloud-edge collaborative network resource smooth migration and reconstruction method and system, comprising: reading topology information of a cloud-edge collaborative network; initializing the parameters of the cloud-edge collaborative network; generating a connection request set according to a user request; processing any one connection request from the connection request set until all connection requests have been processed; and calculating the average path transmission delay and average data processing delay of user requests. The present invention decreases service delay as much as possible, and improves network service quality.

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): 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, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明涉及一种云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统, 包括: 读取云边协同网络拓扑信息, 对所述云边协同网络的参数进行初始化; 根据用户请求生成一组连接请求集合; 对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理, 直至完成对所有连接请求的处理; 计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。本发明可以最大程度地减少业务时延, 提高网络的服务质量。

云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统

技术领域

本发明涉及云计算与边缘计算网络的技术领域，尤其是指一种云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统。

背景技术

近年来，随着物联网（简称 IoT）的高速发展和大量数据应用的广泛使用，用户对于网络计算资源的需求量急剧增长。此外，智能手机、笔记本电脑和平板电脑的技术进步，使得新的高要求服务和应用得以出现。尽管新的移动设备在中央处理器 CPU 方面越来越强大，但可能无法在短时间内处理业务量大的应用程序。云计算具有强大的计算能力，设备可以通过计算资源卸载，将计算任务传输到远端云服务器执行，从而能够有效缓解计算资源需求量较大的问题。然而，计算任务传输到云端服务器会造成不可接受的时延、增加额外传输能量消耗和带来数据泄露等问题。

为了解决云计算卸载过程中面临的高时延等问题，欧洲电信标准协会（ETSI）于 2014 年率先提出移动边缘计算（简称 MEC）的概念：一种在靠近用户的无线接入网提供 IT 及云计算的平台，被认为是第五代移动通信的关键技术之一。MEC 系统允许设备将计算任务卸载到网络边缘节点处，如基站、无线接入点等，既满足了终端设备计算能力的扩展需求，同时弥补了云计算时延较长的缺点。MEC 技术有助于达到 5G 业务超低时延、超高能效、超高可靠性等关键技术指标。通过将云计算和云存储部署到网络边缘，提供一个具备高性能、低时延与高带宽的电信服务环境，加速网络中各项内容、服务以及应用的分发和下载，让消费者享有更高质量网络体验。

目前，在云计算与边缘计算的研究中，主要有以下两种计算资源分配的

方法：时延优先的计算资源分配方法和资源优先的计算资源分配方法。然而，这两种分配方法都是仅仅针对一个目的而设计的资源分配方法。时延优先的分配方法能够有效降低数据传输时延，但却不能提高节点处理业务的计算能力，数据处理时延仍然需要进行优化处理；资源优先的分配方法可以提高节点处理业务的速度，但是传输时延却有可能显著增加。

发明内容

为此，本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中不能同时满足数据传输时延低，节点处理业务计算能力高的问题，从而提供一种可以保证数据传输时延低，同时保证节点处理业务计算能力高的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统。

为解决上述技术问题，本发明的一种云边协同网络资源平滑迁移与重构方法，包括：读取云边协同网络拓扑信息，对所述云边协同网络的参数进行初始化；根据用户请求生成一组连接请求集合；对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理，直至完成对所有连接请求的处理；其中对任意一个连接请求进行处理的方法为：先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源，若有，则用户请求被发送到本地区域内边缘计算服务器进行处理，若否，继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求，若有，把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上，若否，则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理；分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和，将时延最低的路径作为工作路径；对所述工作路径进行频谱资源分配后，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新；计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。

在本发明的一个实施例中，在所述云边协同网络中，配置网络的拓扑信息、网络连接状态、用户请求数、边缘计算服务器的数目、基站和交换机的数目。

在本发明的一个实施例中，计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候

选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和的方法为：分别计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延，再计算路径传输时延和数据处理时延的总和。

在本发明的一个实施例中，计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延的方法为：根据公式 $TRD = Weight_k / c$ 计算多条路径的路径传输时延，其中 $Weight_k$ 表示第 k 条工作路径的路径长度， c 表示光纤传输速率；根据公式 $COD = \zeta_u / TR_i$ 计算多条路径的数据处理时延，其中 ζ_u 表示用户请求 u 所需的计算资源， TR_i 表示节点 i 的计算资源总和。

在本发明的一个实施例中，对所述工作路径进行频谱资源分配的方法为：根据频谱一致性和频谱连续性的约束条件对所述工作路径进行频谱资源分配。

在本发明的一个实施例中，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新后，记录成功建立连接请求数，更新云边协同网络状态。

在本发明的一个实施例中，更新云边协同网络状态时，对工作路径占用的频谱资源进行资源释放；同时，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行释放；最后，将连接请求建立的工作路径进行信息清除。

在本发明的一个实施例中，计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延的方法为：根据公式 $aveTRD = \sum_k TRD_k / sucConReq$ 计算用户请求的平均路径传输时延 $aveTRD$ ，其中 $sucConReq$ 表示成功建立连接请求的数目；根据公式 $aveCOD = \sum_u COD_u / sucConReq$ 计算用户请求的平均路径传输时延 $aveCOD$ ，其中 $sucConReq$ 表示成功建立连接请求的数目。

在本发明的一个实施例中，所述步骤 S5 完成后，继续对所述云边协同网络的状态进行监控。

本发明的还提供了一种云边协同网络资源平滑迁移与重构系统，包括：云边协同网络初始化模块，用于读取云边协同网络拓扑信息，对所述云边协同网络的参数进行初始化；连接请求生成模块，用于根据用户请求生成一组连接请求集合；连接请求处理模块，用于对所述连接请求集合中的任意一个

连接请求进行处理，直至完成对所有连接请求的处理；其中对任意一个连接请求进行处理的方法为：先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源，若有，则用户请求被发送到本地区域内边缘计算服务器进行处理，若无，继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求，若有，把
5 用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上，若无，则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理；分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和，将时延最低的路径作为工作路径；对所述工作路径进行频谱资源分配后，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新；
10 计算模块，用于计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。

本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点：

本发明所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法及系统，根据业务对时延敏感度的高低设置工作路径，选择时延敏感度低的工作路径传输与处理，有利于降低业务的路径传输时延和数据处理时延；另外，采用移动边缘
15 计算分层部署的策略分配计算资源和带宽资源，首先考虑产生业务的本地区域内服务器是否具有处理业务所需网络资源，其次考虑通过交换机连接的其他区域内服务器是否具有足够的网络资源，若本地区域和其他区域都没有足够的网络资源，则考虑通过交换机将业务迁移到云端内服务器进行处理，从而通过分层部署进一步降低业务的路径传输时延和数据处理时延。

20 附图说明

为了使本发明的内容更容易被清楚的理解，下面根据本发明的具体实施例并结合附图，对本发明作进一步详细的说明，其中

图 1 是本发明云边协同网络资源平滑迁移与重构方法流程图；

图 2 是本发明云边协同网络资源迁移与重构的网络图；

25 图 3 是本发明云边协同网络资源平滑迁移与重构系统的示意图。

具体实施方式

实施例一

如图 1 所示, 本实施例提供一种云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 包括: 步骤 S1: 读取云边协同网络拓扑信息, 对所述云边协同网络的参数进行初始化; 步骤 S2: 根据用户请求生成一组连接请求集合; 步骤 S3: 5 对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理, 直至完成对所有连接请求的处理; 其中对任意一个连接请求进行处理的方法为: 先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源, 若有, 则用户请求被发送到本区域内边缘计算服务器进行处理, 若否, 继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求, 若有, 把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上, 若否, 则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理; 分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和, 将时延最低的路径作为工作路径; 对所述工作路径进行频谱资源分配后, 对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新; 步骤 S4: 计算用户请求的平均路径传
10 输时延和平均数据处理时延。

本实施例所述云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 所述步骤 S1 中, 读取云边协同网络拓扑信息, 对所述云边协同网络的参数进行初始化, 有利于业务的运行; 所述步骤 S2 中, 根据用户请求生成一组连接请求集合, 有利于对连接请求进行处理; 所述步骤 S3 中, 对于每一个连接请求, 先判断
20 用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源, 若有, 则用户请求被发送到本区域内边缘计算服务器进行处理, 此时的网络传输时延可以忽略不计, 端到端的处理时延只需考虑计算时延; 若否, 继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求, 若有, 把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上, 此时, 端到端时延包括网络
25 传输时延和计算资源时延, 若否, 则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理, 此时, 用户请求端到端时延包括边缘计算区域和云计算区域的网络传输时延和计算资源时延, 通过分层部署有利于降低业务的路径传输时延和数据处理时延; 分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候

选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和，将时延最低的路径作为工作路径，由于选择时延敏感度低的工作路径传输与处理，有利于降低业务的路径传输时延和数据处理时延；对所述工作路径进行频谱资源分配后，对处理用户请求的边缘计算服务器进行计算资源的实时更新，有利于记录成功建立

5 的连接请求数；所述步骤 S4 中，计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延，本发明有利于合理规划边缘计算与云计算区域的资源调度、迁移、重构，有效平衡网络资源和业务时延之间的关系，在合理分配资源的情况下尽可能减少时延，以最大程度地减少业务时延，同时保证节点处理业务计算能力高，以提高网络的服务质量。

10 所述步骤 S1 中，在所述云边协同网络中，配置网络的拓扑信息、网络连接状态、用户请求数、边缘计算服务器的数目、基站和交换机的数目。具体地，在云边协同网络 G (U, B, J, S) 中，配置网络的拓扑信息、网络连接状态、用户请求数、边缘计算服务器的数目、基站和交换机的数目。

所述步骤 S2 中，根据用户请求生成一组连接请求集合时，配置连接请求数目、不同连接请求所需的频谱间隙个数和计算资源等信息。

15

所述步骤 S3 中，对于任意一个连接请求，判定用户请求的本地服务器是否具有用户请求所需计算资源，若本地服务器计算资源足够，则用户请求直接在本地进行处理。若本地服务器计算资源不够，考虑本地区域外的其他区域边缘计算服务器是否具有用户请求所需的计算资源，若其他区域的服务器具有足够的计算资源，则将用户请求通过交换机迁移到其他区域进行处理；而若本地和其他区域的计算资源都不满足用户请求的计算资源，则将用户请求通过交换机迁移到云服务器进行处理，上述通过分层部署有利于降低业务的路径传输时延和数据处理时延。

20

计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和的方法为：分别计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延，再计算路径传输时延和数据处理时延总和，有利于降低业务的路径传输时延和数据处理时延。

25

具体地, 根据连接请求 $CR(u, f, r)$ 的用户请求和处理请求的边缘计算服务器, 采用 K 条最短路径算法, 计算出从用户请求到服务器的 K 条候选路径, 以便查找出最优的路径作为工作路径。

其中采用 K 条最短路径算法计算从用户请求到边缘计算服务器之间的工作路径。 K 条最短路径算法计算了 K 条候选路径, 并按距离由小到大升序排列, 即路径距离越小, 优先选择权就越高。当具有高优先级的路径在某一段链路上发生阻塞时, 就依次选取较低优先级的路径进行频谱资源分配, 直到分配资源成功或所有路径全都阻塞。

计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延的方法为: 根据公式 $TRD = Weight_k / c$ 计算多条路径的路径传输时延, 其中 $Weight_k$ 表示第 k 条工作路径的路径长度, c 表示光纤传输速率; 根据公式 $COD = r_u / TR_i$ 计算多条路径的数据处理时延, 其中 r_u 表示用户请求 u 所需的计算资源, TR_i 表示节点 i 的计算资源总和。

对所述工作路径进行频谱资源分配的方法为: 根据频谱一致性和频谱连续性的约束条件对所述工作路径进行频谱资源分配。

具体地, 根据连接请求 $CR(u, f, r)$ 所需的频谱间隙数 f , 在所选择的工作路径中查找满足连接请求所需的带宽资源, 若同时满足频谱连续性与频谱一致性双重约束条件, 则成功建立连接请求; 若不能同时满足频谱连续性与频谱一致性双重约束条件, 则连接请求建立失败。

连接请求 $CR(u, f, r)$ 成功建立工作路径后, 根据频谱一致性和频谱连续性的约束条件对工作路径进行频谱资源分配时, 采用首次命中的频谱分配算法, 根据路径上所有链路的频谱资源状态生成一张频谱资源表进行编号, 从标号小的一端开始查找可用的频谱间隙。如果找到可用的频谱间隙则进行频谱资源分配并进行频谱状态更新; 如果没有找到则频谱分配失败, 业务阻塞。

在频谱资源成功分配后, 对处理用户请求的边缘计算服务器进行计算资源的实时更新, 对处理用户请求的边缘计算服务器进行计算资源的实时更新

后，记录成功建立连接请求数，更新云边协同网络状态。

更新云边协同网络状态时，对工作路径占用的频谱资源进行资源释放；同时，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行释放；最后，将连接请求建立的工作路径进行信息清除。

5 对于剩余的用户请求，均采用上述相同的方法直至完成对所有连接请求的处理。

所述步骤 S4 中，计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延的方法为：根据公式 $\text{aveTRD} = \sum_i^Y \text{TRD}_{u_i} / \text{sucConReq}$ 计算用户请求的平均路径传输时延 aveTRD ，其中 sucConReq 表示成功建立连接请求的数目；根据公式
10 $\text{aveCOD} = \sum_i^Y \text{COD}_{u_i} / \text{sucConReq}$ 计算用户请求的平均路径传输时延 aveCOD ，其中 sucConReq 表示成功建立连接请求的数目。

具体地，在每一个连接请求成功建立后，记录每个连接请求传输的最短路径长度，计算每个连接请求的路径传输时延，利用平均路径传输时延 aveTRD 计算得到一组连接请求的平均路径传输时延；在所有连接请求处理完
15 成后，记录每个连接请求的用户请求累计计算资源和边缘计算服务器的初始计算资源，利用平均路径传输时延 aveCOD 计算一组连接请求的平均数据处理时延。

所述步骤 S4 完成后，继续对所述云边协同网络的状态进行监控。具体地，主要完成对云边协同网络初始化、连接请求生成、业务优先级选择、边缘计算服务器选择、工作路径建立、频谱资源分配、计算资源更新、资源释
20 放、网络传输时延计算和数据处理时延计算的状态监控功能，以实现在计算资源分配时尽可能减少业务时延的目标。

另外，本方法还包括判决和预警的步骤。具体地，执行各个模块之间的协调功能，以及每个模块是否建立成功的判决与预警功能，完成移动边缘计
25 算中减少业务时延的目标。

本发明中，对每一个连接请求，根据业务时延敏感度优先处理时延敏感度更高的业务，根据移动边缘计算分层部署的策略选择处理业务的边缘计算

服务器。采用 K 条最短路径算法计算业务到边缘计算服务器之间的工作路径，工作路径成功选择后，采用首次命中的频谱分配算法对路径进行频谱资源分配，需要同时满足频谱一致性和频谱连续性两个约束条件；然后对网络计算资源和频谱资源状态进行实时更新；每一个连接请求成功建立后，根据
5 路径长度和路径传输速率计算路径传输时延，根据业务计算资源和边缘计算服务器共同计算资源容量和数据处理时延。本发明通过业务时延敏感的云边协同网络资源迁移与重构，有效平衡网络资源和业务时延之间的关系，在合理分配资源的情况下尽可能减少时延。

另外，本发明根据业务传输对时延敏感程度的不同，采用业务时延敏感
10 程度分类处理方法，对时延敏感程度高的业务优先传输与处理。本发明只需要考虑两种不同的时延，包括网络传输时延和计算资源时延。网络传输时延是指用户的服务区域与边缘计算服务器之间的最短路径长度，以其链路时延的累计时延计算；计算资源时延与每个用户的计算资源需求和边缘计算服务器的计算能力有关。

下面具体阐述如何通过移动边缘计算分层部署分配计算资源，如何根据
15 业务时延敏感度处理用户请求，如何通过链路累计时延计算路径传输时延，以及如何通过边缘计算服务器资源和用户请求资源计算数据处理时延，进而尽可能减少业务的总时延。

如图 2 所示，层 1 有三个本地区域，每个区域内都有基站和对应的边缘
20 计算服务器，层 2 是由交换机和对应的边缘计算服务器组成的云端网络。假设层 1 本地区域内的边缘计算服务器计算资源为 20，层 2 云端网络边缘计算服务器计算资源为 1000，业务计算资源数和频谱隙数随机生成。

首先，对云边协同网络 $G(U, B, J, S)$ 进行初始化，包括用户请求、
基站、交换机、边缘计算服务器可以选取的位置，同时对边缘计算服务器的
25 计算资源进行初始化。连接请求用 $CR(u, f, r)$ 表示， u 表示用户请求编号， f 表示建立工作路径所需要的频谱隙数， r 表示用户请求所需计算资源。在图 2 中的节点 3 和节点 2 基站区域内生成 3 个用户请求集合 $CR(1, 3, 15)$ 、 CR

(2, 8, 10)、CR (3, 5, 30)。

第二，对于节点 2 产生的用户请求 CR(1, 3, 15)，首先判定用户请求是否能够在本地处理。由于用户请求的计算资源数为 15，本地区域内边缘计算服务器节点 2 的计算资源为 20，此时用户请求被发送到本地边缘计算服务器进行处理，数据传输路线为①。

第三，对于节点 2 产生的用户请求 CR(2, 8, 10)，由于节点 2 此时的动态计算资源为 5，不能满足用户请求所需计算资源，因此需要通过交换机节点 7 把用户需求的计算资源迁移到其他区域边缘计算服务器节点 8 上，节点 8 的计算资源更新为 10，传输路径为②。

第四，对于节点 3 产生的用户请求 CR(3, 5, 30)，此时本地和相邻边缘计算区域服务器上的计算资源都不能满足用户请求所需的计算资源，用户请求需要通过交换机节点 4 传输到与交换机相连的云计算区域服务器节点 5，数据传输路线为③。

第五，对于用户请求 CR(1, 3, 15)、CR(2, 8, 10)、CR(3, 5, 30)需要采用 K 条最短路径的路由算法分别计算节点 2 到节点 1、节点 2 到节点 8、节点 3 到节点 5 之间的 K 条路径。根据公式 $TRD = Weight_k/c$ 和公式 $COD = r_k/TR_k$ 分别计算 K 条路径的路径传输时延和数据处理时延总和，选择 K 条路径中时延最低的一条路径作为工作路径。

第六，选定工作路径后，采用首次命中的频谱分配算法，根据频谱一致性和频谱连续性的约束条件对用户请求 CR(1, 3, 15)、CR(2, 8, 10)、CR(3, 5, 30)的工作路径进行频谱资源分配。频谱资源分配后，连接请求成功建立，此时计算资源和频谱资源状态实时更新并记录连接成功数。

最后，每次连接请求成功建立后，记录工作路径的链路长度、连接请求的计算资源，用公式 $aveTRD = \sum_{i=1}^U TRD_{i,k} / sucConReq$ 和 $aveCOD = \sum_{i=1}^U COD_{i,k} / sucConReq$ 分别计算平均路径传输时延和平均数据处理时延。

实施例二

如图 3 所述, 基于同一发明构思, 本实施例提供了云边协同网络资源平滑迁移与重构系统, 其解决问题的原理与所述云边协同网络资源平滑迁移与重构方法类似, 重复之处不再赘述。

本实施例提供一种云边协同网络资源平滑迁移与重构系统, 包括:

5 云边协同网络初始化模块, 用于读取云边协同网络拓扑信息, 对所述云边协同网络的参数进行初始化;

连接请求生成模块, 用于根据用户请求生成一组连接请求集合;

连接请求处理模块, 用于对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理, 直至完成对所有连接请求的处理; 其中对任意一个连接请求进行处理的方法为: 先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源, 若有, 则用户请求被发送到本地区域内边缘计算服务器进行处理, 若否, 继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求, 若有, 把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上, 若否, 则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理; 分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和, 将时延最低的路径作为工作路径; 对所述工作路径进行频谱资源分配后, 对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新;

10

15

计算模块, 用于计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。

20 本领域内的技术人员应明白, 本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此, 本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且, 本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

25 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流

程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

显然，上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例，并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种云边协同网络资源平滑迁移与重构方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 S1：读取云边协同网络拓扑信息，对所述云边协同网络的参数进行初始化；

步骤 S2：根据用户请求生成一组连接请求集合；

步骤 S3：对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理，直至完成对所有连接请求的处理；其中对任意一个连接请求进行处理的方法为：先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源，若有，则用户请求被发送到本地区域内边缘计算服务器进行处理，若否，继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求，若有，把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上，若否，则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理；分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和，将时延最低的路径作为工作路径；对所述工作路径进行频谱资源分配后，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新；

步骤 S4：计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。

2. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法，其特征在于：在所述云边协同网络中，配置网络的拓扑信息、网络连接状态、用户请求数、边缘计算服务器的数目、基站和交换机的数目。

3. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法，其特征在于：计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和和方法为：分别计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延，再计算路径传输时延和数据处理时延的总和。

4. 根据权利要求 3 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 计算多条路径的路径传输时延和数据处理时延的方法为: 根据公式 $TRD = Weight_k / c$ 计算多条路径的路径传输时延, 其中 $Weight_k$ 表示第 k 条工作路径的路径长度, c 表示光纤传输速率; 根据公式 $COD = r_u / TR_i$ 计算多条路径的数据处理时延, 其中 r_u 表示用户请求 u 所需的计算资源, TR_i 表示节点 i 的计算资源总和。

5. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 对所述工作路径进行频谱资源分配的方法为: 根据频谱一致性和频谱连续性的约束条件对所述工作路径进行频谱资源分配。

6. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新后, 记录成功建立连接请求数, 更新云边协同网络状态。

7. 根据权利要求 6 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 更新云边协同网络状态时, 对工作路径占用的频谱资源进行资源释放; 同时, 对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行释放; 最后, 将连接请求建立的工作路径进行信息清除。

8. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延的方法为: 根据公式 $aveTRD = \sum_{i=1}^N TRD_u / sucConReq$ 计算用户请求的平均路径传输时延 $aveTRD$, 其中 $sucConReq$ 表示成功建立连接请求的数目; 根据公式 $aveCOD = \sum_{i=1}^N COD_u / sucConReq$ 计算用户请求的平均路径传输时延 $aveCOD$, 其中 $sucConReq$ 表示成功建立连接请求的数目。

9. 根据权利要求 1 所述的云边协同网络资源平滑迁移与重构方法, 其特征在于: 所述步骤 S5 完成后, 继续对所述云边协同网络的状态进行监控。

10. 一种云边协同网络资源平滑迁移与重构系统, 其特征在于, 包括:

云边协同网络初始化模块，用于读取云边协同网络拓扑信息，对所述云边协同网络的参数进行初始化；

连接请求生成模块，用于根据用户请求生成一组连接请求集合；

连接请求处理模块，用于对所述连接请求集合中的任意一个连接请求进行处理，直至完成对所有连接请求的处理；其中对任意一个连接请求进行处理的方法为：先判断用户请求的本地区域是否具有足够的计算资源，若有，则用户请求被发送到本地区域内边缘计算服务器进行处理，若无，继续判断相邻区域内服务器是否具有足够计算资源处理用户请求，若有，把用户请求迁移到与本地区域内的同一交换机上的其他区域边缘计算服务器上，若无，
10 则将用户请求通过交换机发送到云端服务器上进行处理；分别计算从用户请求到边缘计算服务器的多条候选路径的路径传输时延和数据处理时延的总和，将时延最低的路径作为工作路径；对所述工作路径进行频谱资源分配后，对处理用户请求的边缘计算服务器的计算资源进行实时更新；

15 计算模块，用于计算用户请求的平均路径传输时延和平均数据处理时延。

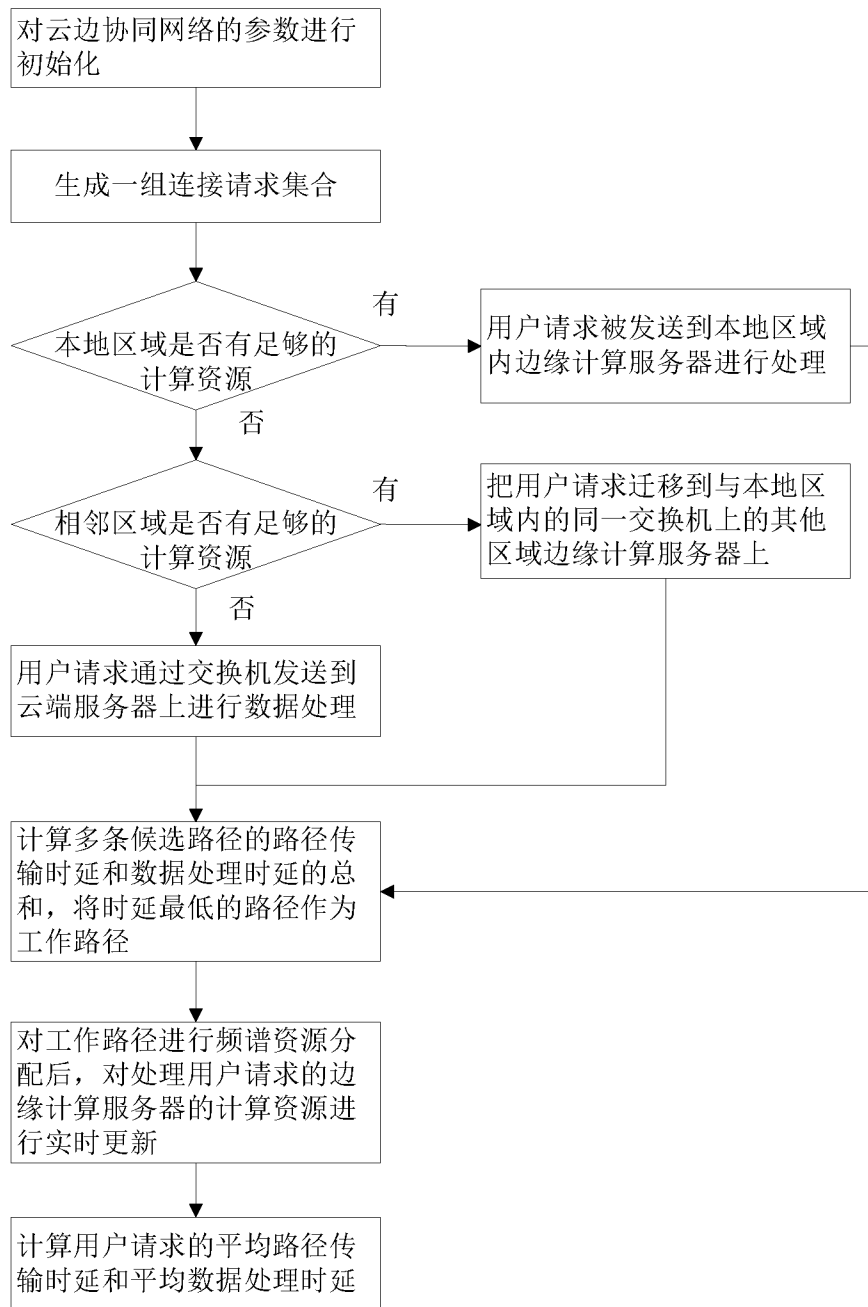


图 1

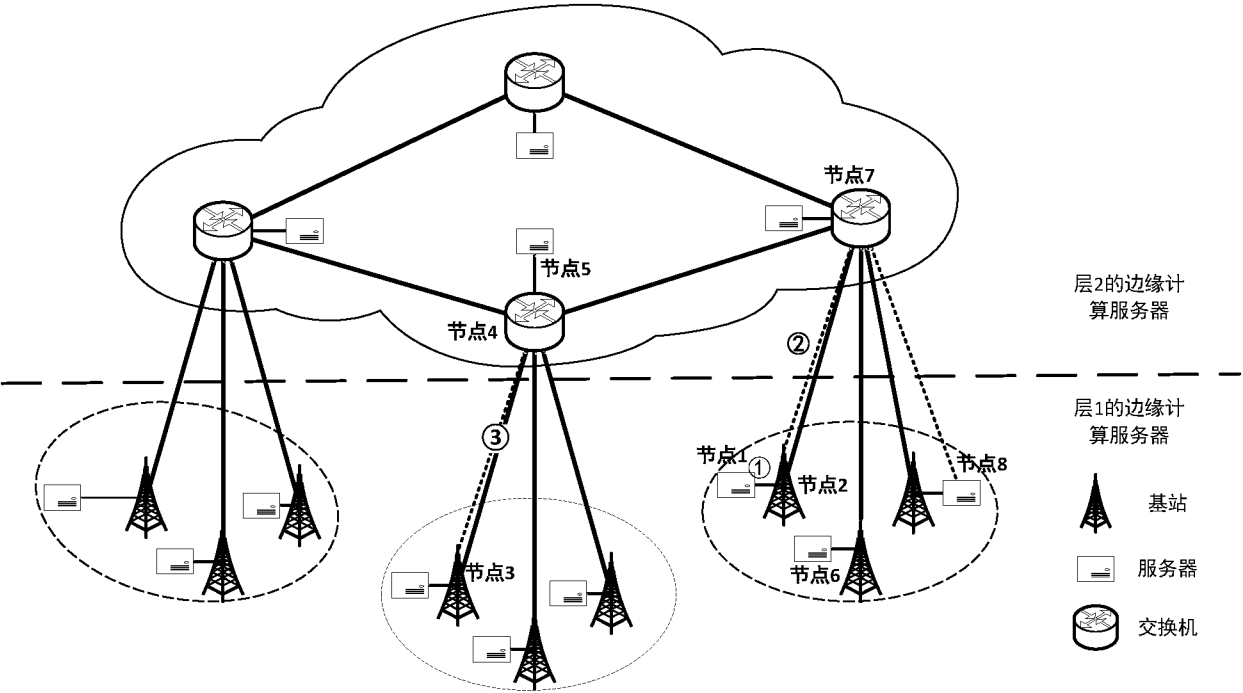


图 2

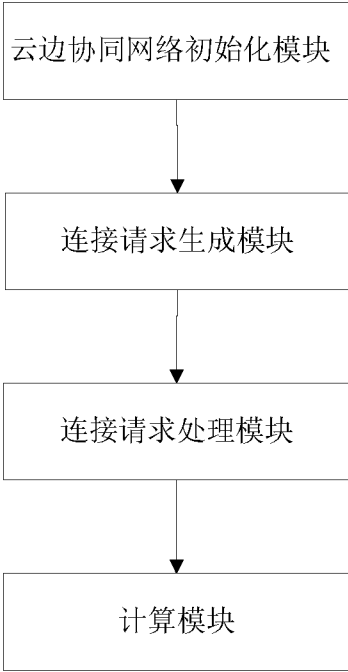


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/105691

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 29/08(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L

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

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

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, IEEE: 云边协同, 平滑, 迁移, 重构, 拓扑, 参数, 请求, 本地, 相邻, 边缘计算, 时延优先, 资源优先; cloud, edge, collaborative, request, parameter, topology, local, border, delay, first, resource

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 110891093 A (COMPUTER NETWORK INFORMATION CENTER, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 17 March 2020 (2020-03-17) description, paragraphs [0023]-[0047]	1-10
Y	满君丰 等 (MAN, Junfeng et al.). "“云边协同计算架构下大规模工厂接入的任务调度方法” (“Task Scheduling Method for Large-scale Factory Access in Cloud and Edge Collaborative Computing Architecture”) 《计算机集成制造系统》 (Computer Integrated Manufacturing Systems), 06 May 2020 (2020-05-06), p. 4, section 2.1 to p. 6, section 2.2	1-10
A	CN 108121512 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 05 June 2018 (2018-06-05) entire document	1-10
A	CN 108541027 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 14 September 2018 (2018-09-14) entire document	1-10
A	WO 2019101056 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 31 May 2019 (2019-05-31) entire document	1-10



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

17 March 2021

Date of mailing of the international search report

31 March 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/105691

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110891093	A	17 March 2020	None			
CN	108121512	A	05 June 2018	WO	2019119897	A1	27 June 2019
				US	2019260845	A1	22 August 2019
CN	108541027	A	14 September 2018	None			
WO	2019101056	A1	31 May 2019	EP	3703321	A1	02 September 2020
				US	2020329119	A1	15 October 2020
				CN	109818867	A	28 May 2019
				CN	112202673	A	08 January 2021

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/105691

A. 主题的分类

H04L 29/08 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EP0DOC, IEEE: 云边协同, 平滑, 迁移, 重构, 拓扑, 参数, 请求, 本地, 相邻, 边缘计算, 时延优先, 资源优先; cloud, edge, collaborative, request, parameter, topology, local, border, delay, first, resource

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 110891093 A (中国科学院计算机网络信息中心) 2020年 3月 17日 (2020 - 03 - 17) 说明书第[0023]-[0047]段	1-10
Y	满君丰等. “云边协同计算架构下大规模工厂接入的任务调度方法” 《计算机集成制造系统》, 2020年 5月 6日 (2020 - 05 - 06), 第4页2.1节-第6页2.2节	1-10
A	CN 108121512 A (苏州大学) 2018年 6月 5日 (2018 - 06 - 05) 全文	1-10
A	CN 108541027 A (南京邮电大学) 2018年 9月 14日 (2018 - 09 - 14) 全文	1-10
A	W0 2019101056 A1 (华为技术有限公司) 2019年 5月 31日 (2019 - 05 - 31) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 3月 17日

国际检索报告邮寄日期

2021年 3月 31日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

张宇

电话号码 86-(10)-53961627

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/105691

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110891093	A	2020年 3月 17日	无			
CN	108121512	A	2018年 6月 5日	WO	2019119897	A1	2019年 6月 27日
				US	2019260845	A1	2019年 8月 22日
CN	108541027	A	2018年 9月 14日	无			
WO	2019101056	A1	2019年 5月 31日	EP	3703321	A1	2020年 9月 2日
				US	2020329119	A1	2020年 10月 15日
				CN	109818867	A	2019年 5月 28日
				CN	112202673	A	2021年 1月 8日