

(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
2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/181962 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/18 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/075658

(22) 国际申请日: 2020 年 2 月 18 日 (18.02.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910195659.X 2019年3月13日 (13.03.2019) CN

(71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市江宁区将军大道29号, Jiangsu 211106 (CN)。

(72) 发明人: 皮德常 (PI, Dechang); 中国江苏省南京市江宁区将军大道29号南京航空航天大学计算机学院, Jiangsu 211106 (CN)。 陈俊夫 (CHEN, Junfu); 中国江苏省南京市江宁区将军大道29号南京航空航天大学计算机学院, Jiangsu 211106

(CN)。 吴致远 (WU, Zhiyuan); 中国江苏省南京市江宁区将军大道29号南京航空航天大学计算机学院, Jiangsu 211106 (CN)。

(74) 代理人: 北京高沃律师事务所 (BEIJING GAOWO LAW FIRM); 中国北京市海淀区彩和坊路11号6层602室, Beijing 100080 (CN)。

(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, 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。

(54) Title: SATELLITE ANOMALY DETECTION METHOD AND SYSTEM BASED ON ADVERSARIAL NETWORK AUTO-ENCODER

(54) 发明名称: 一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统

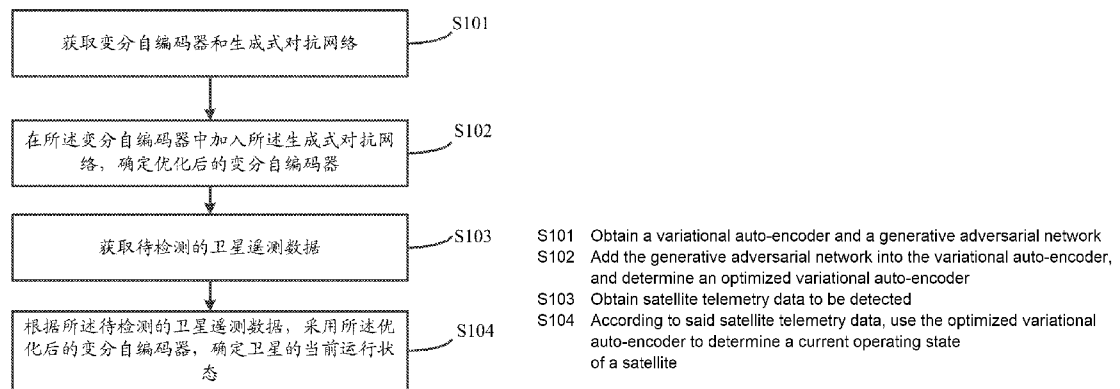


图 1

(57) Abstract: A satellite anomaly detection method and system based on an adversarial network auto-encoder. The method comprises: obtaining a variational auto-encoder and a generative adversarial network (S101); adding the generative adversarial network into the variational auto-encoder, and determining an optimized variational auto-encoder (S102); obtaining satellite telemetry data to be detected (S103); and according to said satellite telemetry data, using the optimized variational auto-encoder to determine a current operating state of a satellite (S104). The current operating state comprises a normal operating state or abnormal operating state. The satellite anomaly detection method and system based on the adversarial network auto-encoder can solve the problem in the prior art of low accuracy of satellite anomaly automatic detection.



(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: 一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统。该方法包括获取变分自编码器和生成式对抗网络(S101); 在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络, 确定优化后的变分自编码器(S102); 获取待检测的卫星遥测数据(S103); 根据所述待检测的卫星遥测数据, 采用所述优化后的变分自编码器, 确定卫星的当前运行状态(S104); 所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。所述一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统, 能够解决现有技术中卫星异常自动检测准确度低的问题。

一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统

本申请要求于 2019 年 03 月 13 日提交中国专利局、申请号为 201910195659.X、发明名称为“一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本发明涉及工程应用与信息科学领域，特别是涉及一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统。

背景技术

10 由于卫星长期处在太阳辐射等恶劣的外太空环境下，其在轨运行期间可能会发生无法预料的异常或故障，提前采取措施及时发现这些无法预料的异常或故障，对保障卫星长期稳定运行至关重要。因此，遥测数据的异常检测在卫星故障排查和实时健康检测等领域具有重要的意义。考虑到卫星复杂的设计结构和恶劣的工作环境，无法直接在外太空的环境下进行异常检测。目前通过在卫星各部件上安装多个传感器直接采集卫星各部件的
15 在轨运行数据，将在轨运行数据传输到地面遥测中心，存储为时序遥测数据，然后对卫星时序遥测数据进行分析，进而实现对卫星在轨状态的异常检测。

美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA）在卫星异常检测和故障诊断方面开展了大量的工作。60 年代提出了
20 了基于简单的状态监测的卫星异常检测和故障诊断方法，70 年代提出了基于算法的卫星异常检测和故障诊断方法，80 年代提出了基于知识的卫星异常检测和故障诊断方法，90 年代提出了基于 agent 以及网络的卫星异常检测和故障诊断方法。进入 21 世纪以来，为提高卫星在轨运行的平稳性和安全性，NASA 提出了卫星综合健康管理技术。该技术将卫星各子

系统的性能评估、异常检测、故障预测等模块，以及其相应的处理措施和后勤保障安排等，融合为一个卫星健康状况综合管理系统。

从 20 世纪 80 年代开始，数据挖掘就在统计分析领域初露锋芒。其中，基于统计的假设检验首先在异常检测领域崭露头角，通过对小概率事件的统计，来判别数据样本是否发生异常。此后，Grubbs 等提出在数据集满足标准的 t 分布基础上对每个数据计算其 Grubbs 测试统计值，若数据的统计值超过某个阈值，则被认为是一个异常数据。Knorr 等在异常检测领域首先提出了距离的概念，计算不同数据点之间的距离作为判断是否发生异常的依据，但是当数据点来自于不同密度分布的数据集时，该方法的异常检测效果不佳。为解决这一问题，Breunig 等将密度计算加入到异常检测算法中，该算法避免了密度分布不均的数据集异常检测结果差的问题，但是，该算法复杂度过高，不能处理海量数据。Dawei Pan 等提出了一种基于核主成分分析(KPCA)和关联规则的异常检测算法，采用 KPCA 构造特征矩阵，在时间序列中使用闭合模式挖掘遥测属性之间的关联规则，以此来识别异常。该方法对于遥测参数高维的情况效果不好，不能解决数据维度高的问题。此外，Qin 等人设计了一种区分周期性数据范围和单调性的算法，通过检测遥测数据的下界限来提前预警异常。这种方法对于具有较强周期性的遥测数据检测准确率较高，但是针对周期性不明显或者没有周期性的遥测数据，无法准确判断其频率的变化，故无法检测异常。

Wang 等针对 TX-1 星的故障检测，首先分析出卫星在轨光照期和阴影期，然后使用局部线性映射算法降维和提取特征，将高维数据空间映射到低维特征空间，最后计算统计量 T^2 和 SPE 来检测故障，但是无法实现自动检

测，并造成异常检测误差高，无法保证卫星异常自动检测的准确度。

发明内容

本发明的目的是提供一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及其系统，解决现有技术中卫星异常自动检测准确度低的问题。

为达到上述目的，本发明的技术方案为：

一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法，包括：

获取变分自编码器和生成式对抗网络；所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入，以重构数据为输出；所述变分自编码器包括编码器和解码器；
所述生成式对抗网络包括生成器和判别器；

在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络，确定优化后的变分自编码器；所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器；所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量；所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据；

获取待检测的卫星遥测数据；

根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态；所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

可选的，所述根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态，具体包括：

根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定所述重构数据；

根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据，采用马氏距离，确

定重构误差；

获取误差阈值；

判断所述重构误差是否小于所述误差阈值；

若所述重构误差小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为

5 正常运行状态；

若所述重构误差不小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

可选的，所述获取误差阈值，具体包括：

获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据；

10 根据所述卫星遥测样本数据，采用小波方差，对所述卫星遥测样本数据进行分析，确定每一时刻的误差阈值。

可选的，所述在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络，确定优化后的变分自编码器，具体包括：

15 根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器；所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器，确定优化后的编码器；

根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器；

根据所述判别器对所述优化后的编码器编码后的所述隐变量进行判别，确定优化后的隐变量；

20 根据所述优化后的隐变量以及所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统，包括：

第一获取模块,用于获取变分自编码器和生成式对抗网络;所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入,以重构数据为输出;所述变分自编码器包括编码器和解码器;所述生成式对抗网络包括生成器和判别器;

5 优化后的变分自编码器确定模块,用于在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络,确定优化后的变分自编码器;所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器;所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量;所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据;

第二获取模块,用于获取待检测的卫星遥测数据;

10 卫星的当前运行状态确定模块,用于根据所述待检测的卫星遥测数据,采用所述优化后的变分自编码器,确定卫星的当前运行状态;所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

可选的,所述卫星的当前运行状态确定模块具体包括:

15 重构数据确定单元,用于根据所述待检测的卫星遥测数据,采用所述优化后的变分自编码器,确定所述重构数据;

重构误差确定单元,用于根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据,采用马氏距离,确定重构误差;

误差阈值获取单元,用于获取误差阈值;

判断单元,用于判断所述重构误差是否小于所述误差阈值;

20 正常运行状态确定单元,用于若所述重构误差小于所述误差阈值,确定所述卫星的当前运行状态为正常运行状态;

异常运行状态确定单元,用于若所述重构误差不小于所述误差阈值,

确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

可选的, 所述误差阈值获取单元具体包括:

卫星遥测样本数据获取子单元, 用于获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据;

5 每一时刻的误差阈值确定子单元, 用于根据所述卫星遥测样本数据, 采用小波方差, 对所述卫星遥测样本数据进行分析, 确定每一时刻的误差阈值。

可选的, 所述优化后的变分自编码器确定模块具体包括:

生成器确定单元, 用于根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器; 所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器, 确定优化后的编码器;

判别器确定单元, 根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器;

优化后的变分自编码器确定单元, 用于根据所述优化后的隐变量以及所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

本发明与现有技术相比的优点在于: 本发明提供一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统, 其中通过在变分编码器中引入对抗网络, 得到优化后的变分编码器, 通过优化后的变分编码器实现对卫星遥测数据的检测, 本发明采用纯数据驱动, 无需专家经验, 能够适用多种场合; 结合变分自编码器和生成对抗网络各自的优点, 快速准确的检测出异常数据, 即检测出卫星的异常状态, 解决现有技术中无法实现自动检测和检测误差高的问题, 保证了卫星异常自动检测的准确度。

说明书附图

下面结合附图对本发明作进一步说明：

图 1 为本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法
5 流程示意图；

图 2 为本发明所提供的循环神经网络结构示意图；

图 3 为本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统
结构示意图。

具体实施方式

10 本发明的基本思想是：采用自编码器重构数据，依据重构误差来判定异常。引入对抗网络，结合变分自编码器和生成对抗网络两者的优点，使得重构模型更加精确，降低重构模型的误差，降低了异常检测的误差。对于异常判断，考虑到传感器冗余而且不依靠专家经验，采用马氏距离进行计算重构误差。对数据进行周期分析，进一步的提高重构数据的准确性。

15 基于所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法及系统，本发明结合具体实施例，对本发明作进一步详细说明。

图 1 为本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法
流程示意图，如图 1 所示，本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫
星异常检测方法，包括：

20 S101，获取变分自编码器和生成式对抗网络；所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入，以重构数据为输出；所述变分自编码器包括编码器和解码器；所述生成式对抗网络包括生成器和判别器。

所述变分自编码器的损失函数为
$$L_{VAE} = L_R + L_{KL}^{p-q} = -E_{q(z|x)}[\log p(x|z)] + D_{KL}(q(z|x) \| p(z))$$
；其中， L_{VAE} 为变分自编码
25 器的误差， L_R 为样本的重构误差， L_{KL}^{p-q} 为后验概率和真实后验概率的 KL 散度。

图 2 为单向的循环神经网络结构示意图，而单向的循环神经网络只能在一个方向处理数据。为了在两个方向上处理数据，本发明采用长短时记忆网络作为生成式对抗网络中的判别器。

其中，利用公式 $\vec{h}_1 = H(W_{x\vec{h}}x_t + W_{\vec{h}\vec{h}}\vec{h}_{t-1} + b_{\vec{h}})$ 确定自前向后循环神经网络层的更新。

利用公式 $\vec{h}_1 = H(W_{x\vec{h}}x_t + W_{\vec{h}\vec{h}}\vec{h}_{t-1} + b_{\vec{h}})$ 确定字后向前循环神经网络层的更新。

利用公式 $y_t = W_{\vec{h}y}\vec{h}_t + W_{\vec{h}y}\vec{h}_t + b_y$ 确定两层循环神经网络层的叠加，并输入隐藏层。

利用公式 $\min_{GEN} \max_{DIS} O(DIS, GEN) = E_{x \sim P_{data}} [\log DIS(x)] + E_{x \sim P_z} [\log(1 - DIS(GEN(z)))]$ 确定生成式对抗网络的目标函数。

P_{data} 和 P_z 分别是真实数据和生成数据的分布，DIS 为生成器，GEN 为判别器，x 为输入数据，z 为编码器生成的隐变量。

在训练判别器时，真实数据判别值越接近 1 越好，对生成数据的判别值越接近 0 越好。在训练生成器时，希望生成数据能够欺骗判别器，让生成数据的判别值接近 1。生成器训练刚开始时，生成数据和真实数据的分布有很大差异，判别器模型的判别结果处于上下摆动状态；然后，重复固定生成器，优化判别器，以及固定判别器，训练生成器这一过程，直到判别器无法判别生成数据的真假。生成器的目的就是不断训练生成模型，使 P_z 越来越接近 P_{data} ，并且构建一个判别器来区分生成数据

和真实数据。

S102, 在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络, 确定优化后的变分自编码器; 所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器; 所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量; 所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据。

根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器; 所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器, 确定优化后的编码器。

根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器。

根据所述判别器对所述优化后的编码器编码后的所述隐变量进行判别, 确定优化后的隐变量。

根据所述优化后的隐变量以及所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

S103, 获取待检测的卫星遥测数据。所述卫星遥测数据随着卫星周期性的变化而变化。

S104, 根据所述待检测的卫星遥测数据, 采用所述优化后的变分自编码器, 确定卫星的当前运行状态; 所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

根据所述待检测的卫星遥测数据, 采用所述优化后的变分自编码器, 确定所述重构数据。

根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据, 采用马氏距离, 确定重构误差。

利用公式 $Dist = \sqrt{(x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu)}$ 确定重构误差。其中 x 为待检测的卫星遥测数据， μ 为卫星遥测数据均值， Σ^{-1} 表示卫星遥测数据空间的协方差矩阵的逆矩阵。

5 为了进一步的提高重构误差的精确度，在马氏距离确定重构误差的基础上，确定重构误差的得分。

即利用公式 $RE_{score}(i) = \sqrt{(x(i) - \overline{R(i)})^T \sum_x^{-1} (x(i) - \overline{R(i)})^T}$ 确定重构误差的得分。

$x(i)$ 为第 i 个卫星遥测数据， $\overline{R(i)}$ 为经过自编码器重构的第 i 个卫星遥测数据。

10 $RE_{score}(i)$ 在高维空间中是一种相对鲁棒性的重构误差度量值，可以反应卫星遥测数据重构误差变化的趋势。为了监测这一趋势并且检测异常变动需要设定误差阈值。即通过误差阈值的设置提供重构误差的准确性。

获取误差阈值。

判断所述重构误差是否小于所述误差阈值。

15 若所述重构误差小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为正常运行状态。

若所述重构误差不小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

20 卫星遥测数据反映了卫星在轨运行的当前状态，由于卫星运行具有周期性，因此，卫星遥测数据也会随着卫星周期而呈现周期性变化，准确地分析出卫星遥测数据变化周期对其异常检测研究具有重要意义。由于卫星遥测数据维度高，数据量大，无法直接观察出卫星遥测数据的周期。通过卫星遥测数据的周期获取误差阈值具体包括：

获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据;根据所述卫星遥测样本数据,采用小波方差,对所述卫星遥测样本数据进行分析,确定每一时刻的误差阈值。

根据所述卫星遥测样本数据,采用小波方差,对所述卫星遥测样本数据进行分析,确定每一时刻的误差阈值的具体过程为:

(1) 小波函数满足 $\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0$ 。

利用公式 $\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi(\frac{t-b}{a})$ 确定一簇小波函数系。

(2) 利用公式 $W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \overline{\psi(\frac{k\Delta t - b}{a})}$ 对小波函数进行离散变换。

(3) 利用公式 $Var(a) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |W_f(a,b_k)|^2$ 确定小波方差。

根据小波方差放映的卫星遥测数据波动的能量分布,确定卫星遥测数据的方差。

根据卫星轨道运转的特点,对一个周期内的卫星遥测数据进行分析。先将一个前向周期窗口内收集到的数据统计得到 97% 上分位点,再将该点放大 α 倍,利用 $U_i = y_i(1+\alpha)$ 确定第 i 个输入量对应的上界。其中, y_i 是第 i 个输入量前向一个周期内 97% 上分位点, α 是未知的比例系数。

为了获得最优的动态误差阈值区间,将近期历史数据构成一个新的预测样本,该预测样本称为验证集,通过时间窗口动态构建验证集的动态误差阈值区间。

图 3 为本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统结构示意图,如图 3 所示,本发明所提供的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统,包括:第一获取模块 301、优化后的变分自编码器确定

模块 302、第二获取模块 303 和卫星的当前运行状态确定模块 304。

第一获取模块 301 用于获取变分自编码器和生成式对抗网络；所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入，以重构数据为输出；所述变分自编码器包括编码器和解码器；所述生成式对抗网络包括生成器和判别器。

5 优化后的变分自编码器确定模块 302 用于在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络，确定优化后的变分自编码器；所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器；所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量；所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据。

10 第二获取模块 303 用于获取待检测的卫星遥测数据。

卫星的当前运行状态确定模块 304 用于根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态；所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

15 所述卫星的当前运行状态确定模块 304 具体包括：重构数据确定单元、重构误差确定单元、误差阈值获取单元判断单元、正常运行状态确定单元和异常运行状态确定单元。

重构数据确定单元用于根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定所述重构数据。

20 重构误差确定单元用于根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据，采用马氏距离，确定重构误差。

误差阈值获取单元用于获取误差阈值。

判断单元用于判断所述重构误差是否小于所述误差阈值。

正常运行状态确定单元用于若所述重构误差小于所述误差阈值,确定所述卫星的当前运行状态为正常运行状态。

异常运行状态确定单元用于若所述重构误差不小于所述误差阈值,确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

5 所述误差阈值获取单元具体包括:卫星遥测样本数据获取子单元和每一时刻的误差阈值确定子单元。

卫星遥测样本数据获取子单元用于获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据。

10 每一时刻的误差阈值确定子单元用于根据所述卫星遥测样本数据,采用小波方差,对所述卫星遥测样本数据进行分析,确定每一时刻的误差阈值。

所述优化后的变分自编码器确定模块 302 具体包括:生成器确定单元、判别器确定单元、优化后的隐变量确定单元和优化后的变分自编码器确定单元。

15 生成器确定单元用于根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器;所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器,确定优化后的编码器。

判别器确定单元根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器。

20 优化后的隐变量确定单元用于根据所述判别器对所述优化后的编码器编码后的所述隐变量进行判别,确定优化后的隐变量。

优化后的变分自编码器确定单元用于根据所述优化后的隐变量以及

所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

提供以上实施例仅仅是为了描述本发明的目的,而并非要限制本发明的范围。本发明的范围由所附权利要求限定。不脱离本发明的精神和原理而做出的各种等同替换和修改,均应涵盖在本发明的范围之内。

1、一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法，其特征在于，包括：

获取变分自编码器和生成式对抗网络；所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入，以重构数据为输出；所述变分自编码器包括编码器和解码器；所述生成式对抗网络包括生成器和判别器；

5 在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络，确定优化后的变分自编码器；所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器；所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量；所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据；

获取待检测的卫星遥测数据；

10 根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态；所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

2、根据权利要求1所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法，其特征在于，所述根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态，具体包括：

15 根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定所述重构数据；

根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据，采用马氏距离，确定重构误差；

20 获取误差阈值；

判断所述重构误差是否小于所述误差阈值；

若所述重构误差小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为

正常运行状态;

若所述重构误差不小于所述误差阈值,确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

3、根据权利要求 2 所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法, 其特征在于, 所述获取误差阈值, 具体包括:

获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据;

根据所述卫星遥测样本数据, 采用小波方差, 对所述卫星遥测样本数据进行分析, 确定每一时刻的误差阈值。

4、根据权利要求 1 所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测方法, 其特征在于, 所述在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络, 确定优化后的变分自编码器, 具体包括:

根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器; 所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器, 确定优化后的编码器;

15 根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器;

根据所述判别器对所述优化后的编码器编码后的所述隐变量进行判别, 确定优化后的隐变量;

根据所述优化后的隐变量以及所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

20 5、一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统, 其特征在于, 包括:

第一获取模块, 用于获取变分自编码器和生成式对抗网络; 所述变分自编码器以卫星遥测数据为输入, 以重构数据为输出; 所述变分自编码器

包括编码器和解码器；所述生成式对抗网络包括生成器和判别器；

优化后的变分自编码器确定模块，用于在所述变分自编码器中加入所述生成式对抗网络，确定优化后的变分自编码器；所述优化后的变分自编码器包括优化后的编码器和所述解码器；所述优化后的编码器用于将所述待检测的卫星遥测数据编码为隐变量；所述解码器用于将所述隐变量解码为所述重构数据；

第二获取模块，用于获取待检测的卫星遥测数据；

卫星的当前运行状态确定模块，用于根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定卫星的当前运行状态；所述当前运行状态包括正常运行状态或异常运行状态。

6、根据权利要求5所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统，其特征在于，所述卫星的当前运行状态确定模块具体包括：

重构数据确定单元，用于根据所述待检测的卫星遥测数据，采用所述优化后的变分自编码器，确定所述重构数据；

重构误差确定单元，用于根据所述待检测的卫星遥测数据和所述重构数据，采用马氏距离，确定重构误差；

误差阈值获取单元，用于获取误差阈值；

判断单元，用于判断所述重构误差是否小于所述误差阈值；

正常运行状态确定单元，用于若所述重构误差小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为正常运行状态；

异常运行状态确定单元，用于若所述重构误差不小于所述误差阈值，确定所述卫星的当前运行状态为异常运行状态。

7、根据权利要求6所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统，其特征在于，所述误差阈值获取单元具体包括：

卫星遥测样本数据获取子单元，用于获取数据库中的一个卫星周期内的卫星遥测样本数据；

5 每一时刻的误差阈值确定子单元，用于根据所述卫星遥测样本数据，采用小波方差，对所述卫星遥测样本数据进行分析，确定每一时刻的误差阈值。

8、根据权利要求5所述的一种对抗网络自编码器的卫星异常检测系统，其特征在于，所述优化后的变分自编码器确定模块具体包括：

10 生成器确定单元，用于根据所述变分自编码器中的编码器确定所述生成式对抗网络的生成器；所述生成器用于优化所述变分自编码器中的编码器，确定优化后的编码器；

判别器确定单元，根据双向长短时记忆网络确定所述生成式对抗网络的判别器；

15 优化后的变分自编码器确定单元，用于根据所述优化后的隐变量以及所述变分自编码器中的解码器确定优化后的变分自编码器。

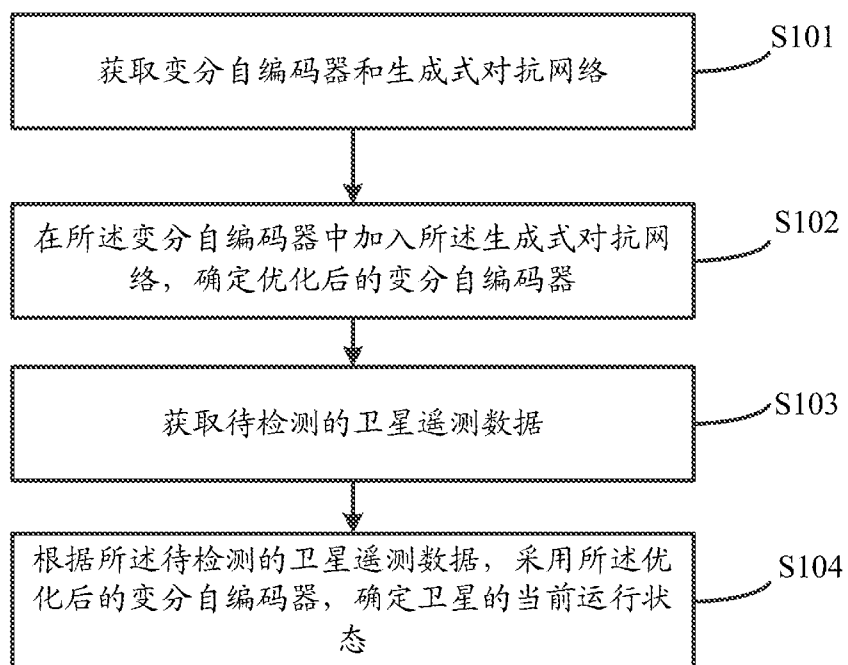


图 1

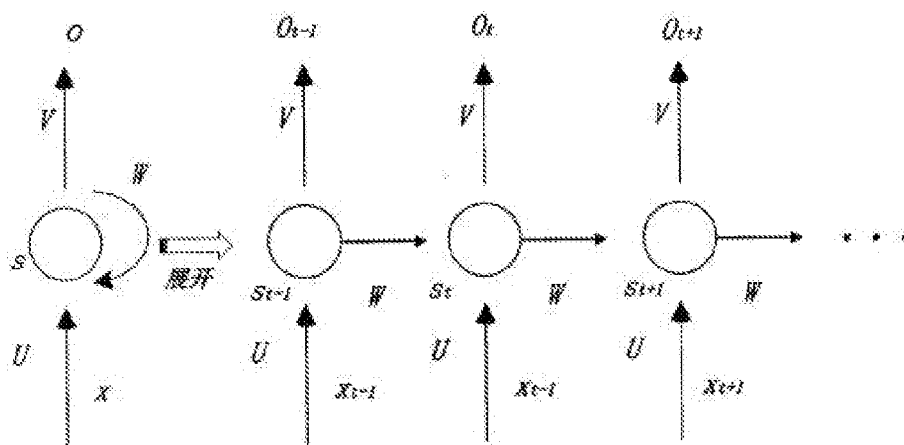


图 2

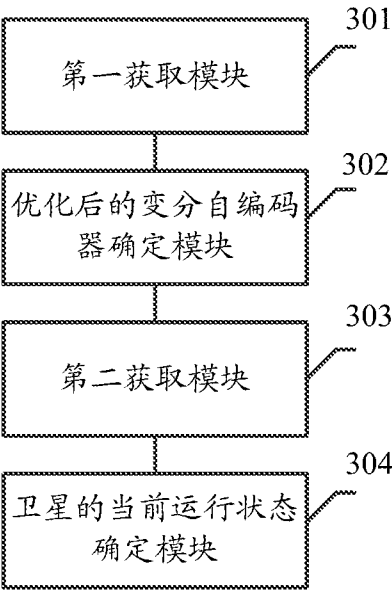


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/075658

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F 17/18(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) G06F 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, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: 变分自编码器, 卫星, 异常, 检测, 生成式对抗网络, 遥测数据, 重构, 隐变量, 解码器, 生成器, 判别器, variational autoencoders, satellite, anomaly, detection, generative adversarial networks, telemetry data, reconstruction, hidden variable, decoder, discriminator, generator																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109948117 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 28 June 2019 (2019-06-28) claims 1-4, and description, paragraphs [0041]-[0104]</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107358195 A (CHENGDU KOALA YOURAN TECHNOLOGY CO., LTD.) 17 November 2017 (2017-11-17) claims 1-3, and description, paragraph [0022]</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109447263 A (REN, Yuan) 08 March 2019 (2019-03-08) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107991876 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 04 May 2018 (2018-05-04) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107123151 A (SHENZHEN WETECCTV SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.) 01 September 2017 (2017-09-01) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	PX	CN 109948117 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 28 June 2019 (2019-06-28) claims 1-4, and description, paragraphs [0041]-[0104]	1-8	A	CN 107358195 A (CHENGDU KOALA YOURAN TECHNOLOGY CO., LTD.) 17 November 2017 (2017-11-17) claims 1-3, and description, paragraph [0022]	1-8	A	CN 109447263 A (REN, Yuan) 08 March 2019 (2019-03-08) entire document	1-8	A	CN 107991876 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 04 May 2018 (2018-05-04) entire document	1-8	A	CN 107123151 A (SHENZHEN WETECCTV SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.) 01 September 2017 (2017-09-01) entire document	1-8
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
PX	CN 109948117 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 28 June 2019 (2019-06-28) claims 1-4, and description, paragraphs [0041]-[0104]	1-8																		
A	CN 107358195 A (CHENGDU KOALA YOURAN TECHNOLOGY CO., LTD.) 17 November 2017 (2017-11-17) claims 1-3, and description, paragraph [0022]	1-8																		
A	CN 109447263 A (REN, Yuan) 08 March 2019 (2019-03-08) entire document	1-8																		
A	CN 107991876 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 04 May 2018 (2018-05-04) entire document	1-8																		
A	CN 107123151 A (SHENZHEN WETECCTV SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.) 01 September 2017 (2017-09-01) entire document	1-8																		
☒ 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 05 May 2020		Date of mailing of the international search report 20 May 2020																		
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088 China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.																		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/075658

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KIRAN, B.R. et al. "An Overview of Deep Learning Based Methods for Unsupervised and Semi-Supervised Anomaly Detection in Videos" <i>Journal of Imaging</i> , Vol. 4, No. (2), 07 February 2018 (2018-02-07), entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/075658

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	109948117	A	28 June 2019	None	
CN	107358195	A	17 November 2017	None	
CN	109447263	A	08 March 2019	None	
CN	107991876	A	04 May 2018	None	
CN	107123151	A	01 September 2017	None	

A. 主题的分类 G06F 17/18 (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) G06F 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, WPI, EPDOC, CNKI, IEEE: 变分自编码器, 卫星, 异常, 检测, 生成式对抗网络, 遥测数据, 重构, 隐变量, 解码器, 生成器, 判别器, variational autoencoders, satellite, anomaly, detection, generative adversarial networks, telemetry data, reconstruction, hidden variable, decoder, discriminator, generator																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109948117 A (南京航空航天大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4, 说明书第[0041]-[0104]段</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107358195 A (成都考拉悠然科技有限公司) 2017年 11月 17日 (2017 - 11 - 17) 权利要求1-3, 说明书第[0022]段</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109447263 A (任元) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107991876 A (南京航空航天大学) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107123151 A (深圳市唯特视科技有限公司) 2017年 9月 1日 (2017 - 09 - 01) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KIRAN, B. Ravi 等. "An Overview of Deep Learning Based Methods for Unsupervised and Semi-Supervised Anomaly Detection in Videos" Journal of Imaging, 第4卷, 第2期, 2018年 2月 7日 (2018 - 02 - 07), 全文</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109948117 A (南京航空航天大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4, 说明书第[0041]-[0104]段	1-8	A	CN 107358195 A (成都考拉悠然科技有限公司) 2017年 11月 17日 (2017 - 11 - 17) 权利要求1-3, 说明书第[0022]段	1-8	A	CN 109447263 A (任元) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文	1-8	A	CN 107991876 A (南京航空航天大学) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文	1-8	A	CN 107123151 A (深圳市唯特视科技有限公司) 2017年 9月 1日 (2017 - 09 - 01) 全文	1-8	A	KIRAN, B. Ravi 等. "An Overview of Deep Learning Based Methods for Unsupervised and Semi-Supervised Anomaly Detection in Videos" Journal of Imaging, 第4卷, 第2期, 2018年 2月 7日 (2018 - 02 - 07), 全文	1-8
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 109948117 A (南京航空航天大学) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 权利要求1-4, 说明书第[0041]-[0104]段	1-8																					
A	CN 107358195 A (成都考拉悠然科技有限公司) 2017年 11月 17日 (2017 - 11 - 17) 权利要求1-3, 说明书第[0022]段	1-8																					
A	CN 109447263 A (任元) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文	1-8																					
A	CN 107991876 A (南京航空航天大学) 2018年 5月 4日 (2018 - 05 - 04) 全文	1-8																					
A	CN 107123151 A (深圳市唯特视科技有限公司) 2017年 9月 1日 (2017 - 09 - 01) 全文	1-8																					
A	KIRAN, B. Ravi 等. "An Overview of Deep Learning Based Methods for Unsupervised and Semi-Supervised Anomaly Detection in Videos" Journal of Imaging, 第4卷, 第2期, 2018年 2月 7日 (2018 - 02 - 07), 全文	1-8																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> "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 </td> </tr> </table>			* 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																			
* 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 2020年 5月 5日		国际检索报告邮寄日期 2020年 5月 20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		授权官员 马晋涛 电话号码 86-(10)-53961410																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/075658

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	109948117	A	2019年 6月 28日	无	
CN	107358195	A	2017年 11月 17日	无	
CN	109447263	A	2019年 3月 8日	无	
CN	107991876	A	2018年 5月 4日	无	
CN	107123151	A	2017年 9月 1日	无	