

吴长泽, 刘巍巍, 武春佳, 等. 应急移动通信车智能运维管理模式探索[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(10): 131-135.
DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.251019

应急移动通信车智能运维管理模式探索

吴长泽¹, 刘巍巍², 武春佳², 吕劲松², 王尚刚², 许琛², 龚璇², 王熙苒²

(1 北京卫星导航中心, 北京 100000; 2 清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘要: 移动通信系统的状况好坏直接影响商业、民生,其运维管理非常重要。本文提出将移动通信车的智能运维功能下放至移动通信车本级,并针对移动通信车计算能力弱的特点研究了全局特征自适应建模方法和全负类覆盖半监督增强学习运维管理模式,为移动通信车的智能运维管理提供思路。

关键词: 移动通信系统; 智能运维; 全局特征自适应建模方法; 全负类覆盖增强学习运维管理模式; 数字孪生

中图分类号: N37

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)10-0131-05

Exploration of operation and maintenance of mobile communication system

WU Changze¹, LIU Weiwei², WU Chunjia², LÜ Jinsong², WANG Shanggang², XU Chen², GONG Xuan², WANG Xiran²

(1 Beijing Satellite Navigation Center, Beijing 100000, China;

2 Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The running condition of the mobile communication system directly affects business and people's livelihood. Therefore, the operation and maintenance management of the mobile communication system are very important. This article proposes to deploy the intelligent operation and maintenance function of mobile communication vehicles to the level of mobile communication vehicles, and studies the global feature adaptive modeling method and the full negative class coverage semi-supervised enhanced learning operation and maintenance management mode for the weak computing ability of the mobile communication vehicle, providing ideas for the intelligent operation and maintenance management of the mobile communication vehicle.

Key words: mobile communication system; Intelligent Operation and Maintenance (Intelligent O&M); global feature adaptive modeling; fully negative class-based enhanced learning-based operation and maintenance management mode; digital twin

0 引言

移动通信系统是经济和社会活动的神经血脉,该系统是否能够正常运行非常重要,任何故障如果没有及时得到妥善处理都将会产生一定的影响,甚至会造成巨大损失。

近年来,人工智能技术备受关注。将人工智能引入IT运维领域,智能运维的概念由此应运而生。智能运维目前在诸多知名的互联网企业中逐渐得到了广泛应用^[1-2],不仅对监管控进行了集中整合,还进一步实现了初步运维体系化、运维操作自动化,以及资产管理和运维数据可视化。基于此,本次研究则致力于将智能运维的先进理念和技术应用至移动通信车中。

1 移动通信系统智能运维模式探索

移动通信系统呈现设备种类多、终端种类多、运

行环境复杂多变的特点,其高效智能运维模式应重点关注3个方面:

(1)时效性。即如何实现更短的平均故障恢复时间。而战争期间对通信设备提供稳定可靠服务的要求更高。

(2)资源占用率。若在应急状态下,移动通信系统中通信带宽十分宝贵,不能占用过多通信资源用于运维。

(3)协作性。即便部署了智能运维能力,应用移动通信系统的很多运维场景还是需要人工协作,因此需要运维人员能够执行便捷操作^[3]。

由此可见,民用信息通信系统的智能运维模式为中心化运维模式。为追求更高效全面的智能运维效果,各系统运维数据^[4]、动环数据^[5]、电力数据^[6]、机器人巡检数据一般需远程传输到智能平台进行智能运维,监控数据集中分析、问题跟踪定位、

恢复执行规划则由智能运维中心平台完成,期间要传输海量运维数据和情况变化数据;而在应急状态下,移动通信系统中通信带宽宝贵且有限,远程运维方法不可采用,亟需建立一套安全、高效、合理可行的智能化运维管理模式。

移动通信系统的高效智能运维探索应遵循以下原则。

(1) 由点到面。从实际痛点入手,找到适合场景以及正确的问题来试点,而非进行全局性的智能运维解决方案研发。

(2) 充分利用成熟技术,可以做必要改进,但尽量不做重复工作,以确保实现快速部署。

因此,本文提出移动通信系统的固定台站“集中管控”、移动通信车等移动通信子系统“独立运维”、统分结合的智能运维模式。固定台站的“集中管控”可参考民用智能运维模式,此次研究亟待探索的就是移动通信车等移动通信子系统(以下简称移动通信子系统)的智能运维模式。

2 移动通信子系统的智能运维模式探索

移动通信子系统作为移动通信系统的主要载体,其运维一直是备受重视的,也是一个难题。移动通信子系统主要装载网络管理、频率管理与安全保密管理设备,能方便、灵活地从任一节点(包括干线节点、无线电接入节点),以多种方式(有线、无线)接入移动通信系统,快速地开展应急通信相关工作^[6]。现在的移动通信子系统上装备有信息处理系统、通信系统、保密系统、定位系统、配电系统、动环系统、公用系统等系统、多达几十种设备^[7-11],但随车运维人员极少,无法做到专人专岗。运维人员多是身兼数职,监控效率不高,平均故障恢复时间往往达到以天为单位;仍需指出的是,培养合格的运维人员也是一个长期过程。

(1) 移动通信子系统车载设备和机房运行设备的运行环境不同。机房运行设备通常是在几乎恒定的环境条件下运行,系统正常运行时运维数据、动环数据、电力数据也相对稳定;而移动通信子系统车载设备的工作温度、湿度、气压、辐射、砂尘浓度、大气盐雾含量都随其应用场景环境不同发生剧烈变化^[12-16]。设备正常工作时,其运维数据、动环数据、电力数据也会随之发生指标偏移,若沿用机房的运维告警模式,虚警率将大幅提高,因此不能直接套用机房设备的运维告警模式,也不应完全遵照机房运行设备的训练方法对移动通信子系统车载设备的数

据进行告警,亟需研究一套适合预测故障的算法。

(2) 机房运行设备通常型号种类相同且距离较远,设备之间的互相影响可忽略不计,因此可以为每个设备单独进行数字孪生建模,模型具有可复用性。移动通信子系统车载设备种类繁多且装配紧密,有时还根据场景需要加装或更换设备,设备之间的电磁干扰、温度干扰在数字孪生时都需要考虑在内,设备不可单独进行数字孪生建模,应进行全局性的整体数字孪生建模,但这样一来就导致了数字孪生模型的不可复用性,浪费了前期已经积累了丰富的运维数据亟需建立一种既可以考虑车载设备之间互相影响、又可复用的数字孪生建模方法。

为了解决以上问题,本文提出移动通信子系统设备的全局特征自适应建模方法和移动通信子系统的全负类覆盖增强学习智能运维模式。全局特征自适应建模方法既考虑了移动通信子系统车载设备之间的互相影响,又充分利用了单个设备的数字孪生模型的数据;全负类覆盖增强学习智能运维模式可以容纳环境变化引发的指标偏移,将虚警率和漏报率都合理降到最低,2种算法所需计算量也可实现本地的智能运维。移动通信系统智能运维框架结构如图1所示。

2.1 全局特征自适应建模方法

研究中描述一个移动通信子系统的运行状态全局特征超矢量,移动通信子系统被映射到一个高维全局特征超矢量空间,即将某移动通信子系统($i \in \mathbb{N}$)从一个一维的车载设备空间 X 映射至一个高维全局特征空间 F ,这里 F 是一个欧几里得空间(Euclidean Spaces)。对此可以表示为:

$$\Phi: X \rightarrow F \quad (1)$$

其中,移动通信子系统 $x_i(i \in \mathbb{N})$ 的运行状态参数被映射到高维全局特征空间:

$$\Phi: x_i \rightarrow \varphi(x_i) \quad (2)$$

其中,移动通信子系统 x_i 的运行状态全局特征超矢量 $\varphi(x_i)$ 计算如下:

$$\varphi(x_i) = [\vec{I}_{x_i}, \vec{C}_{x_i}, \vec{S}_{x_i}, \vec{P}_{os_{x_i}}, \vec{P}_{od_{x_i}}, \vec{D}_{x_i}, \vec{U}_{x_i}] \quad (3)$$

该特征超矢量级联了信息处理系统的运行状态 \vec{I}_{x_i} 、通信系统的运行状态 \vec{C}_{x_i} 、保密系统的运行状态 \vec{S}_{x_i} 、定位系统的运行状态 $\vec{P}_{os_{x_i}}$ 、配电系统的运行状态 $\vec{P}_{od_{x_i}}$ 、动环系统的运行状态 \vec{D}_{x_i} 、公用系统的运行状态 \vec{U}_{x_i} 。

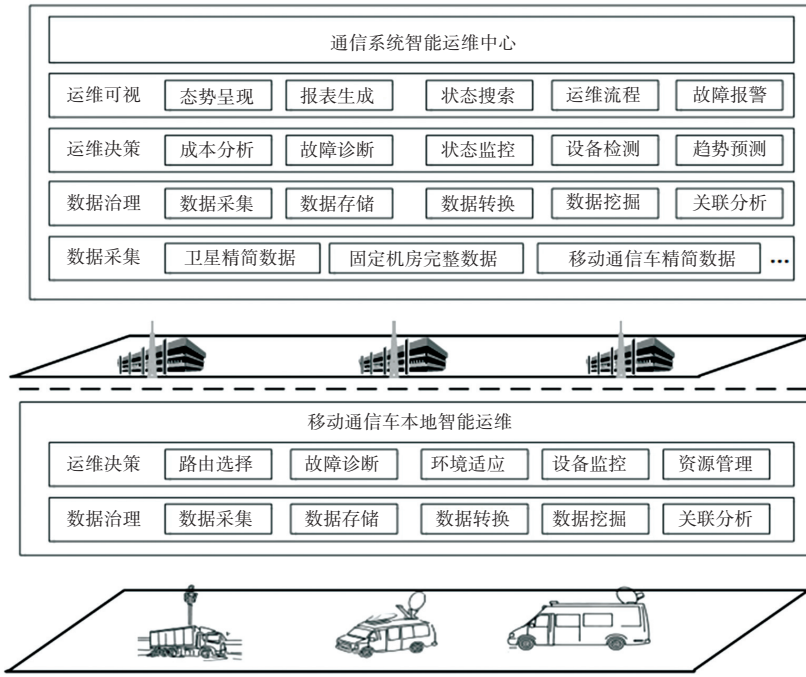


图 1 移动通信系统智能运维框架结构

Fig. 1 Intelligent operation and maintenance framework for mobile communication systems

其中, 信息处理系统 $\vec{I}_{x_i} = c_{\rightarrow} [I_{1x_i}, I_{2x_i}, \dots, I_{n_{Ix_i}}] (n_l \in N)$; c_{\rightarrow} 表示 $\vec{I}_{n_{x_i}}$ 是移动通信子系统 x_i 的第 n 套信息处理系统的运行状态特征超矢量, c_{\rightarrow} 表示其权重; $\vec{I}_{n_{x_i}} = [i_{1n_{x_i}}, i_{2n_{x_i}}, \dots, i_{m_{in_{x_i}}}] (m_i \in N)$, $i_{m_{in_{x_i}}}$ 是第 n 套信息处理系统正常运行时的第 m 个运维参数。

通信系统的运行状态 \vec{C}_{x_i} 、保密系统的运行状态 \vec{S}_{x_i} 、定位系统的运行状态 $\vec{P}_{os_{x_i}}$ 、配电系统的运行状态 $\vec{P}_{od_{x_i}}$ 、动环系统的运行状态 \vec{D}_{x_i} 、公用系统的运行状态 \vec{U}_{x_i} 的定义以此类推。

移动通信子系统 x_i 的任意 2 个运行状态 p 和 q 之间的距离以基于移动通信子系统的运行状态用全局归一化的 Bhattacharyya 距离测度, 定义如下:

$$D(p, q) = D(\varphi_p(x_i), \varphi_q(x_i)) = \sum_{\vec{O}_p = \vec{I}_{x_i}, \vec{C}_{x_i}, \vec{S}_{x_i}, \vec{P}_{os_{x_i}}, \vec{P}_{od_{x_i}}, \vec{D}_{x_i}, \vec{U}_{x_i}} \vec{O}_p \cdot \vec{O}_q \quad (4)$$

$$\vec{O}_{p_{n_{x_i}}} \cdot \vec{O}_{q_{n_{x_i}}} = \begin{cases} 0, & \vec{O}_{p_{n_{x_i}}} \cap \vec{O}_{q_{n_{x_i}}} = \emptyset \\ \sum_{k=1}^{n_o} \sum_{j=1}^{m_o} \left\| \frac{o_{j_{p_{n_{x_i}}} - o_{j_{q_{n_{x_i}}}}}{(o_{j_{n_{x_i}}})_{\max} - (o_{j_{n_{x_i}}})_{\min}} \right\|_2, & \vec{O}_{p_{n_{x_i}}} \cap \vec{O}_{q_{n_{x_i}}} \neq \emptyset \end{cases} \quad (5)$$

其中, $(o_{j_{n_{x_i}}})_{\max}$ 表示训练集中所有进行统计计算得到的 $o_{j_{n_{x_i}}}$ 运维参数的最大值; $(o_{j_{n_{x_i}}})_{\min}$ 表示训练集中所有进行统计计算得到的 $o_{j_{n_{x_i}}}$ 运维参数的最小值; $(o_{j_{n_{x_i}}})_{\max} - (o_{j_{n_{x_i}}})_{\min}$ 作为归一化因子可以避免某些运维参数值过大, 从而在 2 范式的计算中起主导作用, 也可一定程度上消除随应用场景环境不同发生发生的指标偏移。

将移动通信子系统 x_i 的所有正常运行状态参数集 $\{\varphi(x_i)\}$ 作为正样本, 将移动通信子系统 x_i 所有设备发生任意故障时的状态参数集 $\{\bar{\varphi}(x_i)\}$ 作为负类样本, 负类样本定义为 $\bar{\varphi}(x_i) = [\vec{I}'_{x_i}, \vec{C}'_{x_i}, \vec{S}'_{x_i}, \vec{P}'_{os_{x_i}}, \vec{P}'_{od_{x_i}}, \vec{D}'_{x_i}, \vec{U}'_{x_i}]$, 其中 $\vec{I}'_{x_i}, \vec{C}'_{x_i}, \vec{S}'_{x_i}, \vec{P}'_{os_{x_i}}, \vec{P}'_{od_{x_i}}, \vec{D}'_{x_i}, \vec{U}'_{x_i}$ 满足:

$$(\vec{I}'_{x_i} = \vec{I}_{x_i}) \vee (\vec{C}'_{x_i} = \vec{C}_{x_i}) \vee (\vec{S}'_{x_i} = \vec{S}_{x_i}) \vee (\vec{P}'_{os_{x_i}} = \vec{P}_{os_{x_i}}) \vee (\vec{P}'_{od_{x_i}} = \vec{P}_{od_{x_i}}) \vee (\vec{D}'_{x_i} = \vec{D}_{x_i}) \vee (\vec{U}'_{x_i} = \vec{U}_{x_i}) \quad (6)$$

其中, $\exists i'_{m_{n_{x_i}}} = \bar{i}_{m_{n_{x_i}}}$ (这里, $\bar{i}_{m_{n_{x_i}}}$ 表示运维故障时曾报出的数据) 时, 即认为 $\vec{I}'_{x_i} = \vec{I}_{x_i}$, 其他超矢量以此类推。

正负类样本确定后, 经过特定的模型训练方法即可得到移动通信子系统 x_i 的全局特征自适应模型。这样, 就既可以借鉴单个设备历史的所有运行

数据,又能考虑设备之间的互相影响,使模型具有可重用、全局性和经验性的特性。

2.2 全历史覆盖增强学习智能运维模式

这里,提出一种全历史覆盖增强学习的智能运维模式,这种运维模式可将以往的单台通信设备的运维数据充分加以利用,又能兼顾移动通信子系统随设备应用环境不同发生的指标偏移,使运维具有可演进、可了解和自适应的特性。

由于深度神经网络需要大量的数据进行训练,支持向量机是内存密集型算法且需根据环境不同调整参数。而移动通信子系统中单个设备的历史运维数据达不到海量,相较于其他深度神经网络的应用场景较少;支持向量机调整参数需进行大量的重复训练,车载设备的计算力在智能运维场景下都不适用。自底向上的层次聚类的算法适用于低资源的模型训练,不需调整参数,且可人为控制聚类次数,适用于移动通信子系统场景下的预测故障、界定故障。因此,本文以上述正负样本集作为训练样本,对移动通信子系统的运行状态用全局归一化的 Bhattacharyya 距离测度进行自底向上的层次聚类。

自底向上的层次聚类中,将移动通信子系统 x_i 的所有正常运行状态参数集 $\{\varphi(x_i)\}$ 作为正样本,将移动通信子系统 x_i 所有设备发生任意故障时的状态参数集 $\{\bar{\varphi}(x_i)\}$ 看做负类样本。聚类过程中,首先计算不同状态之间的距离,合并距离值最小的状态,然后不断重复迭代此过程,直至将正样本和负样本聚类完成。运维过程中,人工操作非常简单,当发现某设备有虚警情况时,将该设备的运维参数设置为正常标签,发现某设备有漏报情况时,将该设备的运维参数设置为故障标签,重新聚类即可,几次迭代即可大幅降低虚警率和漏报率。

全历史覆盖增强学习的智能运维模式主要面向可对存储的历史数据进行挖掘和批量计算的分析场景,用于大数据量的离线模型训练和计算,如挖掘告警关联关系、趋势预测计算、大规模的指标异常检测,大幅降低训练和检测开销。全历史覆盖增强学习智能运维结果如图 2 所示。

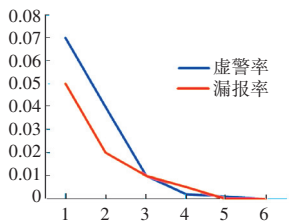


图 2 全历史覆盖增强学习智能运维结果

Fig. 2 Results of full-history coverage enhanced learning for intelligent operation and maintenance

2.3 小结

本节采用全局特征自适应建模方法和全负类覆盖增强学习智能运维模式,致力于推动移动通信子系统的智能化运维管理,可对主要设备进行实时监控与故障告警,以完成对设备故障告警与维修数据的综合管理数据分析,还可进一步对车载设备进行自判、自断与自决,实现预知故障,即在故障发生之前发现故障;实时告知,即在第一时间将故障情况通知相关的管理人员;有效处理,即在预定的时间内处理故障,若未及时处理将采取升级措施。该智能运维模式有 4 个优点:

(1) 既可以借鉴单台设备所有运行历史数据,又能考虑设备之间的互相影响,使模型具有可重用、全局性和经验性的特点。

(2) 可将以往的单台通信设备的运维数据充分加以利用,又能兼顾移动通信子系统随设备应用环境不同发生的指标偏移,使运维具有可了解、自适应的特点。

(3) 当设备替换时,重新训练的计算量不大,运维具有可演进特性。

(4) 可在线升级,维护人员的经验可有序传承。

3 结束语

本文通过分析移动通信系统的运维特点,提出固定台站“集中管控”、移动通信子系统“去中心化”、统分结合的智能运维模式。针对分析移动通信子系统设备的情况,提出了移动通信子系统智能运维的关键技术需求,详细阐释了移动通信子系统设备的全局特征自适应建模方法和移动通信子系统的全历史覆盖增强学习智能运维模式。随着智能运维技术的发展,为移动通信系统建立一套安全、高效、合理可行的智能化运维管理模式,对维持信息畅通具有重大意义。

参考文献

- [1] AIOps 标准工作组.《企业级 AIOps 实施建议》白皮书[Z]. 北京:中国通信标准化协会(CCSA),2018.
- [2] TechRepublic. Omdia Universe: Selecting an AIOps solution, 2021-22[EB/OL]. (2021-08-31). <https://www.techrepublic.com/resource-library/topic/internet-of-things>.
- [3] NEEKHARA P, HUSSAIN S, PANDEY P, et al. Universal adversarial perturbations for speech recognition systems[J]. arXiv preprint arXiv, 1905.03828, 2019.
- [4] SCHONHERR L, KOHLS K, ZEILER S, et al. Adversarial attacks against automatic speech recognition systems via psychoacoustic hiding[J]. arXiv preprint arXiv, 1808.05665, 2018.

[5] SCHÖNHERR L, KOHLS K, ZEILER S, et al. Ad versarial attacks against automatic speech recognition systems via psychoacoustic hiding [J]. arXiv preprint arXiv, 1808. 05665, 2018.

[6] QIN Yao, CARLINI N, GOODFELLOW I, et al. Imperceptible, robust, and targeted adversarial examples for automatic speech recognition [C]// Proceedings of 2019 36th International Conference on Machine Learning (PMLR). Long Beach, USA: dblp, 2019:1–13.

[7] MEHLMAN N, SREERAM A, PERI R, et al. Mel frequency spectral domain defenses against adversarial attacks on speech recognition systems[J]. arXiv preprint arXiv,2203. 15283,2022.

[8] SALMAN H, SUN Mingjie, YANG G, et al. Black – box smoothing: A provable defense for pretrained classifiers[J]. arXiv preprint arXiv,2003. 01908, 2020.

[9] LIN Yiqing, ABDULLA W H. Principles of psychoacoustics [C]// Audio Watermark. Cham: Springer,2015; 15–49.

[10] 赵蒙,达新宇,张亚普. 电磁脉冲武器及其防护技术概述[J]. 飞航导弹, 2014 (5);33–37.

[11] 徐思亮. 轨道交通屏蔽门智能运维系统方案研究[J]. 交通世界, 2022 (Z1);27–29.

[12] 秦魏. 机器人巡检系统在变电运维管理中的应用[J]. 集成电路应用, 2021,38 (11);168–169.

[13] 陈真,王雅志. 基于人工智能的运维系统建设研究与应用[J]. 常州工学院学报, 2021,34 (3);35–40.

[14] 郑佳乐,丁佩瑶,沈浩,等. 人工智能在变电站运维管理中的应用[J]. 集成电路应用, 2022,39 (1);242–243.

[15] 石菲. 智能运维迎来分级成熟度模型[J]. 中国信息化, 2021 (10);12.

[16] 徐超. 基于 5G 网络的配电网智能运维管控系统研究[J]. 长江信息通信, 2023 ,36 (12);137–139.