

# 边缘计算赋能的战场武器装备售后保障实时数据处理技术

赵施斌<sup>1</sup> 费香邦<sup>2</sup>

上海航天电子技术研究所 201108

**【摘要】**文章从战场武器装备的售后保障这一业务的特点和在数据上的需求入手,分析边缘计算赋能于数据处理技术的诸多优势,创建“感知-边缘处理-云端协同”的三级数据处理架构,主要研究数据的采集、边缘预处理、低时延传输和协同调度等的关键技术,以期为边缘计算在军事装备保障领域中的深层次应用提供更多技术参考,对推动战场装备保障模式向着“主动预判、精准保障”的转型有着非常重要的促进意义。

**【关键词】**边缘计算; 武器装备; 售后保障; 实时数据

Real time data processing technology of battlefield weapon equipment after-sales support enabled by edge computing

Zhao Shibin<sup>1</sup> Fei Xiangbang<sup>2</sup>

Shanghai Institute of Aerospace Electronics Technology 201108

**【Abstract】** Starting from the characteristics of the battlefield weapon equipment after-sales support business and the demand for data, this article analyzes the advantages of edge computing enabling data processing technology, creates a three-level data processing architecture of "perception edge processing cloud collaboration", mainly studies the key technologies such as data collection, edge preprocessing, low delay transmission and collaborative scheduling, with a view to providing more technical references for the in-depth application of edge computing in the field of military equipment support, and has a very important significance in promoting the transformation of the battlefield equipment support model to "active prediction and accurate support".

**【Key words】** edge computing; weaponry; After sales guarantee; real-time data

在传统的战场装备售后保障中,采用的事“人工巡检+集中式数据处理”的方式,相关的一线保障人员借助便携式的设备采集装备的相关数据,上传到远端云端数据中心开展相关的处理和分析,并将诊断的结果和维修的指令反馈到现场。但这样的方式有着传输时延就较高、宽带占用较大且抗干扰能力较弱的缺点。边缘计算技术借助在数据的源头附近部署边缘节点,实现了数据的本地化实时处理和就近的响应,能够有效的弥补集中式结构不足的缺点。边缘计算产业联盟(ECC)的相关研究表示,边缘计算能够将数据的处理时延降低到10-100ms的界别,并在此基础上减少60%以上的核心网络宽带占用。把边缘计算赋能于战场的武器装备售后保障的实时数据处理中,能够实现装备状态的实时感知、

故障的精准预判并保证资源能够被高效的调用,推动售后保障的模式从原有的被动维修向着主动保障的方向发展。

## 一、战场武器装备售后保障实时数据处理需求分析

### (一) 战场装备售后保障业务流程

战场中的武器装备售后保障是由多个环节、多个主体协同组成的复杂过程,其主要的业务流程包括:装备状态的检测、数据采集传输、故障的诊断和分析、维修方案的生成、保障资源的调度和维修效果的评估<sup>[1]</sup>。其主要流程及具体内容如下表所示:

表1 战场装备售后保障业务流程

流程	主要内容
状态监测	借助装备自带的传感器或便携式的检测设备,实时的采集装备的关键部件(动力系统、火控系统、通信系统等)的运行状态的数据;
数据采集传输	把所采集到的多个类型的数据上传到处理节点中,开展数据的处理和分析;
故障诊断分析	基于处理之后的数据,结合装备故障知识库,诊断故障的类型及定位故障的实际位置;
维修方案生成	按照故障诊断的实际结果,匹配最佳的维修对策和相关技术参数,并生成维修的方案;
资源调度	调度就近的维修人员、维修器材等的基本保障资源,执行相关的维修任务;
效果评估	维修完成之后,再一次的采集装备状态的基本数据,以此评估维修的效果,最终形成保障的闭环。

在以上的业务流程中,贯穿始终的均为数据处理,数据处理的实时性和准确性直接的决定了保障流程的效果和效率。如在装备突发故障的情况下,需要在100ms之内完成故障的数据处理和诊断,都则会使得故障扩大,影响到装备的

作战效能。

### (二) 售后保障数据特性

战场的武器装备售后保障数据有着多源异构、实时性强、体谅巨大及可靠性要求高等的特点,具体如表2所示:

表2 售后保障数据特性

	数据特点
多源异构性	数据的来源包含装备自带的传感器、视频检测设备和维修记录系统等,数据的类型包含了结构化的数据、半结构化数据、非结构化数据,数据的格式并不统一;

实时性强	装备的运行状态数据的实际更新频率高达 100Hz 以上，故障的数据需要开展实时处理，否则会失去参考的价值；
体量大	单台信息化的装备每小时能够产生的数据量超过了 10GB，多台装备协同做账的情况下，数据量呈现指数级的增长；
可靠性要求高	在复杂的战场环境之下，数据非常容易受到电磁干扰、链路终端等的影响，需要保证数据传输和处理的稳定性，以此保证故障诊断结果的准确性。

### (三) 实时数据处理核心指标

按照战场装备售后保障在业务上的需求和数据的特点，明确实时数据处理的核心指标为：1.处理时延。从数据的采集完成直到输出诊断结果的总时延 $\leq 100\text{ms}$ ，核心故障的数据处理时延 $\leq 50\text{ms}$ ；2.宽带占用。边缘节点在本地处理之后，上传到云端的数据量较比原始的数据量减少 60%以上，降低核心网络宽带的压力；3.诊断准确率。在处理之后的数据的基础上，装备故障的诊断准确率 $\geq 90\%$ ；4.可靠性。在处于一些强电磁干扰和链路中断的概率 $\leq 30\%$ 的场景中，数据的处理连续性要 $\geq 95\%$ ；5.扩展性。支持多种类型的装备数据接入，能够按照保障的需求动态的扩展边缘节点的处理能力。

## 二、边缘计算赋能的实时数据处理架构设计

### (一) 架构设计原则

按照战场环境的特点和售后保障的实际需求，边缘计算赋能下的战场武器装备售后保障的实时数据处理架构设计，要遵循以下的基本原则：

**实时性原则：**要有限在边缘阶段出完按成相关数据的预处理和故障的初步诊断等的核心任务，以此减少数据传输和远端处理的时延；

**可靠性原则：**采用分布式的边缘阶段部署方式，具备链路中断时候，本地能够自主处理的能力，并提升架构的抗干扰和抗毁伤的能力；

**协同性原则：**明确边缘层和云端层在功能上的分工，一次实现边缘本地处理和云端的深度分析及全局调度的协同联动；

**扩展性原则：**使用模块化的设计，支持多种类型的装备数据接入和处理算法的升级，适配不同装备在保障方面的需求；

**安全性原则：**融入数据的加密和身份认证等的安全机制，以此保证装备数据在传输上和处理上的安全性。

### (二) 三级架构体系

在边缘计算技术原理的基础上，创建“感知层-边缘层-云端层”的三级战场装备售后保障实时数据处理架构，不同层级在功能定位和交互机制方面如下所示：

#### 感知层

该层为数据的采集和接入的核心层级，主要负责采集战场武器装备的多种类型的实际运行数据，以此实现数据的初步汇聚和格式的转化。在感知层中，其核心的设备包含装备自带的传感器、便携式的检测终端、视频采集设备和数据采集网关等等。其中，数据采集网关具备多个协议适配的能力，能够把不同来源和不同格式的衰术数据转换成为统一的格式，并上传到边缘层中<sup>[9]</sup>。

#### 边缘层

该层位实时数据处理的核心层级，会部署在战场的前沿阵地和保障放舱等靠近与数据源头的位置，主要负责数据的

实时预处理、故障的初步诊断和本地决策及响应等。该层级的核心设备包含：边缘服务器、边缘网关、边缘计算节点等，有着强大的本地数据处理能力和轻量化的云计算能力。其主要的功能包含：数据预处理、实时故障诊断、本地响应、数据上传和链路中断后的自主处理。

#### 云端层

该层级为全局协同和深度分析层，其会部署在后方的核心数据中心，主要负责全局数据的存储、深度故障分析、保障资源全局调度和故障知识库的更新等。其主要的功能包含：数据存储、数据深度分析、全局调度、知识库更新及远程监控。

感知层、边缘层和云端层借助 4G/5G、战术通信网络来实现数据的交互，并形成了“本地实时处理+云端全局协同”的高效数据处理模式，不仅保障了数据处理的实时性，也实现了保障资源的全局优化配置。

## 三、核心关键技术研究

### (一) 自适应多源数据采集技术

针对战场装备售后保障的数据有着多源异构、实时性强等特点，设计自适应多源数据采集技术，保证不同类型的数据能够精准且高效的被采集，其核心的技术要点为：

#### 多协议适配采集

数据的采集网关集成了 CAN、Modbus、TCP/IP、4G/5G 等的多样化的通信协议模块，借助协议的自动识别和适配算法，实现对于装备传感器和检测终端等，不同数据来源的快速接入。

#### 自适应采集频率调节

基于装备的运行状态和数据的重要性，要动态的调节数据的实际采集频率。使用了模糊控制算法，把装备的运行汉族昂和数据的重要性作为输入量，输出最佳的采集频率。如，当装备处于故障的预警状态的时候，一些核心参数的采集频率会从 100Hz 提升到 200Hz，以此保证故障数据能够完整的被采集；当设备处于正常的运行状态的时候，采集的频率会下降到 50Hz，以减少资源的占用。

#### 采集数据初步过滤

在采集网关中嵌入轻量化的过滤算法，基于预设的阈值和数据之间的关联性，过滤掉无效的数据和一些冗余的数据。如，当温度传感器所采集的数据超出了正常范围的 5 倍以上的时候，会判定其为传感器的故障数据，会直接过滤掉；对于连续重读的运行参数数据，仅会保留第一条和变化的数据，以此减少数据的体量。

### (二) 边缘实时数据预处理技术

边缘层的主要任务之一就是实现数据的实时预处理，在提升数据质量的基础上，减少上传数据的体量<sup>[9]</sup>。设计基于边缘计算的轻量化的实时预处理算法，包含了数据清洗、数据融合和特征提取者三个主要环节：

#### 数据清洗

使用阈值过滤+趋势分析的组合清洗算法,剔除掉一些异常的数据和噪声的数据。首先,基于装备各个参数的正常运行阈值的范围,过滤掉超出阈值的一些异常数据;其次,借助滑动窗口的趋势分析,识别到数据中的一些突变噪声,使用均值填充法来补充所确实的数据。这一算法轻量化比较高,处理的时延 $\leq 10\text{ms}$ ,适合在边缘阶段的实时处理操作中。

#### 数据融合

对于一些多源异构的数据,使用基于加权平均的多源数据的融合算法,把不同维度的数据开展关联和整合,提取出综合装备的状态信息。如,把发动机的温度和压力传感器的数据和视频检测的发动机外观数据开展融合操作,会提升故障判断的全面性。在实际的融合过程中,基于数据来源的可靠性分配权重,传感器的数据权重设定为0.7,视频数据的数据权重设定为0.3,以此保证融合将诶过的准确性。

#### 特征提取

使用轻量化的卷积神经网络算法,从经过预处理之后的融合数据中提取出故障的特点信息。借助简化传统CNN的网络结构,减少卷积层和全连接层数量,在保证特点提取精度的基础上,提升处理的速度。

### (三) 低时延抗干扰数据传输技术

对于战场环境可能存在的电磁干扰和网络拓扑动态变化等特点,设计低时延抗干扰数据的传输技术,保障边缘层和感知层、云端层之间在数据传输上的稳定性和实时性。其核心的技术要点为:

#### 基于战术通信的传输协议优化

使用经过改进的UDP协议,借助增加序号的标识和重传机制及差错的控制,在保留UDP低时延有事的基础之上,提升传输的可靠性。对于战场动态网络拓扑,引入了资质赢路由选择算法,基于链路带宽、时延和干扰强度等的参数,动态的选择最优的传输链路,以此保证传输时延的稳定性能能够在30ms之内。

#### 数据分段传输及压缩

对于边缘层上传到云端的特点数据,使用分段传输的对策,把大数据包分割成为多个小数据包,有效避免单一数据包可能会出现传输失败导致数据重传的情况。与此同时,使用L777轻量化的压缩算法对于数据开展压缩,压缩比为5:1,有效减少带宽的占用。有相关实验表明,这一技术能够把数据传输时延降低25%以上,传输的成功率提升了98%以上。

#### 抗电磁干扰加密传输

适应AES-128加密算法对于传输的数据开展加密的处理,以此防止数据被窃取或者被篡改。在传输的链路中引入了跳频通信技术,借助动态切换通信的频率,规避电磁的干扰,提升传输链路的抗干扰能力。在强电磁干扰的情况之下,跳频通信技术可使传输误码率降低到 $10^{-5}$ 以下,以此保证数

据传输的稳定性。

### (四) 边缘-云端协同调度技术

为了实现边缘层本地处理和云端层全局协同之间的高效联动,设计基于任务优先级的边缘-云端协同调度技术,动态的分配数据的处理任务,优化资源的配置。其核心技术要点为:

#### 任务优先级划分

把出具处理的任務分为四个类别,并按照优先级从高到低进行排序:

- 1.紧急故障处理任务,如装备核心部件故障诊断;
- 2.实时状态监测任务,如装备运行参数实时分析;
- 3.深度分析人物,如故障趋势的预测;
- 4.数据存储任务,如历史数据的归档。

紧急故障处理任务的优先级为最高,优先在边缘层开展本地处理;深度分析和数据存储的任务优先级比较低,分配到云端层处理。

#### 动态任务分配算法

在边缘节点处理能力、链路状态和任务优先级的基础上,设计动态任务分配的算法。适应贪心算法,以“时延最小化+资源利用率最大化”为主要目标,动态的决定任务在边缘层或者在云端层及西宁处理。如,当边缘节点处理的符合 $\leq 70\%$ 的时候,紧急故障处理和实时状态监测的任务分配在边缘层处理;在边缘阶段的符合超过70%的时候,把部分实时状态监测的任务迁移到云端层处理,以此保证边缘层的处理效率。

#### 数据同步机制

使用“增量同步+定时同步”的混合同步机制,保证边缘层和云端层数据的一致性。边缘层把处理之后的核心数据实时的增量同步到云端层;对于一些非核心的数据,使用定时同步的方式,减少同步链路的压力。在链路恢复的时候,边缘层会自动把链路中断期间所处理的数据同步到云端层,以此保证数据的完整性。

## 结束语

战场武器装备售后保障的实时性和可靠性,会直接的关系到作战效能的发挥程度和装备战斗力的存续,边缘层技术给破解传统集中式数据处理模式之下“时延高、带宽挤、抗扰弱”的痛点提供了关键的解决方式。文章通过创建“感知-边缘处理-云端协同”的三级架构,借助自适应数据采集、边缘实时预处理、低时延抗干扰传输与边缘-云端协同调度等的核心技术,缓解了战场保障对于数据处理时延、带宽占用和诊断准确率等核心指标的严格要求,推动装备保障从原有的被动响应像主动预判的方向发展。

## 参考文献

- [1]付长昭,宋桂香,杨宏,等.边缘计算节点标准化发展分析[J].信息技术与标准化,2025,(12):25-29.
- [2]种玉章.基于边缘计算的换流站智能故障检测系统设计[J].中国新技术新产品,2025,(24):44-46.
- [3]陈冠良,刘义,余意.异构多智能体强化学习驱动的无人机三维避障与边缘计算协同优化[J/OL].计算机应用,1-12[2025-12-29].