

工业互联网网关管理系统的设计和实现

张晓辉 那蓉萃 李颜秀
(中冶赛迪重庆信息技术有限公司 重庆市 401122)

摘要: 本文以工业互联网通用平台架构为基础,对如何设计并实现工业互联网网关管理系统进行论述。信息化时代的到来,加快了计算机网络技术的发展和更新,网络中介设备和终端设备持续优化,使计算机网络系统管理朝着智能化方向迈进。现阶段,以物联网通信为基础建立起来的工业互联网服务,其内容和外沿正向多维度扩展,应用范围也越来越广。近年来由于制造业的发展迅速,工业互联网在物联网技术的基础上单独剥离出来,基于工业互联网网关设备及管理系统的相关研究也被提上日程。

关键词: 工业互联网; 网管管理; 系统设计与实现

物联网通信优势下,工业互联网所涉及的数据类型和格式越来越繁杂,汇总难度也越来越大,对各种类协议设备的适配都需要由采集、分类、传输等操作作为支撑,网关设备在整个过程中主要发挥承上启下的作用,以此来使数据信息在不同网络间安全传递。

1 工业互联网通用平台架构与传输协议

1.1 平台架构

工业互联网平台分为四个层次。见图 1。

结合图 1,工业互联网通用平台共由四部份组成,由下至上来看,边缘层位于最底端,负责与全部类型传感设备和其它终端设备进行连接,因此这一层也被称作接入层。接入层具体负责完成对底层数据的收集,也包括各种人员信息,之后对这些信息数据进行汇总处理,在相应技术支持下(负

载均衡),模块化管管理将最终实现,进而达到提升资源使用效率的目的;平台层是在 IaaS 基础上扩展出来的一个应用平台,是整个平台架构的核心层,用于实现数据计算、处理、存储等操作,同时也具备算法分析、资源调度、应用开发等功能;应用层包括两方面内容,一是常规业务运行,二是创新应用,其创建背景是满足深度挖掘数据应用价值的需求。在相应功能支持下,工业应用层能够使机械、化工、电子等多个领域生产活动得到充分整合,并通过使用人工智能、可视化等新兴技术,使具体工艺和技术在特定场景中展势出来。

1.2 传输协议

与网络信息传输相同,工业环境下数据传输和收集,也需要有相应协议来支撑。协议类型分为两类,一类是“网内”传输协议,即子网内传输协议,另一类是通过互联网传输的,不同网络之间的传输协议。



图 1: 工业互联网通用平台架构

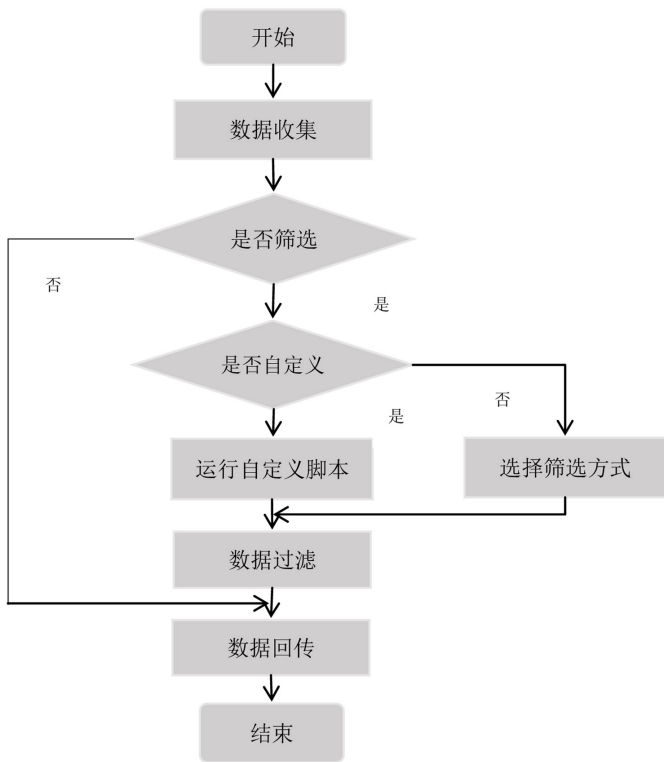


图 2: 数据过滤流程图

1.2.1 子网内传输协议

子网主要是指物理空间和虚拟空间内的局域网，在相关协议支持下，传感设备可与同级设备和上层设备进行通信。按照通信方式划分，子网内传输协议又分为近距离通信协议、远距离通信协议、有线通信协议。Mod bus 是目前通用的一种工业控制器网络通信协议，在自动化领域里得到广泛应用。其优点包括：使用简单，开放性高，没有版权要求。ASCII 和 RTU 是 Mod Bus 的两种通信模式，相比之下，采用十六进制传送数据的 RTU 模式数据传送效率更高。

1.2.2 子网外传输协议

子网外通信协议运行基础是 TCP/IP 协议，支持工业环境内部网络设备与互联网通信。REST/HTTP 协议、COAP 协议、MQTT 协议是三种比较主流的子网外传输协议，它们各自拥有特殊的应用范围和属性特征。其中，REST/HTTP 协议在标准 HTTP 协议基础上得到广泛应用，COAP 协议可简化无线传感网，MQTT 协议能够使各种协议得到很好的兼容。

2 工业互联网网关管理系统设计

2.1 平台架构设计

不同规模工业现场对工业互联网网关管理系统设计的要求不同，为了更好明确系统设计需求，文章以大型工业设备为例进行分析。通常而言，工业网络系统传输数据分类两类，一种是状态数据，另外则是控制数据。其中，第一种的特点是

海量数据且对及时性要求高，后者则负责更新边缘网关信息及数据处理工作。结合工业生产实际，大型设备在运行过程中容易出现数据上传准确性偏低（由环境混乱、干扰较多导致）、数据量增长速度过快（由过高监控需求导致）、数据格式难统一、设备反应时间较长等问题，因此，新构建的工业互联网管理平台需要具备如下四项功能：

- (1) 数据的实时显示和历史查询；
- (2) 实现远程控制；
- (3) 保证数据传输及时性、准确性、有效性；
- (4) 确保系统足够安全、稳定，以及具备可扩展性。

基于上述问题和需求，本研究设计了图 2 所示的网关架构。

工业互联网管理平台体系架构共分为三个层次，由下至上排列为：传感器设备、网关、云服务平台。其中，分布广泛的传感器设备会完成各类工业数据获取任务，根据工业互联网中的数据分布情况，采取合理有效的方式对数据进行采集和汇总，最后输送到网关。结合实际需求，系统功能设计分为三个模块：数据智能回传模块，协同任务分发模块，“网关+云端”管理平台。在网关设计方面，数据接入，数据管理，数据应用分别代表三个不同的功能层级。

2.2 智能回传模块设计

所谓“智能”，主要指对每一条设备中的数据进行标识，这种标识往往具有唯一性，而结合数据固有属性和特征，以及用户实际需求进行预处理，则被认为是实现数据唯一性的基础。基于工业互联网应用的智能回传模块设计，网关数据层支持阈值和频率两种过滤方式。但同时也支持自定义过滤，用户可将计算脚本下发到指定网关（数据过滤流程见图 2）。考虑到网关设备具有内存低、容量小等特点，因此不建议采用 HTTP 协议进行数据传输，否则会造成负载过重，引发开销过大等问题。MQTT 具有低成本、轻量级、支持高并发，以及兼容性强等优点，比较适合作为向云端传输数据的协议。

2.3 任务分发模块设计

任务分发模块设计以云端至网关任务下发机制为基础，该机制主要用于解决网关升级问题，以满足工业生产任务更新和重置需求。Docker 镜像和计算脚本是下发文件的主要内容。新的 Docker 容器部署分为两个步骤，一是将已发布的映像从 Docker 服务中提取出来，二是基于镜像启动容器。针对 Docker 注册表负担过重、网络流量泛滥、镜像服务失败等问题，本设计采用了基于 P2P 网络的文件分发系统。P2P 网络可以挖掘所有节点的带宽资源并进行充分利用，减轻云端的负荷压力，让部署环节提速。由于本次网关管理系统设计是以工业互联网应用环境为背景的，因此对分发节点的研究必须以工业环境下的网关设备作为基础。结合工业生产实际来看，任何一台被使用的 PC 机（客户端主机）都将通过一个专门的 IP 地址与外部环境进行通信。考虑到私有网络结构相对简单，且网关节点所处的网络环境比较优越（速度快、延迟低），因此不需要对主机隐藏在 NAT 网络

后面这一情况进行单独处理。以此为基础，原有平台只需要扩展一个任务分发协调控制器即可。P2P 通信模式环境下，借助云控制器进行调度，网关既是资源提供方，又是资源请求方，数据传输速率与请求方的数量成正比。

2.4 网关与云端管理平台设计

2.4.1 网关平台设计

工业互联网网关不仅被视为用户观测数据的第一窗口，更是整个系统最为重要的管理平台，在高效完成简单管理工作的同时，减轻了云端管理压力。在某种程度上，网关管理平台能够任一数据分析需求和管理需求

在本次设计中，网关管理平台可实现的功能主要包括以下三项内容：

(1) 可以对网关状态进行直接监控和管理。不管是正在运行的网关设备，还是处于非工作状态的网关设备，都会受到直接监控和管理，过程中，网关应用平台也会随具体要求而得到更新。

(2) 可以直接监控和管理传感节点。根据需要，网关管理平台能够对任意一个传感器节点设备进行列表查询，包括过往日志和历史数据，同时也支持参数修改与数据删除操作。

(3) 可实现数据智能回传。对每一条设备中的数据进行唯一性标识，结合数据固有属性和特征，对用户实际需求进行预处理。

2.4.2 云端管理平台设计

云端管理平台设计共分三部分内容，包括基础结构，负载均衡，功能设计。

首先看基础结构，多功能服务集群以平台的形式得以展现，在底层基础功能架构的支撑下，体现平台与应用的优势，用户将享有新增应用和应用拓展的权利，前提是，需要根据自身实际使用需求进行操作。本次设计所采用的平台架构是 REST，与 RPC、SOAP 相比，此结构结构更加清晰，可扩展性更强。但需要指出的是，它并不是一种标准，只是一种设计风格。

然后看负载均衡，负载均衡是 Web 服务应用需要认真考虑的一个问题，结合实际来看，DNS 轮询、LVS 调度和 Nginx 服务反向代理被认为是比较有效的三种解决方案。以 DNS 轮询为例，用户在访问浏览器时，首先需要借助 DNS 功能来解析即将链接的 IP 地址，再通过此 IP 访问 Web 服务。而对于 DNS 轮询来说，它会在服务权重配置基础上，通过对解析记录和服务 IP 进行添加和绑定来实现负载均衡。

最后是功能设计，主要内容有：网关设备和网关下节点设备管理、节点数据订阅和查询、任务文件下发和用户数据管理。Web 应用通过 REST API 接口向后端 HTTP 服务发送请求和数据，接受到请求后，通过 Mongo DB 数据库、MQTT 服务、本地服务等三种途径中的一种来完成其与 Web 服务的数据交互。



图 3: 工业互联网网关管理系统架构图



图 4: 工业互联网网关管理平台功能结构图

3 工业互联网网关管理系统实现

3.1 管理系统整体架构搭建

本次工业互联网网关管理平台设计采用了 RESTful 架构，并且为使系统稳定性能够满足全部生产需求，还特别加入了代理服务器，即 Nginx。它是一种 Web 服务器，具备负载均衡、Web 缓存、代理 HTTP 等功能；在开发 ice-work 等开放性组件平台前提下，以 React 前端框架作为用户访问界面；系统任务分发功能开发在 HTTP 协议控制下来完成；借助 NATS 消息队列来实现高并发网关数据汇总，NATS 属于一种高性能、开源的中间件，其量级较轻，吞吐量远远高出其他同类型软件；借助 MQTT 协议和 EMQ 代理服务器功能实现数据智能回传功能；网关和云端数据库使用 SQLite、Mongo DB 和 Mysql，其中，SQLite 属于一种进程内的库，作为数据管理模块中的数据库，SQLite 充分发挥了自身内存占用量小，量级轻，不需要任何外部依赖等优势。系统整体架构模式见图 3。

3.2 智能回传模块实现

第一次启动网关管理平台软件时，会初始化系统数据，之后，网关配置信息表会生成。此市，需要手动的方式来

对网关 ID 和网关区域, 以及接入密钥和 MQTT 服务地址、端口号进行设置。需要指出的是, “Topic 全局唯一” 是整个网关配置过程需要格外注意的一项内容。当网关配置完成并获得具体信息后, 需要通过“消息订阅”的方式与网关内消息队列进行沟通, 实现与底层传感节点间的传输。在 NATS 中, 有两种主题类型, 一是设备状态数据, 表示设备基本信息已经处于或尚未处于工作状态, 另一种是设备实时采集数据, 负责为传感器实际采集到的电流电压数据。网关系统初始化完成后, 如果读取到 MQTT 服务地址, 可直接上传数据。数据上传前需判断预处理情况, 若不需要对数据进行预处理, 则直接从 NATS 订阅的数据上传; 若需要进行预处理, 将由智能回传功能负责完成。

3.3 任务分发模块实现

任务文件会在任务分发模块实现过程中通过云端系统进行上传, 并生成一个具有唯一性的任务 ID。在依次对网关区域、ID、网关优先级进行输入后任务列表会根据所输入的内容自动生成, 并在文件内容被上传, 以及网关 ID 和地域信息被确定后, 生成任务列表。收到下一个心跳包后, 与数据库内数据信息对比, 判断网关是否处于任务列表中。通过对比结果, 将对应的任务类型、序号以及网关列表作为结果返回到网关。在接收到心跳包返回值后, 网关会对其内容进行判别, 以判别结果作为基准, 决定是否进行其它操作。

3.4 网关与云端管理平台搭建

3.4.1 网关管理平台搭建

通常而言, 工业互联网网关需要具备用户接入、设备接入、平台管理等基础性功能。结合前面设计分析与需求, 网关管理平台应当具备网关状态监控和管理, 传感节点数据监控和管理, 数据处理等几项功能。功能结构图见图 4。

在平台更新方面, 当云端上传了新的应用版本时, 会通过反向控制功能来告知网关, 除新版本内容外, 信息还包含了 URL 地址。在网关接收到版本更新信息后, 平台更新栏会立刻新增出一个下载按钮, 用户可直接点击该按钮进行下载, 进而完成版本更新。

3.4.2 云端管理平台搭建

在网关设备管理中, 心跳包用于完成网关与云端服务的连接需求, 按照 1 分钟发送一次的频率。心跳包内包含了网关内网 IP、运行状态、接入设备 ID 等多项信息。处理和提取请求参数被接收到后的有效值, 并在网关设备数据列表中转存。通过网关 ID 判断是否需要进一步下发控制信息, 无论是否要下发, 后需要回复相应字段信息。在节点数据订阅方面, 节点数据的 Topic 是以按需订阅要求和标准来进行定义的, 通过添加相应前缀, 以及借助相关协议与 MQTT 服务功能, 列表中的 Topic 又得到进一步遍历。在数据节点查询方面, 节点数据查询被分为实时数据查询和历史数据查询两种, 系统在实际运行中会不间断的对 Topic 列表中的消

息进行订阅, 并将那些已订阅的消息进行储存, 这样, 过往数据信息便能通过历史数据查询方式进行查找, 而后端服务在从数据库中获得有效信息后, 会将这些结果传递至前端。

4 结束语

互联网技术的迅猛发展, 加速了工业新业态的生成, 工业互联网及其相关内容已成为现阶段我国一项主要发展任务。针对数据量并发数多, 设备管理杂而乱和数据分析的难度大等问题, 工业互联网网关管理系统设计要从需求出发, 找到问题的解决办法, 对原有系统进行不断优化, 通过增设新功能来满足应用需求。

参考文献

- [1] 杨宁, 鞠建波, 李伟涛. 工业互联网网络传输安全问题研究 [J]. 互联网周刊, 2022 (07): 66-68.
- [2] 胡首锋. 工业互联网在制药行业的应用研究与实现 [J]. 计算机时代, 2022 (06): 71-75.
- [3] 廖雅. 赋能产业链供应链 助力协同创新——基于分布式认知工业互联网 [J]. 金融科技时代, 2022, 30 (06): 25-29.
- [4] 王荣壮. 智能制造下的工业互联网安全风险应对分析 [J]. 网络安全技术与应用, 2022 (06): 94-96.
- [5] 董贵山, 张文科, 罗影, 唐林, 刘波, 冷昌琦, 李恺, 许莹莹. 工业互联网密码应用研究 [J]. 信息安全研究, 2022, 8 (06): 554-562.
- [6] 王瑜, 步子豪. 基于工业互联网技术架构的选煤厂应用研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022 (05): 63-66.
- [7] 亓晋, 王微, 陈孟玺, 许斌, 董振江, 孙雁飞. 工业互联网的概念、体系架构及关键技术 [J]. 物联网学报, 2022, 6 (02): 38-49.
- [8] 任家东, 张亚飞, 张炳, 李尚洋. 基于特征选择的工业互联网入侵检测分类方法 [J]. 计算机研究与发展, 2022, 59 (05): 1148-1159.
- [9] 褚健. 工业互联网发展与制造业数字化转型 [J]. 群言, 2022 (04): 16-19.
- [10] 华为工业互联网实践 [J]. 软件和集成电路, 2022 (04): 55-59.
- [11] 张文静. 工业互联网网关管理系统的设计和实现 [D]. 北京交通大学, 2021.

作者简介

张晓辉 (1987-), 男, 山西省绛县人。硕士学位, 工程师。研究方向为工业大数据、工业敏捷低开技术、人工智能、机器学习等

那蓉蓉 (1986-), 女, 满族, 辽宁省瓦房店市人。硕士学位, 工程师。研究方向为工业大数据、敏捷低代码开发技术等。

李颜秀 (1990-), 女, 四川省资阳市人。硕士学位, 助理工程师。研究方向为智能规划、工业智能应用、工业大数据可视化分析等。