

面向物联网的分布式计算机系统架构研究

季凌云

(宁夏建设职业技术学院, 宁夏 银川 750001)

摘要: 物联网技术在当前生产生活中的应用越来越广泛, 数据处理量也越来越大。为了解决高基数流式数据处理与分析问题, 本文引入了边缘计算技术, 并希望以此构建一种高性能、高可用性和高伸缩性的计算机系统架构, 以有力支持物联网面临的大规模数据处理任务。边缘计算技术能够在数据源头, 也即边缘节点处理数据, 以有效减少数据延迟, 提高物联网的数据处理速度。分布式系统架构中各节点的联系更通畅, 数据互联和共享更便捷, 并且其形成的多层级架构使得计算机系统可以自由应对物联网不断增长的数据量, 也即具备更好的扩展性, 运行更为稳定。

关键词: 物联网; 分布式; 系统架构

伴随着互联网技术的深入发展, 人工智能、云计算等技术的加持使得物联网的应用越来越广泛, 在智能交通、智能教育、智能医疗、智能制造等领域, 物联网技术都不可或缺, 它通过支持不同设备间的数据共享和数据传递达到智能化水平。可以说, 物联网对于当前社会生产效率的提升具有重要贡献。但是随着数据处理量激增, 再加上越来越多的设备的介入, 如何处理高基数流式数据成为人们急需思考的重要课题。当前的物联网系统面对高基数流式数据还存在处理速度慢、数据挖掘不深入等问题, 限制了物联网的应用。因此, 构建一种可伸缩、可拓展的系统架构就显得尤为迫切。而分布式计算机系统架构则能够满足这些要求。当前有关分布式计算机系统架构建设的研究也在不断发展, 张明达提出可由软件定义网络技术打造

网络边缘雾节点的分布式区块链云架构, 以提高系统的数据传输效率、网络可拓展性等。李诚提出基于边缘计算技术构建多层安全物联网模型, 并在此基础上选取多种一致性算法, 为实现广域环境下物联网的安全运行提供可靠的保障。徐荣华在边缘-雾-云计算基础上, 研究多层次的分布式微服务物联网安全体系架构, 为物联网中的数据访问、控制和验证提供了强有力的保证。分布式计算系统架构是将物联网系统中的各组件和服务分散到多个独立的计算机节点中, 并利用网络进行有效的通信和协作, 以保证整体系统的高效率运行。另外, 该体系结构还具备优秀的并行计算能力, 可方便地处理海量流数据。本文在参考上述资料的基础上创新性地边缘计算引入到分布式计算体系结构中, 实现对海量数据的实时处理与分析, 极大地降低数据传输时延, 提升数据处理的实时性, 以提高物联网中的数据处理能力与效率。本文提出的方案将为基于边缘计算的分布式应用提供新的解决方案, 具有较强的应用前景。

一、面向物联网的分布式计算机系统架构建设的背景

(一) 万物互联与物端计算系统

在信息化社会深入发展的背景下, 我们正在进入人机物三元计算的万物互联新时代, 计算机系统以各种方式融入到物理环境中, 形成物联网系统。在物联网系统中各种物端设备, 例如温湿

度传感器、摄像头等连入互联网, 形成物端计算系统, 是边缘计算的重要组成部分。物端系统不断地从物理世界感知多源异构的数据, 传输到计算机系统中通过处理作出反馈, 控制真实的物理设备。物端系统是感知和控制数据的出入口, 是未来人机物三元计算空间的咽喉要塞。物端计算系统天生位于网络的边缘, 具有天然的近数据源优势。将计算迁移至物端系统可以大幅减少网络带宽消耗, 缩短应用响应延迟和保护用户数据安全和隐私。

物联网系统中计算机显著特征是系统与物理世界的数据信息进行交互, 不断地感知物理世界状态, 并通过数据处理作出反馈, 控制和改变物理世界状态。例如, 空气净化器可以根据小于 $2.5\mu\text{m}$ 的细颗粒物 (PM 2.5) 传感器数据, 调整净化器的净化强度, 直至达到设定的目标。这是人机物三元空间中典型的感知-计算-控制循环, 也是未来万物互联时代的基本计算模式之一。其中, 控制环节可以是系统根据某种策略或算法自动执行, 或由用户根据计算结果选择控制动作。

在当前的物联网架构中, 由于物端计算机的软硬件平台还未完全准备好计算负载迁移至离环境和人更近的物端上, 系统常常出现数据处理延时等问题, 进而增加了系统运行的不确定性。物联网系统中大量数据的处理和应用使得物联网系统实时性有较为苛刻的要求, 例如, 语音交互、自动驾驶、火灾报警等。我们在利用亚马逊的 Alex 语音控制打开卧室照明灯的实验中, 每次开灯平均耗时 3 s 以上。智能音箱采集的语音数据传输到位于美国的亚马逊云计算服务中心进行解析, 识别出的开灯命令发送到位于新加坡的设备控制服务器, 通过应用程序编程接口 (API) 打开位于本地的照明设备。由于数据通路过长, 云计算模式显著增加了开灯操作的时延和不确定性。

(二) 物端计算系统的生态问题

物端计算系统面临的一个重要问题是数据过于集中, 如何处理高基数数据是物联网系统研究的重要课题。随着物联网终端设备不断增加, 系统所需要处理数据也是呈指数级增长。据国际数据公司 (IDC) 预测, 到 2025 年, 全球数据年产量将达 160 ZB, 其中 75% 以上是产生于网络边缘和物端设备。近年来人工智能和

大数据的发展显示了用户数据在下一代信息系统中的重要作用，以至于被誉为信息时代的“新石油”。然而各大设备厂商均将物端设备感知到的用户数据收集到私有或公有的云计算中心存储和分析。边缘计算、雾计算和物端计算等新的计算模式均旨在将云计算中心的负载向下迁移，这种迁移目的之一也是为了解决数据过于集中的问题。万维网（Web）发明者 Tim Berners-Lee 在 2018 年提出了去中心化平台 Solid，以解决数据过于集中带来的一系列问题。物端计算系统面临的另外一大生态问题是昆虫纲悖论，即物端设备的种类像昆虫一样繁多，其本质描述的是系统的多样性和无序性。多样性体现在应用场景、芯片架构、硬件接口、操作系统、应用软件、编程模式、通信协议等多个方面。这造成了物端计算机应用开发、部署和运维十分困难，程序员通常需要熟练掌握从硬件选型、软件开发到通信协议选择的全栈知识，才能研发出高效、可靠的新产品。无序性表现在系统的架构、设计方法、编程模式等方面。由于缺乏统一的系统架构、设计和编程方法，物端应用变得十分碎片化，设备之间难以协同计算，从而对人机物三元空间人的行为做出适当的反应。

物端设备是面向场景设计、功能较为单一、算资源十分有限，是一台专用计算机。例如，空调一般只具有调节室内温度的功能。其硬件和软件的设计只需满足能感知室内空气温度，并根据温度调节风扇和工作模式的功能即可。因此，并不需要太多的计算、存储和通信资源。随着人类生活水平的提高，对物端设备的能力要求也逐渐提高。例如，一些空调已经具备了无线联网的功能，而冰箱甚至有对内存食物分析，并结合家庭用户的健康数据推荐合适的采购清单的功能。因此，我们需要一个统一开放的系统技术栈和统一的、协调的分布式系统体系结构抽象来支持物端计算机和其分布式系统的设计与实现，从而承担由云端迁移下来的计算负载。

二、面向物联网的分布式计算机系统架构设计

（一）分布式计算机系统架构设计

1. 分布式系统的整体架构设计

随着物联网中各种终端的不断加入，物联网系统处理的数据变得更加复杂。不同类型的物联网终端设备所承担的功能各异，其性能呈现出明显的差异。在传统的中心式物联网体系结构下，边缘终端产生的异构数据集中到云平台上进行处理。但是，伴随着互联终端规模的急剧增加，海量数据的处理与分析，使得物联网的云计算平台面临着极大的计算负荷，这不但降低了数据处理的效率与质量，同时也给整个物联网系统的稳定性与可扩展性提出了新的挑战。

本文所提供的系统架构以物联网为基础，基于边缘计算，将系统分为设备层、边缘层和应用层，并在其周围布置边缘服务器，以降低网络的传输延时性，提高物联网的整体运行效率，减轻系统运行负荷。其中，在设备层上，各类智能体与物联网终端组成

了分布式系统的底层数据感知与获取单元。在闭环设计中，利用边缘计算技术，使来自设备层的数据经过分布系统的边界层，对数据进行闭环处理。在边缘层，利用区块链技术，将各边缘计算服务节点紧密相连，并通过边缘服务器对其进行处理和分析，并将其反馈给物联网终端，从而形成本地服务的快速响应闭环。另外一部分信息将被传送至应用层的“云计算中心”，以满足更高层次的应用需求。由于应用层担负着顶层业务逻辑和应用部署的重要职责，所以本文提出的系统架构将重点研究应用层和边缘层的协同工作，以保证系统的灵活性、安全性和可扩展性。2. 分布式计算机系统架构的设备层

物联网终端是连接现实世界和信息空间的重要纽带，它可以感知物理环境的变化，并将其转化为数字信号，并顺利传递到物联网的顶层应用。物联网终端按照其智能水平可划分为智能终端与资源受限设备两大类。智能终端除了具有数据感知功能外，还具有强大的运算与存储能力，可以自主完成数据预处理、加密、传输等工作。而资源受限设备侧重于采集、采集周围环境信息，并将其转化为数字信号，以供后续的分析与处理，缺少数据处理功能。

在物联网分布式计算机系统架构中，物联网终端进一步抽象为采集设备和执行设备两类。采集设备是数据产生的源头，对环境进行感知并生成和传输原始数据；执行设备根据所获得的数据信息，做出相应的作业或计划。另外，同一台物联网终端可以在不同的应用场景中兼有采集与执行两种功能，具有灵活多变的特点。物联网终端支持窄带物联网、远程、无线保真、近场通信等多种通信协议，以保证物联网终端与相邻边缘计算服务器的可靠连接，确保物联网中各节点正常运转。

3. 分布式计算机系统架构的边缘层

在物联网分布式计算机系统架构中，云计算中心是数据分析和决策的核心，边缘计算是感知终端和数据预处理的核心。本文提出将 KubeEdge 边缘计算框架、Ethereum 区块链等技术与云原生架构相结合，构建高容量、高安全性的边缘计算体系。

KubeEdge 是建立在 Kubernetes 上的一种开源边缘计算框架，它可以在边缘主机设备上对容器化应用程序的编排，并在云和边缘主机间进行部署，并在此基础上进行元数据同步。KubeEdge 是一种基于云原生架构的边缘节点数据处理技术，它支持云主体和边缘主机间的数据传输与处理，降低了边缘设备与云的通信延时性，提升了边缘计算性能，使其能够保持分布式结构实现云与边缘主机间数据的无缝传输与部署。Ethereum 区块链是建立在云原生系统架构之上的一种新型的去中心化智能合约平台，它可以有效地解决边缘计算在物联网环境下的隐私与安全问题。在边缘层，以 Ethereum 平台为基础，由多个不同的边缘节点协作，建立一条去中心化的、安全的、可靠的数据流。以 Ethereum 平台为基础，采用云原生系统架构，通过智能合约的方式，定义不同的顶层逻

辑与规则,使智能主体设备之间能够进行自动化交互与协同。同时,Ethereum平台还可以实现分布式应用程序的开发与部署,通过分布式网络实现物联网终端的身份信息、访问控制等信息的存储,增强分布式计算系统对高基数流式数据的实时安全与透明性。

在此基础上,构建基于KubeEdge的边缘计算框架,结合Ethereum区块链等关键技术,构建基于云计算的边缘计算系统架构,形成基于云端的可信边缘平台。通过对边缘节点与云计算中心的资源利用情况、应用程序性能等进行统一管理,保障物联网应用环境下分布式计算系统的稳定与安全。

4. 分布式计算机系统架构的应用层

本文拟以云边协同计算体系架构为基础,构建高效可靠的群智计算服务网络。特别是针对边缘计算的负荷问题,本文拟通过充分利用云计算中心的海量运算资源,增强其对时延的容忍能力与高效执行能力,以增强整个物联网系统的处理能力与响应能力,提升整个物联网系统的性能。

(二) 面向物联网分布式系统的可信边缘设计

在物联网分布式计算机系统架构中,边缘层是整个系统中数据传输的中心,起着重要的支撑作用。然而,由于受到服务器在地理条件上的阻隔,目前的数据传输通常都是以分散式的方式进行。针对边缘计算中存在的数据安全需求问题,本文提出在云原生架构下,在边缘服务器上部署区块链技术,搭建多个边缘服务间的信息交互接口,形成一种基于云原生架构的可信边缘平台。该分布式系统架构的主要构成模块分为边缘计算、安全管理和区块链集成云服务。

1. 边缘计算云服务

基于边缘计算的可信边缘平台以增强KubeEdge的计算性能为目标,研究基于云计算的边缘计算云服务,并利用云端与边缘端之间的协作机制,建立能够覆盖多个边缘节点的工作流,并使其与边缘端能够无缝连接,有效地形成一个完整的闭环,以减少数据传输延时和成本。在此基础上,将云计算与KubeEdge边缘计算技术相结合,使用户能够在物联网环境下,通过对数据解析库的调用以及对复杂神经网络模型的配置,来实现并定制符合终端要求的服务功能,从而达到物联网的智能化、个性化。边缘计算云服务可以通过对KubeEdge边缘节点进行优先级调度,并依据任务的重要度和紧急性进行资源分配,并对其进行动态分配,保证各节点可以根据自身的计算能力承担相应的工作量,实现各边缘节点之间的均衡,以防止资源超载或浪费,进而达到最大限度地优化资源利用与任务执行效率。利用云边协作的方式,云计算可以向边缘节点快速推送任务,而边缘节点则可以及时向云端反馈,保证任务在各节点间的顺利传输与执行,从而形成一个完整的物联网环境。

2. 安全与管理云服务

随着物联网系统规模的不断扩大,传统的中心式安全管理模

式已很难满足物联网安全管理需求。另外,该方案要求所有节点都对中央节点表示信任,这不仅不利于节点数量多、分布广的分布,还容易导致核心节点失效或遭受攻击而导致整体安全隐患。为此,本文提出在云计算环境下,利用Ethereum区块链等技术,建立一个安全、高效、透明的云计算服务模型,以提高其在物联网中的安全性和可靠性。在安全性管理上,本文提出采用Ethereum智能合约的方式,设计一套能够自动运行的安全机制,并通过区块链的不可篡改特性,保证系统的行为满足预先设定的安全准则,并对其进行实时监控。在此基础上,提出一种基于智能合同的接入控制表,通过智能合同的逻辑判定,确定由哪个地址、哪个角色来进行具体的操作,以达到对某一类资源的访问约束,保证仅有授权的用户或设备可以使用,以保证数据的安全与持久性。

3. 应用程序编程接口网关云服务

API网关云计算是一个为API提供主机服务的云计算平台,作为API接口的入口,可以完成各种各样的任务来简化,安全,优化API之间的数据和信息传输。为了保证KubeEdge与Ethereum间的数据平稳交互,实现身份认证、访问控制等,本文提出将API网关云服务引入到物联网分布式计算系统的可信边缘平台中。API网关云服务利用控制器和请求处理器对KubeEdge边缘节点进行实时监控,并据此对其进行动态调度。同时,将KubeEdge与Ethereum的资源进行集成,保证了二者的流畅通讯,并在需要的时候启动相关的API调用。另外,还对KubeEdge和Ethereum的网络地址、端口号、鉴权凭证等进行了配置和维护。以分布式物联网为基础,以日志方式记录各节点间的互动行为,既增强了网络的柔性,又保证了网络的安全可靠。

结语

本文面向物联网发展对海量流数据的需求,开展了基于边缘计算的分布式计算体系结构研究。通过设备层、边缘层和应用层的协同工作,有效地解决了物联网系统中的数据存储、传输问题。在边缘层,采用边缘计算降低数据传输延时,提高系统整体处理效率;采用区块链技术保障数据安全性与隐私性。这样的设计既能减轻云计算中心的负荷,又能极大地保证系统的稳定性和扩展性。本文拟在此基础上,通过构建基于边缘计算、安全与管理、区块链等多个云服务的可信边缘平台,提高整个物联网系统的运行效率与安全。

参考文献:

- [1] 赵桥,韩文俊,李路野.嵌入式系统并行架构下的时序数据帧排序方法[J].信息技术与信息化,2022,(06):69-72.
- [2] 夏正勋,罗圣美,孙元浩,等.大规模异构数据并行处理系统的设计、实现与实践[J].大数据,2020,6(04):18-29.
- [3] 彭晓晖,徐志伟.基于边缘计算的物端系统挑战与愿景[J].中兴通讯技术,2019,25(03):31-36+57.