

# 面向应急物流的边缘计算架构设计

李睿, 赵爽\*, 汪贻生, 闫华

(陆军勤务学院, 重庆 401331)

**[摘要]** 由于应急物流具有突发性和不可预见性, 其外部环境往往复杂多变, 导致网络通信经常处于极不稳定的状态。传统的云计算中心架构方式难以满足应急物流系统低时延、高效能等要求, 而现有的边缘计算架构模型对应急物流场景中边缘设备可能面临的不确定风险考虑不足。本文通过分析应急物流对网络信息服务的要求, 提出一种基于软件定义网络的边缘计算架构, 依托网络虚拟化技术屏蔽底层网络硬件的差异, 实现计算、存储与网络资源动态配置, 并对通信中断、任务挂起与恢复和边缘设备接入等功能流程进行了设计。实验结果证明, 该架构能够适应复杂多变的通信环境, 为终端用户提供实时稳定可靠的服务。

**[关键词]** 边缘计算; 应急物流; 虚拟化; 架构

**[中图分类号]** E07

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1671-4547(2022)02-0130-07

**DOI:** 10.13943/j.issn 1671-4547.2022.02.20

## 1 引言

应急物流是以提供突发性自然灾害、突发性公共卫生事件等所需的应急物资为目的, 以追求时间效益最大化和灾害损失最小化为目标的特种物流<sup>[1]</sup>, 是帮助救灾、挽救生命财产损失、维护社会稳定的重要手段<sup>[2]</sup>。

自物联网的概念引入物流领域后, 物流信息网络规模不断扩大, 网络设备和信息量呈爆炸式增长<sup>[3]</sup>。大量传感器通过物联网连接, 大量数据通过物联网采集、传输、存储和处理<sup>[4]</sup>。传统的云计算架构模式在处理大量数据时, 需要将数据上传到远离用户的云中心, 因此, 难以向实时性要求较高的物联网应用程序或设备提供满意的服务<sup>[5]</sup>。

边缘计算(Edge Computing, 简称 EC)是

指使用分布式部署的边缘服务器来完成数据源网络边缘附近的简单数据存储、分析和处理的计算模型<sup>[6]</sup>。根据边缘计算架构模型, 部分计算和存储资源将部署在接近最终用户的网络边缘。与传统云中心架构方式相比, 这种部署方案在可靠性、时效性等方面得到了明显提升<sup>[7]</sup>, 能够更好地适应应急物流对信息网络的需求。

## 2 需求分析

国际灾害数据库的数据显示, 近十年来, 平均每年发生的自然灾害事件数量几乎是20世纪80年代的两倍<sup>[8]</sup>。在应急事件中, 应急物流能否及时保证应急物资的供应将会对应急处置的效率产生直接影响<sup>[9]</sup>。因此, 物联网技术被大量应用于应急物流管理与运作中<sup>[10]</sup>, 有效提升了应急物流的效率。

**[收稿日期]** 2021-11-09 **[修回日期]** 2021-12-20 **[录用日期]** 2021-12-23

**[基金项目]** 军队科研基金(BS215R012)

**\*[通信作者]** 赵爽, E-mail: zhaoshuangjl10@163.com

**[作者简介]** 李睿, 男, 博士研究生, 助教, 研究方向为军事物流信息化; 赵爽, 女, 硕士, 助教, 研究方向为军事物流; 汪贻生, 男, 博士, 教授, 研究方向为军事物流; 闫华, 男, 博士, 讲师, 研究方向为军事物流。

## 2.1 应急物流对信息网络的要求

与普通模式下的物流模式相比,应急物流需要考虑更多的应急响应时间、更大的不确定性风险和更强的应急可靠性等因素<sup>[11]</sup>,对信息网络提出了更高的要求。

首先是时效性。应急物流面对的往往是突发的紧急事件,要求信息网络必须对前端传来的感知或需求信息快速作出反应,保证在有限的时间窗口期内完成相应信息处理,给其他物流环节留下足够的处置时间<sup>[12]</sup>。其次是可靠性。由于应急物流系统往往在复杂的外部环境中运行,一旦短时间局部区域内需要传递与处理的信息量骤增,极有可能出现通信不畅、网络阻塞等情况。而且一些重要的信息服务要保证时效性,要求必须能够稳定运行,为终端用户提供可靠持续的信息服务,尽量避免出现服务延时甚至掉线的情况。再次是灵活性。在应急物流运作过程中,新的突发事件可能随时出现。由于突发事件处理的优先级要高于当前事件,这就要求信息网络能够灵活调配资源,准确快速地应对各类突发情况。最后是低能耗。应急物流系统中存在大量物联网终端设备<sup>[13]</sup>。在一些极端情况下,应急事件区域内设备的供电难以得到保证,这就要求相应设备的能耗不能过高,能够在蓄电池的支持下持续稳定工作,保证信息渠道的畅通。

## 2.2 边缘计算的优势

边缘计算是一种在网络边缘执行计算任务的架构。这种架构需要将云服务中心的计算任务下沉到网络边缘执行,其一般架构如图1所示。边缘计算中通常有三个角色:终端设备、边缘服务器和云服务中心<sup>[14]</sup>,每个角色都执行不同的功能。终端设备是指位于网络边缘,具备一定通信能力的设备,如基站、路由器、网关、手持设备甚至手机等。边缘服务器是指具有一定数据计算与存储能力,而且靠近终端设备的服务器。一般而言,边缘服务器应靠近数据源,以便对数据进行实时存储、分析与处理。云服务中心是指能够提供较为强大的计算、分析、存储等能力,有效支撑大数据、智能计算等应用的云计算中心。根据边缘计算架构模型,部分计算和存储资源将部署在接近终端用户的网络边缘,可能带来以下优势。

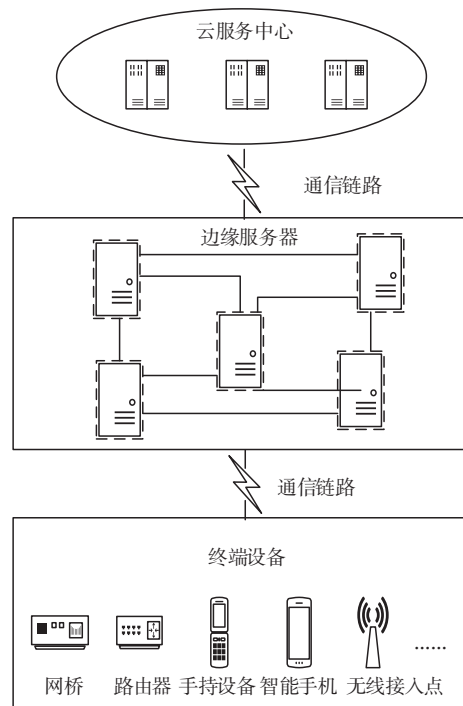


图1 边缘计算一般架构

首先是低时延。一方面,边缘服务器部署在网络边缘,缩短了与终端设备的物理距离,更加靠近数据源,能够有效提高任务的响应速度;另一方面,由于边缘服务器具备一定计算和存储能力,可以直接对任务数据进行处理,任务完成再将部分数据回传云端,因此提高了任务的执行速度,降低了任务时延。

其次是高可靠。由于边缘服务器部署位置非常接近数据源,通信信道良好,因此能有效避免由于网络拥堵、噪音等导致的数据通信不畅、传输错误等问题,提高数据处理结果的准确性与任务的可靠性,为终端用户提供稳定可靠的信息服务。

再次是高效能。边缘计算可缩短终端设备上传数据的传输距离,并大幅节约任务卸载和数据传输所消耗的能源,可将不同人工智能设备的电池续航时间平均延长30%~50%<sup>[15]</sup>。

最后是低风险。与传统云计算中心相比,边缘计算的服务器采用分布式部署,单个服务器的存储和计算能力有限,因此信息价值较低,不易成为攻击的目标<sup>[16]</sup>。同时,边缘服务器可通过划分为若干私有云的方式,降低隐私信息流动的频率,有效保护隐私信息,降低泄露风险。

### 2.3 面向应急物流的边缘计算架构需求

目前,对边缘计算架构的研究已有不少成果,文献[17]利用软件定义网络(Software Defined Network,简称SDN)和云技术提出的多接入边缘计算(Multi-Access Edge Computing,简称MEC)应用框架,可以在不改变核心网络功能的情况下与LTE移动网络灵活交互;文献[18]通过在参考MEC框架中加入移动群智感知(Mobile Crowd Sensing,简称MCS)关键特征,提出了一种适用于大规模MCS服务的边缘计算体系结构,更加适应5G场景大量接入和低延迟的需要;文献[19]提出了一种基于SDN的细粒度多接入边缘计算架构,能够对网络资源和计算资源进行细粒度控制和协同管理;文献[20]提出了一种基于虚拟化技术的计算和网络融合系统,将分布在不同边缘设备的计算和网络资源虚拟化为集中的资源池,并通过云中心进行管理。然而,已有架构很少考虑应急物流场景中边缘设备可能面临的不确定风险,对应急物流中可能出现的通信中断、任务挂起与恢复、任务中止与重做等情况考虑不足,难以适应应急物流对信息网络的需求。因此,本文提出面向应急物流的边缘计算架构,着力强化以下几个方面的能力。

一是动态接入。边缘设备在应急物流过程中可能出现损坏或恢复,甚至可能有新的设备加入,因此,要允许边缘设备动态接入,以便实时掌握边缘设备的运转情况。二是细粒度。通过虚拟化技术实现对分散的计算、存储和网络资源的集中统一管理,达到更细粒度的资源调配与运用,以同时支撑更多应用。三是任务调度。基于任务本身优先级和资源适配情况调度计算、存储和网络资源,不仅能够更高优先级的突发任务出现时及时挂起当前任务,保存任务状态,待高优先级任务完成后继续执行原任务,还能够在边缘设备忽然损坏或掉线的情况下,中止任务并重新分配资源执行任务。四是减少流量。传统的边缘计算架构很少考虑由云中心向边缘设备通信带来的网络开销。在应急物流场景中,一方面要通过云中心实现对边缘设备的统一管理,另一方面也要注意减少控制命令所需流量,尽量少占用网络带宽。

## 3 系统架构

随着5G时代的到来,网络切片技术有了新的发展。这种技术能够通过虚拟化技术将计算、存储与网络资源和专用的硬件设备解耦,形成统一的资源池,按一定调度规则提供给不同需求的应用,满足不同应用对资源的需求,最大限度利用现有的硬件资源<sup>[21]</sup>。基于SDN与网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization,简称NFV)互补,可以较好地完成网络切片工作,形成可靠的虚拟网络环境<sup>[22]</sup>。该环境可以作为边缘计算系统架构实现的基础。

### 3.1 整体架构设计

本文参考欧洲电信标准协会(European Telecommunication Standards Institute,简称ETSI)提出的建议架构<sup>[23]</sup>,提出一种以NFV架构为基础框架,加入SDN控制器的边缘计算架构设计,如图2所示。

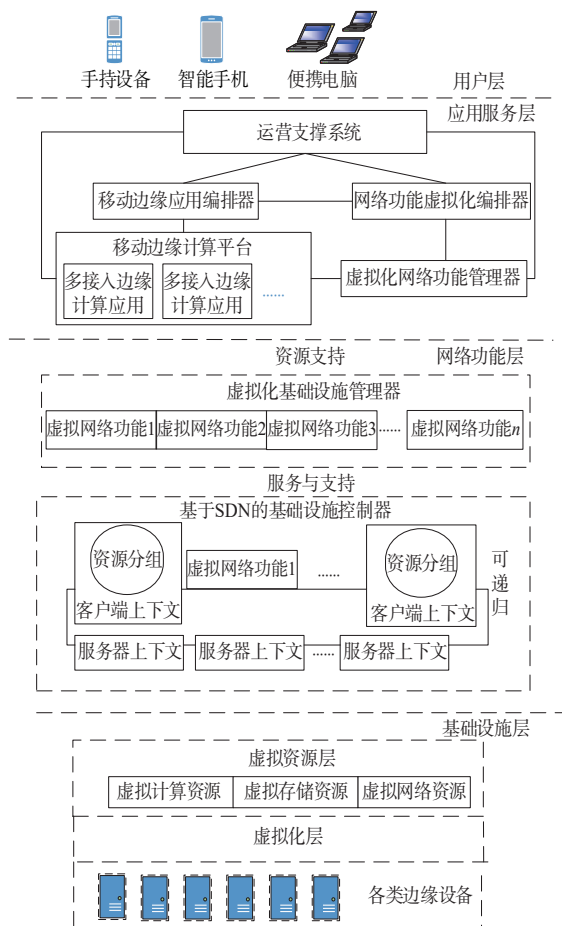


图2 边缘计算系统架构设计



按模块化的理念,架构可划分为基础设施层、网络功能层、应用服务层和用户层。其中,基础设施层由参与“云-边”系统的边缘设备组成,为整个系统提供标准的虚拟化资源;网络功能层在NFV框架的基础上加入SDN控制器实现,代替传统MEC架构中基础设施管理的功能,负责网络切片与系统资源调度;应用服务层完成对边缘应用的管理,并为终端用户提供信息服务。在实际应用中,可以建立多级的网络功能层和应用服务层,以递归的形式实现汇集与分发,减少任务时延并提高网络资源利用率。这种架构实现了资源与控制的分离,在边缘计算架构的基础上进一步提高了资源的可用性和可控性。

### 3.2 基础设施层

基础设施层是整个网络架构的最底层,包括硬件资源层、虚拟化层和虚拟资源层。

硬件资源层由大量地理位置分散、种类型号不一的边缘设备组成,它们可以为网络系统提供计算、存储和网络资源。但由于许多边缘设备是一些简单的物联网传感器等,计算、存储和网络能力有限,要充分发挥其作用,还需要轻量级虚拟化技术的帮助。虚拟化层通过轻量级的虚拟化技术在底层实现各个虚拟机的强隔离。虚拟机中运行的是面向微服务或容器的微型操作系统,这样可以精简掉大量无用的功能,进而实现嵌入式设备级别的硬件资源向虚拟化资源的转化<sup>[24]</sup>。在虚拟资源层中,硬件资源经过虚拟化成为虚拟计算、存储和网络资源,便于实现统一的管理与控制。

### 3.3 网络功能层

网络功能层主要实现对虚拟化资源的切片管理,包括基于SDN的基础设施控制器(Infrastructure SDN Controller,简称IC)和虚拟化基础设施管理器(Virtualized Infrastructure Manager,简称VIM)。各类资源在这一层按统一调度被动态划分为若干网络切片,每个切片对应完成上层用户的一个应用请求。

IC由VIM管理,按照客户上下文和服务层上下文进行资源分组,完成对底层资源的设置和管理,为虚拟网络功能(Virtual Network Function,简称VNF)服务。此处的IC既可以成为上级IC的资源,也可以成为下级IC的用户,进而

形成递归结构<sup>[25]</sup>。VIM通过IC管理虚拟化资源,负责资源的分配、管理以及释放。

### 3.4 应用服务层

应用服务层是边缘应用的实现层,包括移动边缘计算平台(Mobile Edge Computing Platform,简称MECP)、虚拟化网络功能管理器(Virtual Network Function Manager,简称VNFM)、移动边缘应用编排器(Mobile Edge Application Orchestrator,简称MEAO)、网络功能虚拟化编排器(Network Function Virtualization Orchestrator,简称NFVO)和运营支撑系统(Operation support system,简称OSS)。

移动边缘计算平台负责管理MEC应用,完成MEC应用的发现、发布、使用以及为用户提供MEC服务<sup>[26]</sup>。虚拟化网络功能管理器由多个子单元组成,各子单元分别负责某个VNF、MEC应用或MEC平台的寿命周期管理。移动边缘应用编排器管理MEC应用,完成MEC应用加载上线、实例化生成及终结、迁移等工作。网络功能虚拟化编排器负责网络业务寿命周期管理,在虚拟化网络功能管理器的支持下协调VNF、MEC应用和MEC平台的寿命周期管理,在VIM的支持下协调各类虚拟化资源的管理,优化资源配置。运营支撑系统具有服务提供商专用的管理功能,通常包括网络管理、服务请求、服务监控、客户管理以及计价管理等。

### 3.5 用户层

用户层由各类客户终端设备组成,通过接入边缘网络申请边缘应用,从而得到相应资源,完成请求的信息服务。

## 4 工作流程

整个系统在网络功能层和应用服务层的组织下运转,各类应用以微服务或容器的方式封装,等待用户申请、实例化、使用和卸载,并根据用户的反馈更新资源参数,优化配置。

### 4.1 典型任务流程

不考虑通信中断等特殊情况的典型任务流程如图3所示。一个任务的完整流程为:(1)用户提出请求后,由边缘设备转发至应用服务层;(2)应用服务层告知网络功能层任务所需资源;

(3) 网络功能层按需求对虚拟资源进行划片;  
(4) 新划分出的网络切片加载应用服务层传递过来的容器或微服务供用户使用;(5) 用户使用服务后请求退出;(6) 应用服务层根据新的用户请求重新编排资源;(7) 网络功能重新划片,进入下一个任务。

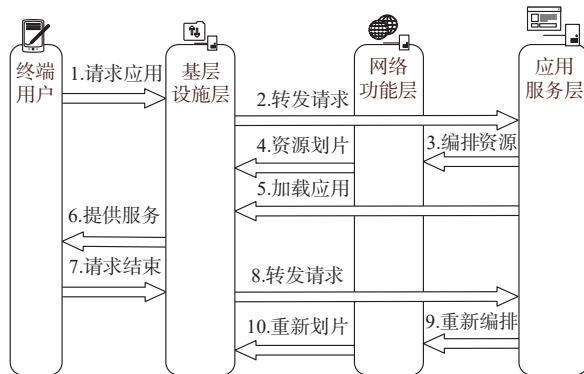


图3 不考虑通信中断等特殊情况的典型任务流程

#### 4.2 通信中断的处理流程

在应急物流运作过程中,边缘设备故障等原因可能导致用户与边缘设备或边缘设备与云中心之间的通信中断。为了保证用户获得可靠服务并尽可能减少网络流量,可采取用户上报、任务迁移的方式来完成相应处理。此处不考虑用户完全退出网络,无法与云中心或其他边缘设备通信的情况,即用户原本连接的边缘设备通信中断,但可以通过其他边缘设备保持与云中心的通信。通

信中断处理流程如图4所示。

当用户发现原本为其提供服务的边缘设备1连接不上后,可通过能连接上的边缘设备2报告通信故障。网络功能层收到报告后,尝试重连(重启)边缘设备1,成功则重新加载应用,继续提供服务;不成功则重新划分网络切片,加载应用。此时,应将边缘设备1从资源池中去除。

#### 4.3 任务挂起与恢复

针对应急物流中可能出现的临时紧急任务,需要将原本正在执行的任务挂起,保存数据后重新调配资源,先完成紧急任务,然后利用保存的数据恢复原任务,这就是任务挂起与恢复。任务挂起与恢复流程如图5所示。在该流程中,原任务与紧急任务不一定来自同一用户,但在云中心的统一调配下仍可完成任务与资源的重新配置。

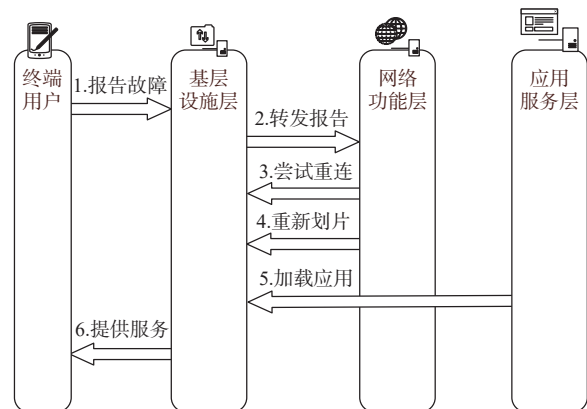


图4 通信中断处理流程

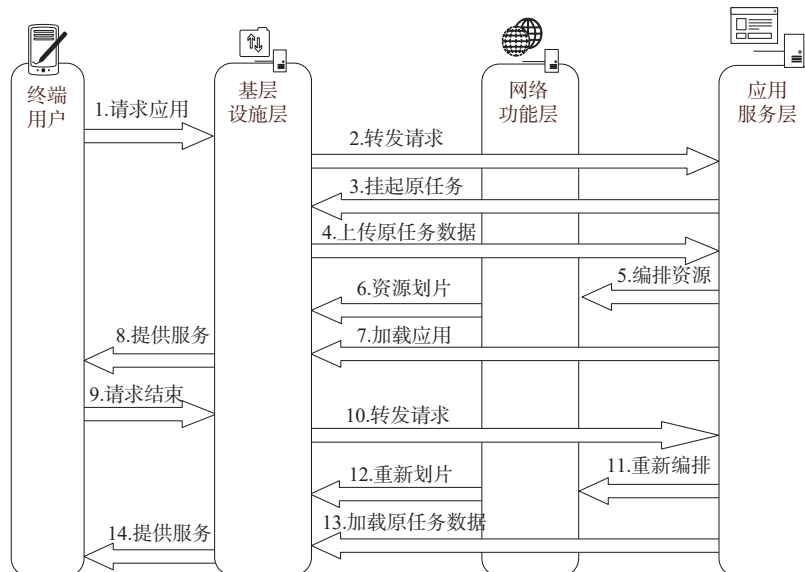


图5 任务挂起与恢复流程

该流程将优先保证和满足重要程度和时效性要求较高的任务。

#### 4.4 边缘设备接入

部分边缘设备可能在损坏后恢复,或者重启后重新接入应急物流网络,甚至可能为了应急物流需求而新部署一些物联网设备。这些设备都需要重新完成虚拟化和注册,供云中心管理与使用。由于这一任务主要在设备内部完成,因此,应在接入时写好规范的配置文件,保证注册成功。

## 5 结语

在应急物流运作过程中,系统主要依靠加装在车辆上的卫星导航和移动网络通信装置来完成车辆的监控与调度。但在应急事件中,由于网络基础设施损坏、流量拥塞等原因,网络通信往往处于不稳定状态,难免会对车辆监管的实时性造成影响。考虑到运送应急物资的车辆通常会组成车队,成批次完成运输任务,相关部门可以采用本文提出的边缘计算架构方式,运用轻量级虚拟化技术将各台车辆上的车载导航、通信等装置软硬件解耦,然后为每个车队配置一个边缘服务器(或由计算能力较强的车载信息化装置承担边缘服务器功能)来完成通信任务的调度与控制。在这种架构模式下,整个车队只要有一台车能够与调度中心正常通信,所有车辆的监管信息就都能得到及时传递。这种模式能够有效提高应急物流中车辆监管的实时性与车辆调度的准确性,同时能够减少同一时间需要通信的设备数量,降低了对通信信道的占用程度。

本文将边缘计算架构融入NFV架构中并引入SDN控制器,提出的架构能够实现计算、存储与网络资源的切片化管理和MEC应用的统一调度,能够较好地适应应急物流对信息服务的低时延、高可靠、动态配置等要求。但是,在轻量级虚拟化技术、网络切片规则、任务迁移与卸载等方面并没有展开深入研究。下一步,应着眼应急物流的具体要求,把边缘计算架构引入应急物流实际应用,努力将信息技术最新发展成果转化为应急物流效率与效益的提高,助力各类突发性事件的处置与应对。

## 参考文献

- [1] 郭凌,杜伟伟,李睿,等.基于北斗卫星导航系统的应急物流车辆智能监管系统设计[J].军事交通学院学报,2021,23(1):45-50.
- [2] ZHANG Y M. Reliability analysis of the emergency logistics supply chain[J]. Applied mechanics and materials, 2012(170-173): 101-105.
- [3] CHEN C H, LIU C T. A 3.5-tier container-based edge computing architecture[J/OL]. Computers & electrical engineering, 2021(93): 107227.
- [4] OMONIWA B, HUSSIAN R, JAVED M A, et al. Fog/Edge computing-based IoT (FECIoT): architecture, applications, and research issues[J]. IEEE internet of things journal, 2019, 6(3): 4118-4149.
- [5] SINGH S P, NAYYAR A, KUMAR R, et al. Fog computing: from architecture to edge computing and big data processing[J]. The journal of supercomputing, 2018, 75(4): 2070-2105.
- [6] GAMATIE A, DEVIC G, SASSATELLI G, et al. Towards energy-efficient heterogeneous multicore architectures for Edge Computing[J]. IEEE access, 2019(7): 49474-49491.
- [7] WANG S, ZHANG X, ZHANG Y, et al. A survey on mobile edge networks: convergence of computing, caching and communications[J]. IEEE access, 2017(5): 6757-6779.
- [8] YU W Y. Pre-disaster location and storage model for emergency commodities considering both randomness and uncertainty[J]. Safety science, 2021, 141(3): 105330.
- [9] CHEN W K, HUA C. The construction of emergency logistics system framework and information platform system[C]. 4th International conference on civil engineering, architecture and building materials (CEABM), 2014.
- [10] 黄鑫. 以信息化提升应急物流保障能力的探讨[J]. 网络安全和信息化, 2020(6): 26-28.
- [11] WANG Y, PENG S, XU M. Emergency logistics network design based on space-time resource configuration[J]. Knowledge-based systems, 2021(223): 107041.
- [12] 刘明洋. 应急物流信息系统构建及运行机制研究[J]. 物流科技, 2021, 44(1): 65-67.
- [13] 胡世锋, 谷世红. 基于物联网技术的应急物流管理系统的设计与实现[J]. 物流技术, 2014, 33(5): 452-454.
- [14] LIN J, YU W, ZHANG N, et al. A survey on Internet of Things: architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications[J]. IEEE Internet of

- Things journal,2017, 4(5): 1125-1142.
- [15] SHI B, YANG J, HUANG Z, et al. Offloading guidelines for augmented reality applications on wearable devices[C]. Proceedings of the 23rd ACM International conference on multimedia,2015.
- [16] MACH P, BECVAR Z. Mobile edge computing: A survey on architecture and computation Offloading[J]. IEEE communications surveys & tutorials, 2017, 19(3): 1628-1656.
- [17] SUBRAMANYA T, GORATTI L, KHAN S N, et al. A practical architecture for mobile edge computing[C]. IEEE conference network function virtualization and software defined networks (NFV-SDN), 2017.
- [18] MARJANOVIC M, ANTONIC A, ZARKO I P. Edge computing architecture for mobile crowdsensing[J]. IEEE Access,2018(6): 10662-10674.
- [19] 王璐, 张健浩, 王廷, 等. 面向云网融合的细粒度多接入边缘计算架构[J]. 计算机研究与发展, 2021, 58(6): 1275-1290.
- [20] 刘建瓯. 基于边缘计算的计算和网络融合系统架构设计和实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [21] SAMDANIS K, WRIGHT S, BANCHS A, et al. 5G network slicing: Part 1-concepts, principles, and architectures[J]. IEEE communications magazine, 2017, 55(5): 70-71.
- [22] ORDONEZ-LUCENA J, AMEIGEIRAS P, LOPEZ D, et al. Network slicing for 5G with SDN/NFV: concepts, architectures, and challenges[J]. IEEE communications magazine, 2017, 55(5): 80-87.
- [23] ETSI. Mobile Edge Computing (MEC); Deployment of Mobile Edge Computing in an NFV environment : ETSI GR MEC 017-2018[S]. Nice: ETSI, 2018.
- [24] TIBURSKI R T, MORATELLI C R, JOHANN S F, et al. A lightweight virtualization model to enable edge computing in deeply embedded systems[J]. Software-practice & experience, 2021, 51(9): 1964-1981.
- [25] DAI W, SHOU G C, HU Y H, et al. Extending SDN network with recursive architecture[C]. International symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC), 2014: 491-496.
- [26] 余洵. 面向流式计算业务的MEC平台设计与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.

## Design of edge computing architecture for emergency logistics

LI Rui, ZHAO Shuang, WANG Yisheng, YAN Hua

(Army Logistics Academy, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Emergency logistics are unpredictable and their external environment is often complex and changeable. Also, network communications tend to occur in an extremely unstable state. The traditional cloud computing center architecture encounters difficulties in meeting the requirements of low latency and energy efficiency, and the existing edge computing architecture model rarely takes into consideration of the uncertain risk associated with emergency logistics. By analyzing the requirements of emergency logistics for network information services, this paper proposes an edge computing architecture based on the Software Defined Network (SDN) principle, designs process mechanisms such as communication interruption, task hanging and recovery, and edge device access. Enabled by network virtualization technology to block the differences of the underlying network hardware, the architecture can dynamically configure computing, storage and network resources, and it adapts well to the complex and changeable communications environment, thus providing real-time, stable and reliable services for terminal users.

**Key words:** edge computing; emergency logistics; virtualization; architecture

(责任编辑: 王姝)