DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2022.05.003

蒋建峰[1,2]　张运嵩[2]　张娴[2]　张趁香[3]　安淑梅[4]

基于 Bayes 评估的 5G SA 网络切片安全映射算法

摘要

5G 网络的发展促使工业互联网垂直行业战略转型升级.5G SA(Stand-Alone)网络将用户面功能(UPF)下沉到业务区,控制面留在大区中心,所有业务数据均通过 5G 边缘计算接口(MEC)访问业务应用服务器,用户访问自身服务器流量全部在内部完成,符合网络安全需求,业务路径时延最小.通过优化的粒子群算法(PSO),构造基于网络物理节点资源和链路资源的适值函数,并且引入贝叶斯评估方法计算物理节点隔离因子,将所有节点平均隔离因子设为阈值作为约束条件,保证网络切片的隔离性能,通过迭代求解来调整网络切片间的路径资源提升网络性能.经过智慧矿山实际 5G 网络测试,结果显示算法能够提升收益成本比 10%,提高链路利用率 19%,提高上行速率 20%~50%,充分保障矿区网络的服务质量.

关键词

5G 独立组网;边缘计算;智慧矿山;下沉 UPF;网络软切片;隔离因子;粒子群算法

中图分类号 TP393

文献标志码 A

收稿日期 2021-12-28

资助项目 国家自然科学基金(61702351);江苏省博士后研究基金(2018K009B);江苏省专业带头人高端研修项目(2020GRFX074);江苏省高校"青蓝工程"项目(202010)

作者简介

蒋建峰,男,副教授,研究方向为 5G 网络技术、虚拟化及云计算技术. jiangjf@siso.edu.cn

1 南京邮电大学 计算机学院,南京,210023
2 苏州工业园区服务外包职业学院,苏州,215123
3 苏州大学 计算机科学与技术学院,苏州,215006
4 锐捷网络股份有限公司,福州,350002

0 引言

新一代移动通信技术 5G 正在引领工业互联网行业的变革,工业互联网已成为第四次工业革命的基石.5G 独立组网[1](Stand-Alone,SA)网络技术不断成熟,实现了控制面与用户面的完全分离.相比 4G 网络,5G 在网络延迟、带宽等网络核心指标方面都有数量级别的飞跃,这正是助推垂直行业战略转型的基础.

目前 5G 技术的发展已经颇为成熟,在各垂直行业的建设中,一是可以通过 5G 基站上行的优化方案提升 5G 网络的覆盖和速率,二是可以通过 5G 网络切片方案保障网络的服务质量(Quality of Service,QoS).但是这两种方案的建设都依赖于 5G 网络的基础建设,都需要行业投入极大的经济成本,这就成为行业发展的卡脖子环节.

申雪等[2]提出的基于 5G 技术垂直行业的建设研究,从框架上提出了建设思想,分析了关键技术,但并没有涉及 5G 系统的实践研究.孙继平[3]提出的 5G 网络硬切片技术,详细分析了系统软硬件参数指标、系统测试方法,以及网络硬切片的理论设计方案,但是并没有通过 5G 网络的实际测试和性价分析.目前 5G 网络的硬切片技术在各大运营商中处于试点阶段,并没有付诸商用,一方面是因为硬切片独占带宽费用高昂,另一方面是硬切片在技术层面还不够完善.Anwar 等[4]研究了 VM 的迁移机制,从时间分配的角度进行仿真模拟,给出信道攻击的防御方法,能够从一定程度上满足 5G 网络切片的隔离.Yu 等[5]通过引入中国墙的思想指导 VM 的部署和迁移,通过用户的关联级别和冲突关系来调度 VM 的部署,能够提高切片的安全性能,但是没有解决网络节点资源利用率和切片隔离的关系.

本文以某智慧矿山的实际 5G SA 网络建设为基础,将 5G UPF(User Plane Function,UPF)下沉到业务区域,实现控制面和用户面的分离,保证了网络的安全性能[6];同时通过 PSO 优化算法,构造基于节点资源和链路资源的适值函数,通过贝叶斯(Bayes)评估算法计算切片隔离值,设计网络软切片的映射策略,并且以物理节点隔离因子作为约束条件保证网络切片的隔离度,在有限的软硬件条件下保障最大的 5G 网络性能体验,实验结果良好.

1 5G SA 网络

1.1 5G SA 组网

当前垂直行业 5G SA 网络的组网方式一般都采用入驻式,通过 UPF 分流 MEC(Multi-access Edge Computing,MEC)的方案,边缘 UPF 下沉到业务区,控制面在大区中心,实现控制面与用户面的分离.所有数据业务都通过 5G MEC 访问业务区应用服务器,用户访问自身服务器流量全部在内部完成,符合信息安全需求,业务路径延迟小;大网数据则通过 5G SA 核心网 UPF 进行流量转发,企业特殊终端如监控摄像头等通过基站接入,可以访问专网.某垂直行业矿山区域网络架构如图 1 所示.

5G 网络将网络延迟降低到了毫秒级,提供的低延迟特性实现了远程控制功能,5G 网络的高数据传输率,下行网络速率高达 Gbps 级,上行优化后的速率也可以达到百兆以上的速率,为安全数据传输提供了通道,由于 5G 网络减少了通信线缆,使得网络维护更加简单高效.

1.2 5G 网络切片

网络切片(Network Slicing,NS)是通过切片技术在一个通用的硬件基础上虚拟出多个端到端的网络,每个网络具有不同网络功能,适配不同类型的服务需求.网络切片实现端到端的服务保障,必须在无线、传输和核心网络设定对应的子切片,在任何一个独立的网络单独切片无法保障 5G 网络的服务质量.目前按照技术层面划分,网络切片可以分为硬切片和软切片.

1.2.1 网络硬切片

如图 2 所示,网络硬切片使得不同的业务在 5G 网络的时域和频域安排方面都独占其资源,这样虽然看似保障了服务的性能,但使得网络资源使用率极低.目前硬切片技术在运营商业务中还没有商用.

1.2.2 网络软切片

如图 3 所示,网络软切片使得不同的业务在 5G 网络的频域安排方面得到充分的共享,而在时域方面还是独享资源,这样可以充分保障网络的利用率,提升 5G 网络的性能.

2 5G 网络软切片

2.1 网络切片

网络切片是以逻辑与物理资源[7-9]向客户提供的 5G 端到端定制网络的智慧连结型业务,包含核心子网、承载子网、无线子网等多个子网切片.网络切片实例(Network Slice Instance,NSI)是一个端到端(End to End,E2E)的逻辑网络,包括一组网络功能、

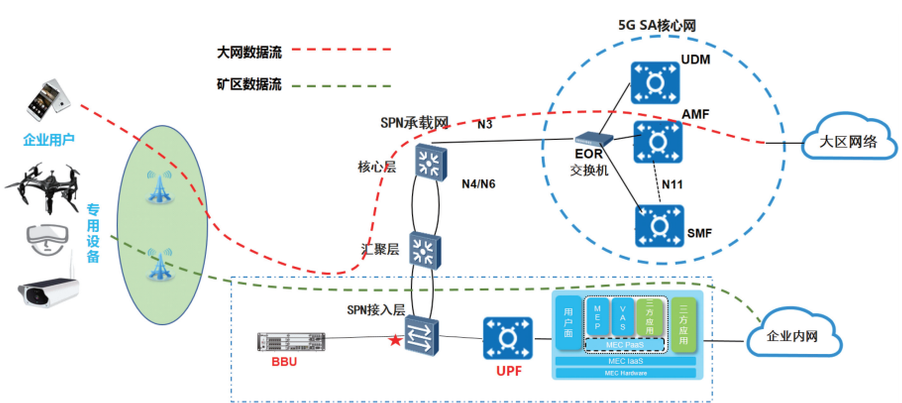

图 1 智慧矿山 5G SA 组网架构

Fig. 1 5G SA networking architecture for smart mines

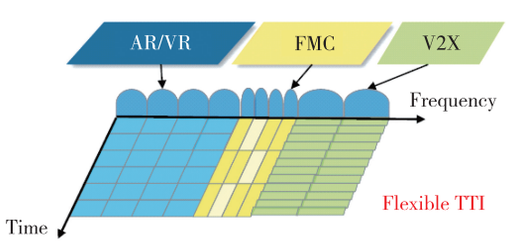

图 2 网络硬切片

Fig. 2 Network hard slicing

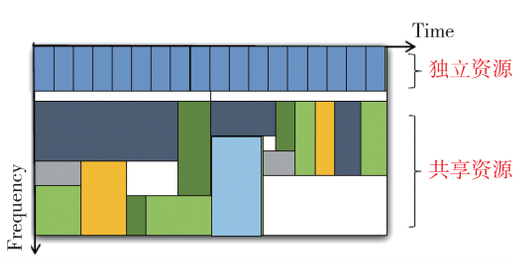

图 3 网络软切片

Fig. 3 Network soft slicing

资源和连接关系,根据业务和需求资源,对网络进行切片可以实现网络的灵活管理.网络切片管理系统(Network Slice Management,NSM)能够根据网络能力和服务等级协议(Service-Level Agreement,SLA)的要求设计网络切片模板,包括切片实例化和配置功能,并且通过观察 NSI 的运行状态来确保 SLA.NSM 基于最先进的技术具有增强功能的云管理技术,支持网络切片的功能,它提供流线型的运维能力服务.以智慧矿山业务的需求为例,5G SA 网络可以选择网络切片架构如图 4 所示.

根据不同的业务需求完成网络切片的配置,切片数量可以根据业务的类型具体划分.对于普通面向消费者业务(2C)通过大网数据传输,划分公网切片或者开通数据专网区分数据流;对于矿区业务相关的数据流,启用矿区专网切片保障业务数据传输和数据安全性能.

2.2 网络切片编排

网络切片将物理网络划分为多个独立的资源和逻辑网络[10-11],每个虚拟网络保障一种类型业务的 5G QoS 区分(5G QoS Identify,5QI),将虚拟网络映射到底层物理网络的过程称为网络切片编排[12-13].现阶段网络切片编排的方式是基于节点编排和链路编排的.首先进行虚拟节点的编排,将虚拟节点编排在底层物理节点上,然后对各节点的链路进行编排.具体流程如图 5 所示.

本文将底层网络拓扑以有向图 G 表示,$G=(N,E,R,B,D)$,其中 N 表示底层网络节点,E 表示底层网络链路,在网络拓扑中 $e=(u,v)$ 表示节点 u 到节点 v 的链路,同理 $e^{r}=(v,u)$ 表示节点 v 到 u 的链路.R 表示物理节点的资源量,B 表示带宽,D 表示网络延迟.同样将切片网络用有向图 G^{v} 表示,$G^{v}=(N^{v},E^{v},R^{v},B^{v},D^{v})$,其中 N^{v} 表示虚拟节点集合,E^{v} 表示虚拟链路,R^{v},B^{v},D^{v} 表示资源需求量.通过编排算法在物理网络中选择切片网络的资源分片,这样可以转换为由切片网络 G^{v} 到物理网络 G 映射的定义如下:

$$\mathrm{SLICE}_{\mathrm{MAP}}=(N_{\mathrm{MAP}},E_{\mathrm{MAP}},R,B,D), \tag{1}$$

其中 N_{MAP} 表示网络切片的虚拟节点与物理节点的映射关系集合,E_{MAP} 表示网络切片虚拟链路与物理链路的映射关系集合.网络切片是一个多目标优化问题,对于下沉的 UPF 来说,要在底层网络中尽可能多地编排网络切片,充分有效地利用网络资源、增加收益,因此提出资源权重如下:

$$R(G^{v},t)=\alpha\sum_{n^{v}\in N^{v}}\mathrm{CPU}(n^{v})+\beta\sum_{l^{v}\in E^{v}}\mathrm{BW}(l^{v}), \tag{2}$$

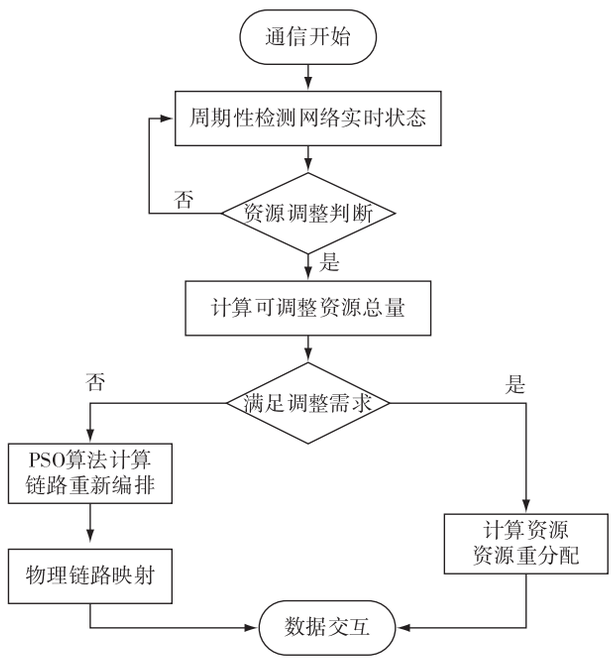

图 5 切片编排策略流程

Fig. 5 Slicing orchestration strategy process

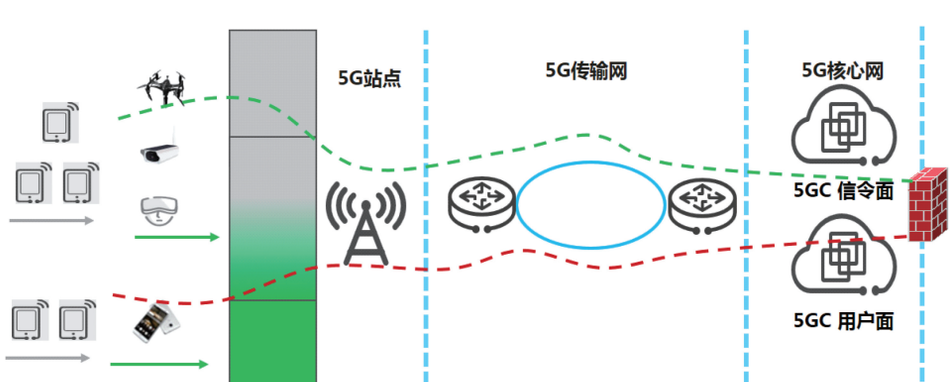

图 4 5G SA 网络切片架构

Fig. 4 5G SA network slicing architecture

其中,CPU(n^v)表示虚拟节点需要的 CPU 资源,BW(l^v)表示虚拟链路需要的带宽资源,$\alpha+\beta=1$ 且 $\alpha,\beta\in[0,1]$,α 为 CPU 资源影响因子,β 为带宽影响因子.

编排开销表示成功编排一个网络切片所花费的代价,由于它会消耗物理网络的底层资源,其计算方式如下:

$$C(G^v,t)=\gamma\sum_{n^v\in N^v}\mathrm{CPU}(n^v)+\delta\sum_{l^v\in E^v}\sum_{i=1}^{j}\mathrm{Hop}(f_i)\mathrm{BW}(f_i),\tag{3}$$

其中,BW(f_i)表示虚拟链路路径分割后网络流f_i的带宽,Hop (f_i)表示路径开销跳数,$\gamma+\delta=1$且$\gamma,\delta\in[0,1]$,γ,δ 分别为节点资源和链路资源权重.

根据式(2) 和(3) 得到底层网络的开销和收益比:

$$\tau=\lim_{T\to\infty}\frac{\sum_{t=0}^{T}R(G^v,t)}{\sum_{t=0}^{T}C(G^v,t)}.\tag{4}$$

2.3 网络切片隔离因子

网络切片的安全性及性能保障取决于切片的隔离机制,每个切片可以视为异构网络设备提供的隔离资源集合,隔离级别和强度会根据切片要求和使用场景而有所不同.本文通过引入贝叶斯(Bayes)评估方法[14-15]计算网络切片的隔离因子.假设物理节点G_i和G_j相互通信次数为 x 和 y 次,其中 x 表示正常通信次数,y 表示异常通信次数,异常通信会导致信任因子降低,由 Bayes 评估方法计算 G_i 对G_j 的统计信任因子R_{ij} 的概率为

$$P(R_{ij}\mid x,y)=\frac{P(R_{ij},x,y)}{P(x,y)}=\frac{R_{ij}^{x}(1-R_{ij})^{y}}{\int_0^1 R_{ij}^{x}(1-R_{ij})^{y}d_{R_{ij}}}.\tag{5}$$

再根据密度函数

$$B(x,y)=\int_0^1 R_{ij}^{x-1}(1-R_{ij})^{y-1}d_{R_{ij}},\tag{6}$$

推得

$$P(R_{ij}\mid x+1,y)=\frac{R_{ij}^{x}(1-R_{ij})^{y}}{B(x+1,y)}.\tag{7}$$

推理可得,物理节点 G_i 对G_j 的统计信任因子R_{ij}服从参数 x 和 $x+y$ 的 Beta 分布如下:

$$f(R_{ij}\mid x+1,y)=\begin{cases}\dfrac{R_{ij}^{x}(1-R_{ij})^{y}}{B(x+1,y)}, & 0\leqslant R_{ij}<1,\\ 0, & \text{其他},\end{cases}\tag{8}$$

则其数学信任因子为

$$E(R_{ij})=\frac{x+1}{x+y+1}.\tag{9}$$

由此推得节点 G_i 的隔离因子计算公式为

$$R_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}E(R_{ij}),\tag{10}$$

其中,n 为当前节点G_i 所在网络物理节点数量.

3 5G 网络软切片映射算法

3.1 算法原理

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization,PSO)是根据鸟群生活规律提出的一种群体智能理论的迭代算法[16-17].它将空间中的每一个解看成一个粒子,将适值函数作为评价粒子性能的指标.粒子群体规模为 N,每个粒子的位置坐标为$X_i=\{x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{iD}\}$,粒子 i 的速度定义为$V_i=\{v_{i1},v_{i2},\cdots,v_{iD}\}$,通过更新粒子的飞行速度和位置,来搜寻鸟群中的最佳位置.

$$v_i(n+1)=\omega v_i(n)+c_1\,\mathrm{rand}_1(P_i(n)-x_i(n))+c_2\,\mathrm{rand}_2(P_g(n)-x_i(n)),\tag{11}$$

其中 v_i 表示粒子 i 的速度信息,x_i 表示粒子 i 的位置信息,ω 表示粒子的惯性权重,$\mathrm{rand}_1()$ 和$\mathrm{rand}_2()$ 是值为[0,1] 的随机函数,c_1 和c_2 为加速常数,$P_i(n)$ 是粒子 i 的最优位置记录,$P_g(n)$ 是整个群体中最优的粒子位置记录.粒子i通过式(12) 调整自身的位置:

$$x_i(n+1)=x_i(n)+v_i(n+1).\tag{12}$$

粒子群优化算法在式(11) 和(12) 的迭代下求得最优解.粒子群算法的计算复杂度不高,但是实现简单,并且收敛速度快,因此很适合用它来计算网络切片链路编排.针对链路出现拥塞的情况,可以利用算法进行动态调整切片的物理链路映射[18].

基于粒子群算法,定义有 N 个切片提供空闲资源的第 i 个资源分配方案为$P_i=\{p_{i1},p_{i2},\cdots,p_{iN}\}$,$p_{i1}$表示 N 个切片中第 1 个切片在第 i 个解中的资源量,如 2 个切片的原始资源分别为 10 和 20,有一个粒子$P_i=\{5,16\}$ 则表示按照此解进行编排,则第 1 个切片预留 5 个单位的资源,第 2 个切片预留 16 个单位的资源,其余的资源可以分配给拥塞链路.粒子速度$V_i=\{v_{i1},v_{i2},\cdots,v_{iN}\}$ 表示第 i 个粒子中各个切片的资源量变化.

3.2 适值函数设计

对于物理链路 L 上分配的一个网络切片的虚拟

链路 vLink 的带宽租用价格为 p,单位带宽收益为 g,则此链路的实际收益 Revenue 计算公式如下:

$$R = C \times p - B \times g, \tag{13}$$

其中 C 和 B 分别为 vLink 的当前速率和分配带宽.当链路处于拥塞状态,则调整后链路的分配带宽值为 $\dot{B}$,此时链路实际收益 $\dot{R}$ 的计算结果如下:

$$\dot{R} = C \times p - \dot{B} \times g, \tag{14}$$

则带宽调整之后的收益差额为

$$\Delta R = (B - \dot{B}) \times g. \tag{15}$$

经调整后的资源利用率大于调整前的资源利用率,得知链路的资源利用率越大,其收益越高. K 个网络切片的资源平均利用率为

$$\bar{\mu} = \frac{1}{K}\sum_{i \in k}\frac{C_i}{\dot{B}_i}. \tag{16}$$

同时根据式(3),假设调整第 i 个网络切片的单位带宽开销是c_i,则可以计算 K 个网络切片的总开销为

$$c = \sum_{i \in k} c_i \left| B_i - \dot{B}_i \right|. \tag{17}$$

为了保证在较小的开销前提下获得最大的平均资源利用率,最终目标通过求解调整后的各切片带宽资源值.因此构造粒子群适值函数如下:

$$f_{\text{fit}}(i) = \frac{\dfrac{1}{K}\displaystyle\sum_{i \in k}\frac{C_i}{\dot{B}_i}}{\displaystyle\sum_{i \in k} c_i \left| B_i - \dot{B}_i \right|}. \tag{18}$$

3.3 粒子隔离度

粒子群算法通过迭代求解最优分配方案,计算网络节点隔离因子,设置网络切片中节点平均隔离评估值作为算法约束门限.为了避免算法陷入局部最优的情况,定义粒子隔离度如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\displaystyle\sum_{i=1, i \neq j}^{n}(R_i - R_{\text{avg}})^2}{n-1}}, \tag{19}$$

其中 n 为粒子群规模,R_{avg} 为所有粒子的平均隔离因子:

$$R_{\text{avg}} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1, i \neq j}^{n}\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}E(R_{ij})\right). \tag{20}$$

当粒子隔离度 σ 小于设定的阈值时,如果当前粒子的适值小于上一轮的适值,则更新粒子最优位置.

3.4 网络切片映射算法流程

网络切片映射算法的目的是在有限的网络资源前提下动态地调整网络切片的利用率,减少由于业务流量变化而对网络性能产生的影响.具体调度策略步骤如下:

Step1.初始化粒子群粒子维度、粒子个数与迭代次数,粒子的每个维度表示一个网络切片的资源量,表示每次调整最多考虑 K 个切片提供资源.

Step2.随机生成 N 个 K 维粒子,作为初始种群(在测试阶段以实际的网络切片数量为标准).

Step3.通过 vLink 链路速率和带宽资源计算适值函数值,并计算当前的粒子隔离度作为约束条件值.如果满足约束条件,适值函数的值为最大时是当前的最优解,意味着该向量的解是当前网络切片的资源分配方案,能够获得最大的资源利用率且同时保证了网络切片的隔离度.

Step4.根据粒子的速度和位置信息更新粒子属性,并且重新计算适值函数值.

Step5.迭代次数减 1,直到粒子迭代了 N 次,返回最优解.当网络切片完成数据传输工作,进入下一轮数据通信,否则返回 Step3.

4 5G 网络切片实验测试

4.1 5G 网络参数

本文的 5G SA 网络切片测试基于安徽某智慧矿山的实际 5G SA 网络建设,该矿区已经通过 5G SA 网络上行覆盖方案实现矿区近点、远点以及弱覆盖区域的网络全覆盖.矿山架设基站将 5G UPF 下沉到矿区,实现控制面和用户面的分离,保证了网络的安全性能,策略中算法的参数如表 1 所示.

表 1 IsoPSO 优化策略参数

Table 1 Parameters for IsoPSO

参数	参考取值	实际取值
粒子数	[20 50]	25
最大迭代次数	60	50
α/β	0.4/0.6	0.5/0.5
粒子维度	N	N
惯性权重	[0.4 0.9]	0.5

由于网络切片的费用昂贵,本次测试网络软切片通过无线资源预留,承载网 5QI 实现逻辑隔离,在无线、传输和核心网络设定对应的子切片,安排 5G SA 网络带宽最大保障 150 Mbps,单终端保障为 10 Mbps.根据矿区具体业务种类,切片数量分别设定为 2、3、4、5、6.

基于隔离等级的切片部署方法 Slice[19],通过设

定隔离等级,从性能隔离和安全隔离两方面确定切片的部署.切片安全隔离算法 SecGP[20],该算法通过改进安全粒子群算法进行切片映射编排.通过对比基于 Bayes 评估的切片映射算法(IsoPSO)与 SecGP 和 Slice 两种算法在资源利用率、收益成本比和安全性能等级几方面的数据验证网络服务质量.

4.2 网络软切片测试

4.2.1 收益成本比

如图 6 所示,随着网络切片数量的增加,切片的收益成本比呈下降趋势,因为随着切片数量的增加,底层网络资源的竞争变得激烈.为了使切片成功编排,算法的计算复杂度变高,必然增加编排成本.基于 IsoPSO 算法优化的切片调度策略表现出明显的优势,收益成本比与 SecGP 和 Slice 相比,平均值能够提升 5%和 10%.

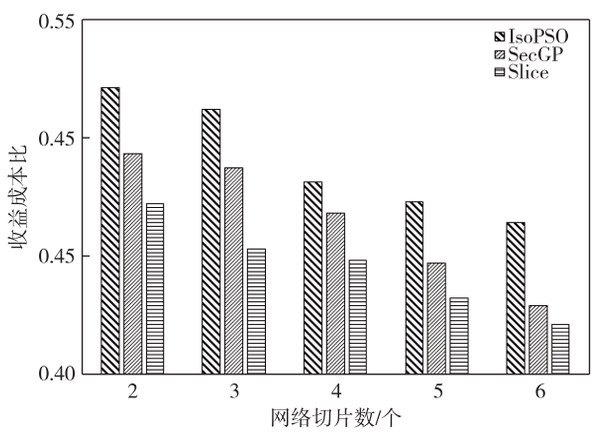

图 6 收益成本比

Fig. 6 Benefit cost ratios

4.2.2 链路资源利用率

如图 7 所示,随着网络切片数量的增多,链路的资源利用率稳步提升,最终趋于稳定.随着切片请求个数的逐渐增多,基于 IsoPSO 算法优化的调度策略能够接纳更多的网络切片请求,取得最大的资源利用率,与 SecGP 和 Slice 相比,资源利用率分别提高 12%和 20%.

4.2.3 执行时间

如图 8 所示,在网络切片数量等于 2 时,通过 IsoPSO 调度优化的软切片策略与其他策略执行时间相近,这是因为在网络切片数量少时,网络的资源相对充足.随着切片数量的增加,基于 IsoPSO 优化的策略的执行时间要明显小于 SecGP 和 Slice 的切片策略.

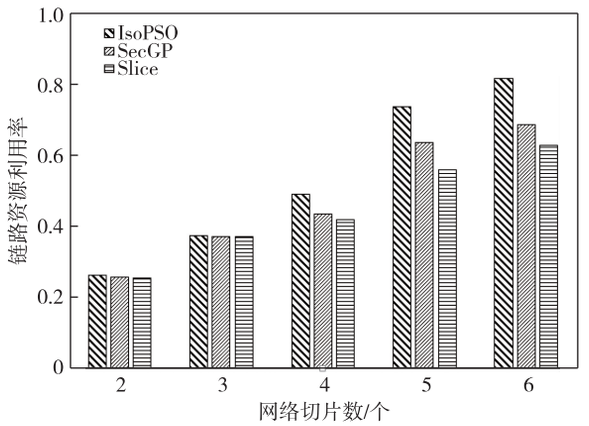

图 7 链路资源利用率

Fig. 7 Link resource utilization rates

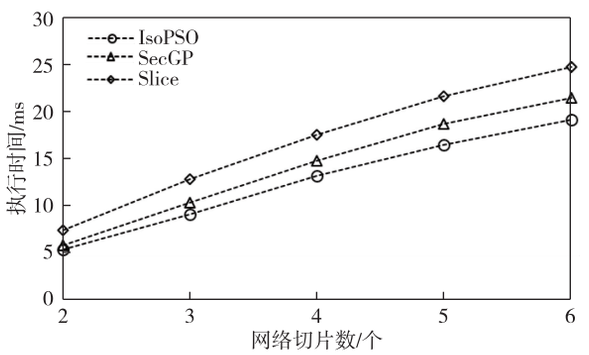

图 8 优化策略执行时间

Fig. 8 Comparison of execution time

4.2.4 网络服务质量

通过 5G SA 网络切片专网保障矿区网络的带宽,可以在最大程度上保障矿区业务带宽得到优先调度,在网络压力下配置 QoS 的矿区业务可以抢占普通用户带宽.有网络负载的情况下,矿区执行上传业务时,切片用户抢占普通用户带宽并达到稳定.与 SecGP 和 Slice 相比,经过 IsoPSO 算法优化的调度策略能够保障较高的上行速率,如图 9 所示.

基于 IsoPSO 算法优化的调度策略,在测试时间内的上行平均速率,相比 SecGP 和 Slice 的上行速率分别提升 20%和 48%,如图 10 所示.

5 结束语

5G 网络的低延迟、大带宽等技术特性在工业互联网垂直行业的发展中发挥了及其重要的支撑作用.本文从智慧矿山的 5G SA 网络组网方式出发,介绍了目前运营商在垂直行业商用的网络软切片方案,将 UPF 下沉到矿区,控制面留在大区中心,远程

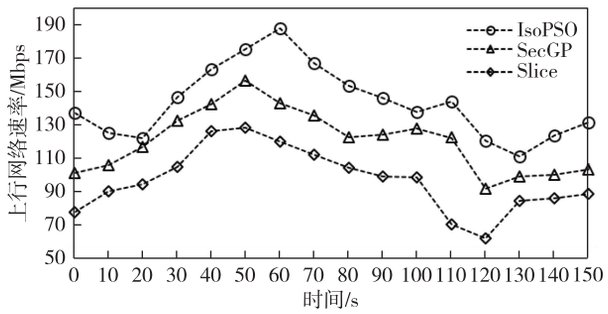

图 9 上行实时速率比较

Fig. 9 Comparison of real-time uplink rate

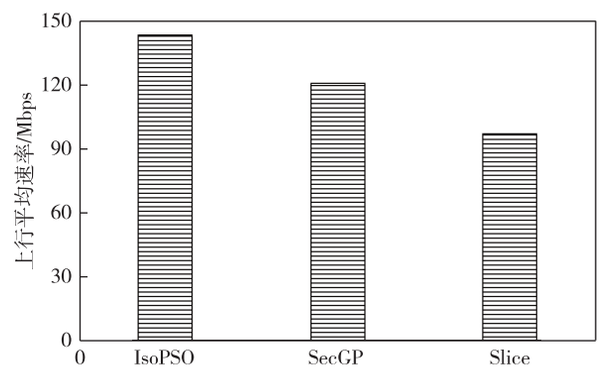

图 10 上行平均速率比较

Fig. 10 Comparison of average uplink rate

控制、5G 视频回传和数据采集类等所有数据业务均通过 5G MEC 访问矿区应用服务器.设计的算法利用 PSO 改善软切片映射效率,引入贝叶斯评估方法提高切片的隔离度保障网络安全.实验结果表明算法能够提高网络收益,增加链路利用率,能充分保障 5G 网络的服务质量.

参考文献

References

[1] 王波.5G SA 的网络架构和关键技术[J].移动通信,2020,44(1):24-32
WANG Bo.The network architecture and key technologies of 5G SA[J]. Mobile Communications, 2020, 44(1): 24-32

[2] 申雪,卜小平,余文科.基于 5G 技术的“智慧矿山”建设研究[J].中国电子科学研究院学报,2020,15(7):620-624
SHEN Xue, BO Xiaoping, YU Wenke. Study on intelligence mine construction based on 5G technology [J].Journal of China Academy of Electronics and Information Technology,2020,15(7):620-624

[3] 孙继平.煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术[J].工矿自动化,2021,47(8):1-6
SUN Jiping.Coal mine intelligence,mine 5G and network hard slicing technology [J]. Industry and Mine Automation,2021,47(8):1-6

[4] Anwar A H,Atia G,Guirguis M.It's time to migrate! A game-theoretic framework for protecting a multi-tenant cloud against collocation attacks[C]//2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing.July 2-7, 2018,San Francisco,CA,USA.IEEE,2018:725-731

[5] Yu S,Gui X L,Lin J C,et al.A security-awareness virtual machine management scheme based on Chinese wall policy in cloud computing[J].The Scientific World Journal,2014,2014:805923

[6] 刘佳佳,吴昊,李盼盼.铁路 5G 移动通信系统边缘计算安全研究[J].计算机工程与应用,2021,57(12):1-10
LIU Jiajia,WU Hao,LI Panpan.Research on edge computing security of railway 5G mobile communication system [J]. Computer Engineering and Applications, 2021,57(12):1-10

[7] Foukas X, Patounas G, Elmokashfi A, et al. Network slicing in 5G:survey and challenges[J].IEEE Communications Magazine,2017,55(5):94-100

[8] Xu F,Liu F M,Liu L H,et al.iAware:making live migration of virtual machines interference-aware in the cloud [J].IEEE Transactions on Computers, 2014, 63(12): 3012-3025

[9] Han Y,Chan J,Alpcan T,et al.Using virtual machine allocation policies to defend against co-resident attacks in cloud computing[J].IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing,2017,14(1):95-108

[10] 赵国繁,唐伦,胡彦娟,等.面向可靠性的 5G 网络切片重构及映射算法[J].电子与信息学报,2020,42(6):1478-1485
ZHAO Guofan, TANG Lun, HU Yanjuan, et al. A reliability-aware 5G network slice reconfiguration and embedding algorithm[J].Journal of Electronics & Information Technology,2020,42(6):1478-1485

[11] 唐伦,周钰,谭颀,等.基于强化学习的 5G 网络切片虚拟网络功能迁移算法[J].电子与信息学报,2020,42(3):669-677
TANG Lun,ZHOU Yu,TAN Qi,et al.Virtual network function migration algorithm based on reinforcement learning for 5G network slicing[J].Journal of Electronics & Information Technology,2020,42(3):669-677

[12] 龙恳,钱美伶,余翔,等.一种基于网络切片的带宽资源编排算法[J].计算机工程,2019,45(10):78-83
LONG Ken,QIAN Meiling,YU Xiang,et al.A bandwidth resource orchestration algorithm based on network slicing [J].Computer Engineering,2019,45(10):78-83

[13] 袁宁.基于 SDN 的网络切片编排与优化算法研究[D].北京:北京邮电大学,2020
YUAN Ning.Research on network slice orchestration and optimization algorithms based on SDN[D].Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications,2020

[14] 赵一鸣,谢炯,王钢,等.基于贝叶斯网络的等级保护风险评估模型研究[J].信息技术与网络安全,2018,37(12):6-10
ZHAO Yiming,XIE Jiong,WANG Gang,et al.Research on risk assessment model of grade protection based on Bayesian network [J]. Information Technology and

Network Security,2018,37(12):6-10
[15] 王林,宋蓓,张友卫,等.考虑父节点的贝叶斯网络故障路径追溯算法[J].计算机科学与探索,2018,12(11):1796-1805
WANG Lin,SONG Bei,ZHANG Youwei,et al.Bayesian-network-based fault path tracking algorithm considering parent nodes[J].Journal of Frontiers of Computer Science and Technology,2018,12(11):1796-1805
[16] 李炜,巢秀琴.改进的粒子群算法优化的特征选择方法[J].计算机科学与探索,2019,13(6):990-1004
LI Wei,CHAO Xiuqin.Improved particle swarm optimization method for feature selection[J].Journal of Frontiers of Computer Science & Technology,2019,13(6):990-1004
[17] 马枢清,唐宏,李艺,等.基于粒子群优化算法的数据中心网络流量调度策略[J].电讯技术,2021,61(7):865-871
MA Shuqing,TANG Hong,LI Yi,et al.A traffic scheduling strategy based on particle swarm optimization in data center network[J].Telecommunication Engineering,2021,61(7):865-871
[18] 李建军,汪校铃,杨玉,等.基于 CQPSO 移动群智感知紧急任务分配方法研究[J].计算机科学,2020,47(增1):273-277
LI Jianjun,WANG Xiaoling,YANG Yu,et al.Emergency task assignment method based on CQPSO mobile crowd sensing[J].Computer Science,2020,47(sup1):273-277
[19] 潘启润,黄开枝,游伟.基于隔离等级的网络切片部署方法[J].网络与信息安全学报,2020,6(2):96-105
PAN Qirun,HUANG Kaizhi,YOU Wei.Network slicing deployment method based on isolation level[J].Chinese Journal of Network and Information Security,2020,6(2):96-105
[20] 蒋建峰,张凤岩,张趁香.基于 SecPSO 优化的 5G 网络切片安全隔离算法[J].无线电工程,2022,52(3):442-449
JIANG Jianfeng,ZHANG Fengyan,ZHANG Chenxiang.5G network slicing security isolation algorithm based on SecPSO[J].Radio Engineering,2022,52(3):442-449

5G SA network slicing security mapping algorithm based on Bayesian evaluation

JIANG Jianfeng[1,2] ZHANG Yunsong[2] ZHANG Xian[2] ZHANG Chenxiang[3] AN Shumei[4]
1 School of Computer Science,Nanjing University of Posts and Telecommunications,Nanjing 210023
2 Suzhou Industrial Park Institute of Services Outsourcing,Suzhou 215123
3 School of Computer Science & Technology,Soochow University,Suzhou 215006
4 Ruijie Networks Co.,Ltd.,Fuzhou 350002

Abstract The development of 5G network promotes the strategic transformation and upgrading of the vertical industry of the industrial Internet.The 5G SA (Stand-Alone) network sinks the User Plane Function (UPF) into the business area,and retains the control plane in the center of the large area.All business data is accessed through the 5G Multi-access Edge Computing (MEC) interface to the business application server,while all traffic for users to access their own servers is completed internally,which guarantees the network security and minimizes the business path delay.Through the optimized Particle Swarm Optimization (PSO),a fitness function based on network physical node resources and link resources is constructed,in which the Bayesian evaluation is introduced to calculate the physical node isolation factor.The average isolation factor of all nodes is set as the threshold then used as constraint condition to ensure the isolation performance of network slices,and the iterative solution is used to adjust the path resources between network slices to improve network performance.The results of actual 5G network test on smart mine show that the algorithm can increase the revenue-cost ratio by 10%,improve the link utilization rate by 19% and the uplink rate by 20%-50%,which fully guarantees the quality of network service in mining areas.

Key words 5G SA;edge computing;smart mine;sink UPF;network soft slice;isolation factor;particle swarm optimization (PSO)