

# 视频通信的MCU资源调度方法综述

韩盟<sup>1</sup>, 焦健林<sup>1</sup>, 刘四春<sup>1</sup>, 王松<sup>1</sup>, 刘凯<sup>2</sup>, 吉跃瑾<sup>2</sup>

(1. 国网北京市电力公司, 北京 100031; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:** 多点控制单元(MCU)资源调度方法正广泛应用于视频通信系统的实际应用场景, 对视频通信整体性能和系统运营具有重要影响。对现有的MCU资源调度方法进行梳理, 首先介绍视频通信中MCU资源调度过程, 归纳MCU资源调度的目标与特点; 然后, 对现有MCU调度算法进行分类和讨论, 比较各类调度方法的优势与不足; 最后, 讨论了现有MCU资源调度研究中取得的成效及存在的问题, 并在此基础上对未来研究进行了展望。实现MCU设备云服务等化方式使得视频通信的MCU资源调度更高效, 也有利于视频通信性能提升及长久稳定发展。

**关键词:** 视频通信系统; MCU资源调度策略; 算法优化

DOI: 10.11907/rjtk.221982

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1672-7800(2024)002-0194-07



## Review of MCU Resource Scheduling Methods for Video Communication

HAN Meng<sup>1</sup>, JIAO Jianlin<sup>1</sup>, LIU Sichun<sup>1</sup>, WANG Song<sup>1</sup>, LIU Kai<sup>2</sup>, JI Yuejin<sup>2</sup>

(1. Beijing Electric Power Corporation, Beijing 100031, China; 2. NR Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The multipoint control unit resource (MCU) scheduling method is widely used in practical application scenarios of video communication system and has an important impact on the overall performance and operation development of video communication. In this paper, the existing MCU resource scheduling methods are sorted out. First, the MCU resource scheduling process in video communication is introduced, and the objectives and characteristics of MCU resource scheduling are summarized; Then, the existing MCU scheduling algorithms are classified and discussed, and the advantages and disadvantages of various scheduling methods are compared; Finally, the results and problems of the existing scheduling research are discussed, and the future research is addressed. The MCU resource scheduling of video communication can be more efficient by realizing the cloud service of MCU equipment, which is conducive to the performance improvement and long-term stable development of video communication.

**Key Words:** video conference system; MCU resource scheduling strategy; algorithm optimization

## 0 引言

随着现代视频通信水平的普及和通信速度大幅度提升, 作为通信业务之一的视频通信展现出良好发展势头, 已成为当前通讯工具的重要选择, 具有较好的市场发展前景<sup>[1]</sup>。目前, 视频通信的实际应用场景越发广泛, 如远程视频教育、远程视频医疗、远程视频招聘、远程视频培训等<sup>[2]</sup>。视频通信旨在利用视频技术和设备, 通过网络通信实现的一种多媒体通讯方式。在大规模工业场景应用中,

如腾讯会议、ZOOM等, 视频通信技术也得到了广泛应用。

一个视频通信系统通常由视频通信用户终端、多点控制单元(Multipoint Control Unit, MCU)、网络管理系统和传输网络4部分组成。其中, MCU是多点视频通信系统的核心组网设备, 用于多个会场召开视频通信时实现视频通信音视频处理(混音、多画面、交换、视频叠加)、信令控制等功能。MCU的性能影响整个视频通信的服务质量, MCU的规模决定了视频通信规模。因此, 在视频通信系统中, 如何选择最优的MCU是一大挑战, 视频通信的MCU资源调度一直是视频通信领域研究的核心问题。

收稿日期: 2022-08-22

**作者简介:** 韩盟(1982-), 男, 硕士, 国网北京市电力公司高级工程师, 研究方向为电力调度自动化; 焦健林(1972-), 男, 硕士, 国网北京市电力公司高级工程师, 研究方向为电力调度自动化; 刘四春(1971-), 男, 硕士, 国网北京市电力公司高级工程师, 研究方向为电力调度自动化; 王松(1985-), 男, 硕士, 国网北京市电力公司高级工程师, 研究方向为电力调度自动化; 刘凯(1993-), 男, 硕士, 南京南瑞继保电气有限公司工程师, 研究方向为电力系统调度自动化; 吉跃瑾(1989-), 男, 硕士, 南京南瑞继保电气有限公司高级工程师, 研究方向为电力系统调度自动化。本文通讯作者: 韩盟。

为推进视频通信的发展,国内外研究者进行了大量研究,提出了一系列视频通信资源调度策略<sup>[3-6]</sup>。本文首次对近年来视频通信中的MCU资源调度算法进行系统性分析和比较,总结视频通信的MCU资源调度过程及调度的4个优化目标,并在此基础上归纳、总结、分析现有3种资源调度算法,最后讨论了现有MCU资源调度研究的成效与不足,并对未来研究趋势进行了展望。

## 1 MCU资源调度分析

在视频通信系统中,MCU资源调度的作用是对所有MCU设备的资源进行统一调度和优化分配,对接入的视频通信终端设备提供最优的通信MCU设备信息。因此,就实现原理而言,MCU资源调度可视为一种多约束、多目标优化问题<sup>[7]</sup>。

### 1.1 MCU资源调度过程

本文将MCU资源调度分成3层:应用层、连接层、调度层。MCU资源调度过程如图1所示,应用层的用户向云端发起视频通讯请求,视频通信系统会根据用户需求和请求类型,调度选取当前最优的MCU设备,并返回MCU设备详细信息。

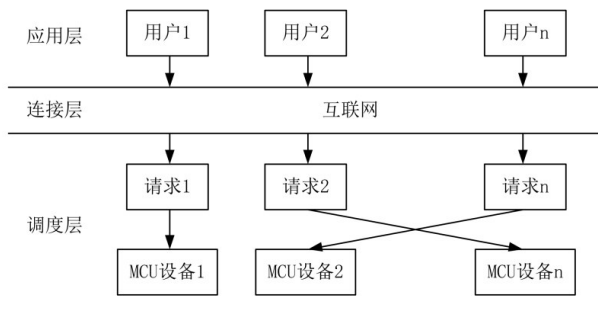


Fig. 1 MCU resource scheduling process

图1 MCU资源调度过程

### 1.2 MCU资源调度优化目标

MCU资源调度优化需要考虑如何实现用户就近与MCU通信、减少MCU之间级联现象、MCU负载均衡以及算法执行效率等4个目标。

随着视频通信的普及,其用户遍布各地,用户基数在持续增长,故对于MCU资源的需求增加,会议的音视频转发时延也在相继增长,这直接影响视频通信的画质和用户体验。用户就近与MCU通讯,将在一定程度上优化MCU资源的调度结果。随着视频通信规模的发展,一个会议涉及的用户量增大,将产生诸多级联会议,MCU通信将占用MCU设备的部分资源,造成资源浪费。实现负载均衡,可以有效避免某些MCU设备的性能达到极限,确保每个MCU设备上分配的终端请求,即连接的终端数相对平均。

对于MCU资源调度方法而言,算法执行效率将直接影响视频通信系统的响应速度,决定用户产品体验。因此,MCU资源调度需将算法的执行效率考虑在内。

### 1.3 MCU资源调度特点

视频通信中,MCU资源调度与其他计算模式中的调度相比具有如下特点:

(1)调度差异化。MCU资源调度是面向大规模但处理能力不一的可复用MCU设备,每台设备上可提供的资源数量以及可支撑连接的用户终端数目不同,因此需进行差异化调度。

(2)约束条件。在传统的调度计算中,系统性能最优即是最终目标。而在视频通信中,MCU作为视频编解码、转码流,MCU周围的网络状况将影响视频通信的服务质量。因此,视频通信中的调度问题必须考虑视频质量的约束,如网络状况、通信距离等因素。

(3)优化目标。视频通信中的MCU资源调度不仅注重资源利用率和系统性能提升,而且要保证视频质量佳且满足用户需求,尽可能实现供给和消费的双赢局面<sup>[8]</sup>。即需要寻找一台资源最充足、离用户终端距离最近、网络链路较好的MCU设备与用户进行通信。

(4)可扩展性。在视频通信规模和影响不断扩大的情况下,MCU资源的调度必须具有可扩展性,方可确保视频通信系统的性能。

## 2 MCU资源调度方法

近年来,视频通信的MCU资源调度相关方法可分为3类:①基于系统稳定的MCU资源调度;②基于视频质量的MCU资源调度;③基于个性化的MCU资源调度。

### 2.1 基于系统稳定的MCU资源调度

目前,稳定视频通信系统的方法有3种:①实时收集各MCU相关信息,调度负载均衡实现系统稳定;②依据周期数据平衡各MCU负载以稳定系统;③构建MCU资源池,通过对外统一调度资源以稳定系统。

#### 2.1.1 实时调度

樊华等<sup>[9]</sup>依据MCU设备的连接数目和使用带宽将MCU的能力量化,提出“疲劳度”这一概念,即疲劳度与网络连接请求数和可使用的网络带宽线性相关。该调度方法基于加权轮询算法(Weighted Round-Robin, WRR)进行优化,动态接收服务器当前的链接数目和使用带宽,将请求发给系统中疲劳度最小的MCU设备。调度结果与WRR相比表现良好,但此方法对于每一个请求动态轮询服务器,会造成一定时延;对于MCU设备能力度量,仅考虑设备当前的连接数目和使用带宽,未考虑设备差异性。而张慧芳<sup>[10]</sup>基于设备差异性考虑,针对传统加权最小连接算法(Weighted Least-Connection, WLC)的不足加以改进,提出基于动态反馈的加权最小连接数服务器负载均衡算法,根据服务器节点 $S_i$ 实时负载比率 $R(S_i)$ 为其分配相应负载。 $R(S_i)$ 计算方法如式(1)所示。

$$R(S_i) = \text{Load}(S_i) / P(S_i) \quad (1)$$

其中,  $P(S_i)$  为节点处理能力极值,  $Load(S_i)$  为节点实际负载。该算法中, 服务器节点实时负载比率  $R(S_i)$  实时反映此时节点处理负载的能力大小, 因此可较好地平衡各 MCU 服务节点的当前负载, 将终端服务请求连接至负载最小的 MCU 上, 充分利用每个 MCU 服务器的 CPU 资源。

在代理 (Agent) 技术发展的背景下, 邱华等<sup>[11]</sup> 利用 Agent 的自主性、协作性优化 MCU 资源调度算法。如图 2 所示, 在每台 MCU 服务器上部署用于收集系统负载的 Agent (Load Gathering Agent, LGA), 通过与负载均衡 Agent (Load Balancing Agent, LBA) 交互协作, 依据组优先、最少级联最轻负载的平衡分配方法实现 MCU 的资源。

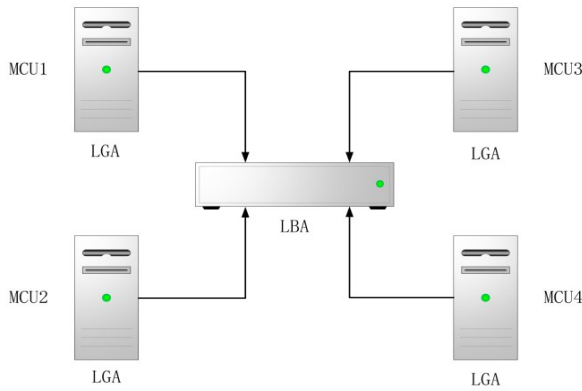


Fig. 2 MCU loading balancing framework based on Agent

图2 基于 Agent 的 MCU 负载均衡框架

基于 Agent 的 MCU 负载均衡方法由于采用了会议组优先的分配策略, 兼顾 MCU 最少级联最少负载的分配原则, 可平衡各 MCU 的负载, 降低 MCU 级联, 减少因级联带来的 MCU 资源浪费。

2.1.2 周期调度

依据周期性数据平衡各 MCU 负载, 也是当前 MCU 资源调度方法实现系统稳定的一种有效策略。为减少频繁动态采集数据对系统性能所带来的影响, 陈善富<sup>[12]</sup> 提出基于粗糙集的动态与静态相结合的负载均衡算法 (Base Rough Sets Dynamic and Static Combination Load Balancing, RSDSC)。该算法借鉴粗糙集理论的思想, 在动态反馈的周期 T 内, 根据服务器节点单位性能负载高低将其划分为多个组, 组内服务器单位负载基本相当。RSDSC 模型如图 3 所示。

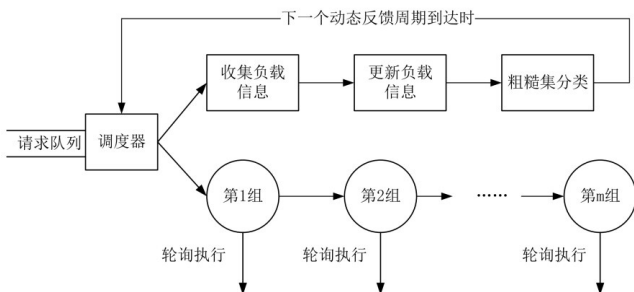


Fig. 3 RSDSC model

图3 RSDSC 模型

该算法的核心思想是在所有服务器节点中找出最合适的服务器节点子集, 并进行轮询调度。算法的优点在于将服务器节点的各种指标, 如连接数、带宽、CPU 等, 归一化为服务器节点负载的一个指标, 将此复杂问题简单化。

此外, 李梦琳等<sup>[13]</sup> 参照遗传算法中自适应交叉概率  $P_c$  的设计思路, 设计流量自适应系数  $x$  以考虑周期内网络流量对于 MCU 资源池内的资源分配, 为负载流量系数大的 MCU 分配更多端口资源, 从而实现资源自适应调度分配。流量自适应系数计算方法如式 (2) 所示。

$$x = \begin{cases} k_1 \times \frac{q - q_{ave}}{q_{max} - q_{min}}, & q > k_1 \\ k_2 \times \frac{q_{ave}}{q_{max} - q_{min}}, & q \leq k_1 \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $k_1$  和  $k_2$  是流量控制常数,  $q$  是实时流量,  $q_{ave}$ 、 $q_{max}$  和  $q_{min}$  分别是平均流量、最大流量和最小流量。该算法平衡了 MCU 的负载情况, 并且通过少 MCU 级联在一定程度上减少了音视频的时延, 提高了运行效率和稳定性。

2.1.3 资源池调度

文献 [14] 和文献 [15] 结合云计算机器虚拟化、分布式资源管理等技术, 设计 MCU 资源池架构, 如图 4 所示。该架构通过对外统一调度资源以避免各地视频通信资源孤立增长, 避免单点故障导致某会场无法参会, 增强了系统稳定性和可靠性。

在该架构中, 利用总部、省公司原有的 MCU 设备通过抽象和池化技术, 使其成为一个虚拟的计算池对外提供统一服务。资源池控制平台根据参与各会场的分布情况及终端数量, 在本省 MCU 资源池中选择网络时延最小的 MCU, 本省资源不足时自动将本省 MCU 和备份 MCU 级联, 充分利用了本区域或总部空闲的 MCU 资源。但是该方法中网络时延数据为静态数据且未充分考虑各公司开会频次及资源分布状况。

为改进上述问题, 优化资源利用, 确保系统稳定性, 文献 [16] 结合网络时延与各省公司 MCU 占用情况, 动态调整备份策略, 选择网络延迟较小、MCU 资源空闲较多的省份作为备用资源。文献 [17] 补充给予网络时延和 MCU 利用率的权重设置评分公式, 如式 (3) 所示。

$$\Phi = \Delta t * \epsilon + \eta * (1 - \epsilon) \quad (3)$$

其中,  $\Phi$  是 A 点作为 B 点备用资源的分数,  $\Phi$  越小, 表示该点作为备份资源具有较低的网络延迟和更多的空闲 MCU 资源;  $\Delta t$  是从 B 点到 A 点的网络延迟,  $\eta$  是 A 点的最大 MCU 利用率;  $\epsilon$  是分配给网络延迟的权重值, 范围是  $0 < \epsilon < 1$ 。相对地, 分配给最大 MCU 使用率的权重值应为  $1 - \epsilon$ 。

2.2 基于视频质量的 MCU 资源调度

针对基于视频质量的 MCU 资源调度, 大多数做法是降低长距离通信带来的音视频时延<sup>[18]</sup>。章慧滔<sup>[19]</sup> 采用网络距离测量技术, 使用基于三角启发式原理的 IDMaps 算法进行任意 MCU 之间网络距离的测量, 实现用局部已知的网络距离测量未知节点之间的网络距离, 进而实现用户

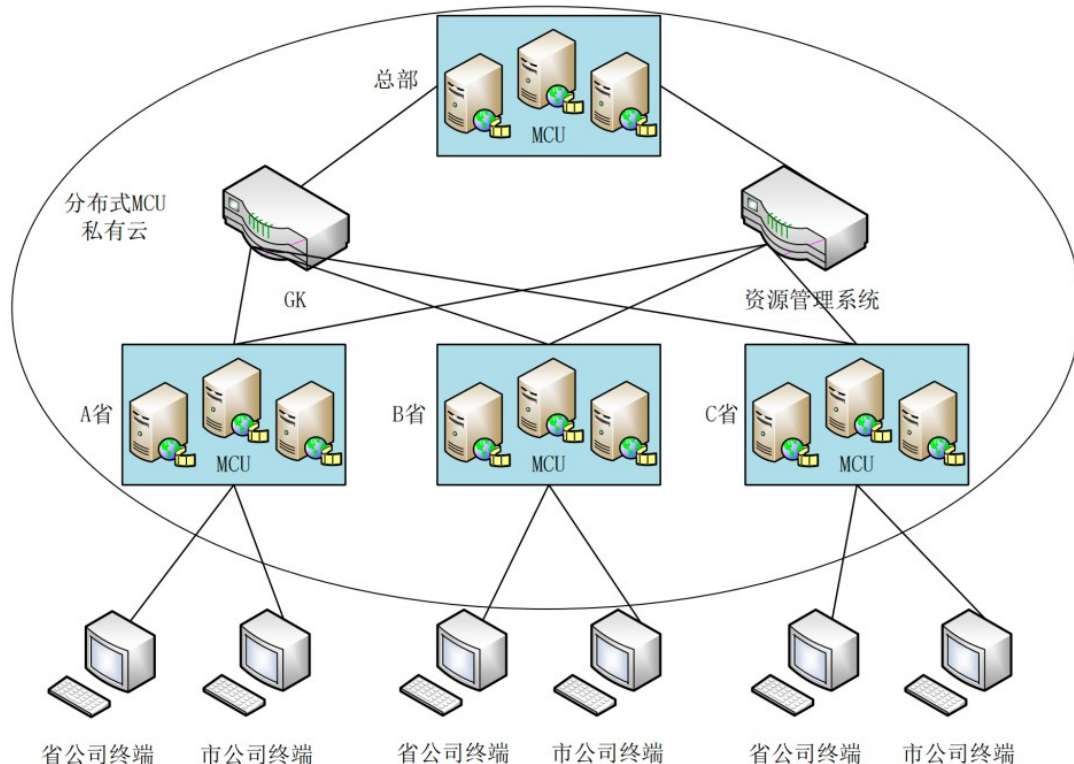


Fig. 4 MCU resource pool architecture of conference system

图4 会议系统MCU资源池架构

与MCU之间的就近通信。图5是三角启发式求解两点间距离示意图。其中,节点 $P_s$ 和 $P_t$ 之间的距离 $d_{st}$ 可预测为如式(4)所示。

$$d_{st} = \frac{1}{2} \left( \max(|d_{1s} - d_{1t}|, |d_{2s} - d_{2t}|) + \min(|d_{1s} + d_{1t}|, |d_{2s} + d_{2t}|) \right) \quad (4)$$

此外,王婷等<sup>[20]</sup>提出一种可扩展且测量开销较少的网络距离预测算法,对网络节点的距离预测问题进行优化。该算法与传统的距离值估计方法不同,更侧重于在诸多节

点中选出距离终端最近的节点。它运用网络延迟和网络距离成正比的特性,降低了存储开销和通信开销。

在大型的视频通信过程中,由于用户基数大且位置分散,需要大量MCU设备从中协助会议的开启,而多MCU之间通信的编解码、转码流等在一定程度上会增加数据在网络传输中的负担,即增加数据丢包率,从而影响音视频质量。为解决此问题,传统的方案是MCU资源的预留,即尽量将参加同一个会议的终端分配到一个或者尽可能少的MCU上。具体操作方法是在会议申请时,为每一个客户预留MCU资源。这样减少了MCU的级联,并具有较小的音视频转发时延,但是它忽略了服务节点运行时的负载情况。系统长时间运行后,节点的负载情况未及时更新,将导致负载不均衡,不利于系统长期稳定地提供服务。文献[21]另辟蹊径,提出一种新颖实用的宽带IP网络中基于分布式多点控制单元(MCU)的多点通信带宽分配算法,为MCU分配合适的带宽,减少丢包等现象产生。该算法不仅保证每个媒体流的最小带宽,而且提供与节点的优先级或权重相对应的差异化服务。此外,它还允许用户在各种QoS要求和资源约束下独立控制每个视频流的带宽。

### 2.3 基于个性化的MCU资源调度

针对个性化的MCU资源调度,杨继伟<sup>[22]</sup>基于角色模式建立资源模型,并根据资源量等因素,利用二分查找IP归属信息算法、图的广度遍历算法、排序算法等技术,实现了节点、角色和MCU设备的动态调度。该方法利用角色资源池将MCU资源池划分3层,实现对MCU设备调度的个性化配

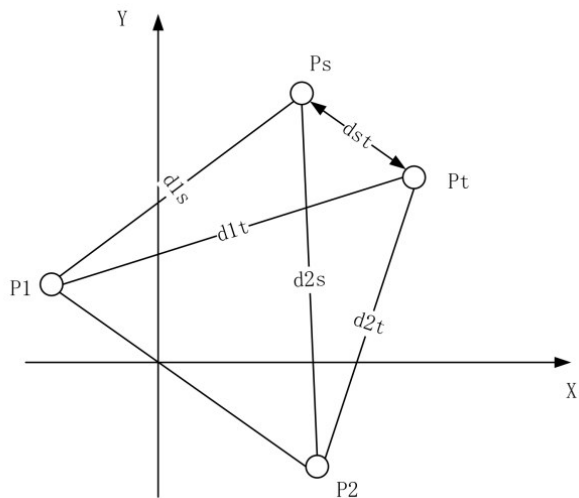


Fig. 5 Schematic diagram of solving the distance between two points with triangle heuristic

图5 三角启发式求解两点间距离示意图

置。例如,将某企业员工的请求固定发送到公司专属的MCU设备上,有利于该会议相关数据的隐私保护。具体资源模型如图6所示。该方法实现了MCU资源的动态调度,解决了MCU资源调度不准确的问题,保证了视频通信的稳

定性。但由于按照距离和资源量进行节点调度,可能会将参加同一个MCU的用户终端与较多的MCU进行连接,导致MCU的利用率降低。并且,当MCU设备的资源利用较多时,每个MCU设备存在一定的资源碎片不能被利用。

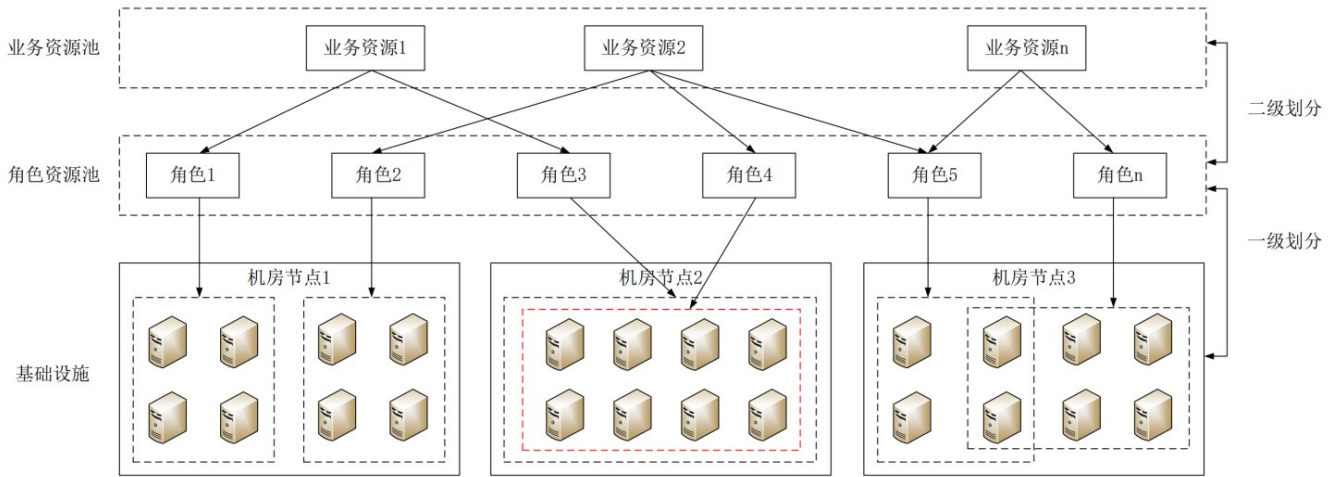


Fig. 6 Resource model

图6 资源模型

文献[23]将会议的优先级考虑在内,为重要的会议保留专用资源。文献[24]则构建MCU资源分配策略表,按照会议级别设置资源分配策略。肖敏等<sup>[25]</sup>对获取的各与会会场的预定信息和各会场s的历史网络状态信息(丢包率、带宽、网络时延)进行统计分析处理,生成会议预定参考列表,使用户可根据自己的会议时间、地点在会议预定参考列表中个性化选择最优的会议开会方案。此方案避免了由于网络状态不佳造成会议无法召开的情况,提高了工作效率。

### 2.4 MCU资源调度方法比较

目前,MCU资源调度的研究侧重点主要包括基于系统

稳定的MCU资源调度、基于视频质量的MCU资源调度和基于个性化的MCU资源调度。由于调度侧重点不同,MCU目标的实现存在一定差异性。MCU资源调度方法从经典的静态、动态负载均衡方法,如轮询算法、最小连接算法等发展成启发式智能调度算法。MCU资源架构、模型改良与优化也推动了MCU资源调度方法的进步。

本文将现有MCU资源调度方法进行对比,不同文献按照优化目标、负载均衡、就近通信、少级联现象、执行效率等维度进行了标示,以“+”标示则代表该方法对此维度提出了解决方案,同时给出了不同调度方法的特点描述,如表1所示。

Table 1 Comparison of MCU resource scheduling methods

表1 MCU资源调度方法比较

文献	优化目标	负载均衡	就近通信	少级联现象	执行效率	调度方法
文献[9]	系统稳定	+				提出疲劳度,优化加权轮询算法
文献[10]	系统稳定	+			+	提出节点负载比率,优化加权最小轮询算法
文献[11]	系统稳定	+		+	+	利用Agent协作性实时获取MCU数据信息,依据组优先、最少级联、轻负载的平衡方式
文献[12]	系统稳定	+			+	借鉴粗糙集理论思想,将节点的各项指标简单化,提出RSDSC方法
文献[13]	系统稳定	+		+	+	优化遗传算法,实现资源自适应调度分配
文献[14,17-18]	视频质量	+	+		+	设计MCU资源池架构,优先调度本地MCU,其次考虑备份MCU
文献[19]	视频质量		+		+	基于三角启发式原理,利用局部已知点距离预测未知点距离,从而就近调度资源
文献[20]	视频质量		+		+	利用网络延迟与距离成正比的特性,选出终端最近的MCU资源
文献[21]	视频质量	+			+	提出一种带宽IP网络中基于分布式MCU的多点通信带宽分配算法,收集网络状态数据,预测带宽分配结果,选择最佳调度策略
文献[22]	个性化	+	+	+	+	基于角色模式建立资源模型,实现MCU设备的个性化调度,保护数据隐私
文献[24]	个性化	+	+	+	+	构建MCU资源分配策略表,按照会议级别设置资源分配策略
文献[25]	个性化	+	+	+	+	依据历史网络状态,生成会议列表,用户自选会议时间

### 3 总结与展望

#### 3.1 总结

本文重点研究了近年来用于视频通信的MCU资源调度技术、算法和模型,比较了各类调度方法的优势与不足。视频通信的MCU资源调度是一个比较热门的研究和应用问题,近年来发展出了多种多样的调度方式,并取得了一定成效,主要包括如下两个方面:①MCU差异化调度。各MCU设备本身性能具有差异性,故每台设备与用户终端通信能力不同。目前,诸多基于性能的MCU资源调度算法都将此因素考虑在内,依据一定的权重对MCU设备进行差异化调度管理。②关注数据隐私。在视频通信中,服务商提供平台,用户按需购买虚拟会议室,MCU资源为所有用户共享资源,存在数据隐私泄露风险。可通过改进资源模式,将参与同一会议的用户与固定的MCU设备通信,以保护会议相关数据隐私性。

同时,视频通信的特殊性使得现有的MCU资源调度方法面临严峻考验,并在实际应用中存在如下问题:①缺少对MCU资源的动态评估。当前,视频通信中尚无比较成熟的资源评估系统,资源的调度多根据比值权重,缺乏直接依据。在视频通信中,工作的动态性导致各MCU可用能力存在较大变化,而MCU的调度需要MCU设备资源的可用能力信息集,故准确获取MCU的实时能力对于调度具有至关重要的作用。②不能很好地兼顾视频通信运营商和用户的双方利益。现有研究多是从用户服务费用、数据隐私角度出发,或者从运营商角度降低资源浪费,提高服务性能。当前,视频通信需要考虑如何促进资源供给方和消费方的互惠互利,这样才能保证视频通信长久稳定发展。

#### 3.2 展望

随着云技术、大数据技术的广泛应用,视频通信系统的使用范围也越来越广,而各种新的会议需求也将层出不穷,对于视频通信的资源调度问题将是一个长期的研究方向。为了适配视频通信的更新与发展,MCU资源调度仍需进行深入研究,而目前的挑战也为其指明了方向。

(1)视频通信中需要建立有效的动态评估模型为资源调度提供实时能力信息。动态评估模型可有效地评估各种调度策略的性能。

(2)通过MCU设备云服务化,实现MCU资源池共享资源的动态管理分配。目前,大多数视频通信厂商的视频通信分配和管理是静态的,即在建立时各地区预先配置一定量的MCU设备,容易造成资源分配不合理的情况。因此,根据实时会议召开和资源堵塞情况动态地调整相关地区的资源配比,可达到提高资源利用率和服务质量并降低成本的目标。

(3)需考虑用户和运营商双方的利益,这是视频通信

持续发展的必要条件。

综上所述,实现MCU设备云服务化,兼顾视频通信双方(用户和厂商)的利益,通过动态评估系统对调度策略进行验证,视频通信的MCU资源调度将更加高效,也更加有利于视频通信性能提升及长久稳定发展。

#### 参考文献:

- [1] JIN H. Research and implementation of keys technologies of video conference cloud platform[J]. Smart City, 2017, 3(6): 195.  
金辉. 视频会议云平台的关键技术研究及实现[J]. 智能城市, 2017, 3(6): 195.
- [2] ALONSO Á, AGUADO I, SALVACHÚA J, et al. A methodology for designing and evaluating cloud scheduling strategies in distributed videoconferencing systems[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2017, 19(10): 2282-2292.
- [3] FENG R T, YANG B B, TIAN Y P. Research on the application of MCU resource dynamic allocation strategy in video conference management system[J]. Information and Computer (Theoretical Edition), 2019, 31(23): 136-137, 140.  
冯锐涛,杨彬彬,田应萍. MCU资源动态调配策略在视频会议管理系统中的应用研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2019, 31(23): 136-137, 140.
- [4] LIAO Z W, ZHANG L. A dynamic timeslot-based multicast bandwidth advance reservation algorithm for enterprise video conferencing systems[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 78-86.  
廖志文,张凌. 企业级视频会议动态时间槽多播带宽提前预留算法[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 78-86.
- [5] LIAO Z, ZHANG L. Scheduling dynamic multicast requests in advance reservation environment for enterprise video conferencing systems[J]. IEEE Access, 2020, 8: 76913-76928.
- [6] GAO F. Discussion on key technology and application of video conference system[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(17): 103-104.  
高飞. 视频会议系统关键技术及应用研讨[J]. 中国新通信, 2020, 22(17): 103-104.
- [7] GENG S S, ZHANG Z F, WANG W L. Comparative study of cloud computing resource scheduling algorithms[J]. Journal of Hebei Academy of Sciences, 2018, 35(4): 12-17.  
耿珊珊,张占峰,王文礼. 云计算资源调度算法比较研究[J]. 河北省科学院学报, 2018, 35(4): 12-17.
- [8] ZUO L Y, CAO Z B. A survey of scheduling problems in cloud computing[J]. Computer Application Research, 2012, 29(11): 4023-4027.  
左利云,曹志波. 云计算中调度问题研究综述[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(11): 4023-4027.
- [9] FAN H, ZHU L, WANG Y N. Load balancing in video conference based on H. 323[J]. Computer Technology and Development, 2006, 16(4): 122-124.  
樊华,朱莉,王媛妮. 在基于H. 323的视频会议中实现负载均衡[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(4): 122-124.
- [10] ZHANG H F. Research on server load balancing algorithm based on dynamic feedback and weighted minimum connections[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2013.  
张慧芳. 基于动态反馈的加权最小连接数服务器负载均衡算法研究[D]. 上海:华东理工大学, 2013.
- [11] QIU H, NIE M J. Load balancing method of MCU based on Agent[J]. Computer Engineering, 2010, 36(6): 224-226.

- 邱华, 聂明军. 基于Agent的MCU负载均衡方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(6): 224-226.
- [12] CHEN S F. Research and implementation of some key technologies of video conference cloud platform[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016. 陈善富. 视频会议云平台若干关键技术研究及实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [13] LI M L, HE Y, HU W, et al. Optimal design of networking and scheduling of conference TV MCU resource pool[C]//Smart Grid Informationize Construction Seminar, 2018: 163-165. 李梦琳, 贺易, 胡威, 等. 会议电视MCU资源池组网及调度优化设计[C]//智能电网信息化建设研讨会, 2018: 163-165.
- [14] FENG F F, WANG W. Research on power video communication system based on private cloud MCU resource pool[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2015, 13(1): 103-107. 冯斐斐, 王渭. 基于私有云MCU资源池的电力视频通信系统研究[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(1): 103-107.
- [15] GAO J J, XU X Q, CHU X F, et al. Application scheme of MCU resource pool in large scale video communication system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2015, 13(6): 97-100. 高金京, 徐小青, 褚学锋, 等. 大规模视频会议系统MCU资源池应用方案[J]. 电力信息与通信技术, 2015, 13(6): 97-100.
- [16] FENG F, WANG W. Video conferencing system using private cloud computing technology[C]//International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks(CICN), 2015: 960-963.
- [17] XU X Z, LI G C, WANG Q M, et al. Optimization of conference TV MCU resource pool backup strategy of State Grid Corporation of China[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2016, 15(2): 33-36. 徐新智, 李国春, 王乔木, 等. 国家电网公司会议电视MCU资源池备份策略优化方法[J]. 电力信息与通信技术, 2016, 15(2): 33-36.
- [18] XU X, LI G, WANG Q, et al. A quasi-dynamic video conference resource backup strategy based on cloud[C]//International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), 2016: 368-371.
- [19] ZHANG H T. Research on architecture and MCU scheduling algorithm of video conference system based on cloud platform[D]. Nanchang: Nanchang University, 2017. 章慧滔. 基于云平台的视频会议系统的架构及MCU调度算法的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- [20] WANG T, XU K, WANG N, et al. Scalable server optimization strategy in cloud computing environment[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014, 37(S1): 83-86. 王婷, 许可, 王娜, 等. 云计算环境下可扩展的服务器优化选择策略[J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(S1): 83-86.
- [21] ZHENG Q. A differentiated service supported bandwidth allocation algorithm for multiple points communications[C]//Nanjing: The 10th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, 2006.
- [22] YANG J W. Design and implementation of resource scheduling system for video cloud source station[J]. Software, 2018, 39(5): 170-181. 杨继伟. 视频云源站的资源调度系统设计与实现[J]. 软件, 2018, 39(5): 170-181.
- [23] WU Y M, PENG F. Method and apparatus for scheduling video conference resources[P]. China, 200910258175. 2010-5-19. 吴永明, 彭峰. 视频会议资源调度的方法和装置[P]. 中国, 200910258175. 2010-05-19.
- [24] CHEN F, XIA T F, YANG D S, et al. A method of MCU resource scheduling based on video conference[P]. China, 105049220A. 2015-11-11. 陈峰, 夏同飞, 杨栋枢, 等. 一种基于电视视频会议的MCU资源调度方法[P]. 中国, 105049220A. 2015-11-11.
- [25] XIAO M, LI K, CHEN X Y, et al. A scheduling method and device for video conference[P]. China, 103905778A. 2014-07-02. 肖敏, 李凯, 陈显义, 等. 一种视频会议的调度方法及装置[P]. 中国, 103905778A. 2014-07-02.

(责任编辑: 孙娟)