

基于边缘协同计算的超声云检测系统设计

刘 敏

李 鹏

(唐县中医医院超声科 保定 071000)

(河北大学附属医院超声科 保定 071000)

〔摘要〕 设计基于边缘协同计算的超声云检测系统,介绍系统整体架构、关键技术和实验结果,指出该系统可合理利用带宽资源均衡负载,有效降低云计算传输和处理时延,提高用户满意度。

〔关键词〕 远程诊断;超声云;资源均衡;边缘协同

〔中图分类号〕 R-056 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2019.07.009

Design of Ultrasound Cloud Detection System Based on Edge Cooperative Computing LIU Min, Department of Ultrasound, Tangxian Hospital of Traditional Chinese Medicine, Baoding 071000, China; LI Peng, Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Hebei University, Baoding 071000, China

〔Abstract〕 The paper designs ultrasound cloud detection system based on edge cooperation computing, introduces the overall architecture, key technologies and experimental results of the system, indicates that the system can rationally use broadband resources to balance resource load and effectively reduce the delay of transmission and processing of cloud computing to improve users' operation.

〔Keywords〕 remote diagnosis; ultrasound cloud; resource balance; edge cooperation

1 引言

超声影像是现代临床诊断中不可缺少的手段之一^[1]。传统的超声医疗,医务人员使用超声诊断设备对患者进行检查,所有检查记录与分析结果存储在本地仪器上,检查完成后打印检查报告给患者^[2]。而医疗系统的超声数据并没有得到合理利用,如何对超声资料进行有效管理,方便查阅、分析,国内外学者进行大量的研究^[3]。

随着医疗单位信息化建设的逐步完成,区域机构已经建立起数据中心,用以存储和分析医疗数据。然而自建的数据中心增加企业的维护负担,为

降低系统的维修开销,提升系统的稳定性^[4],基于云计算的超声诊断系统应运而生。云计算是一种采用互联网实现随时随地、按需、便捷地使用共享计算设施、存储设备、应用程序等资源的计算模式。云计算的出现降低用户的建设维护成本,通过集中计算与存储增加数据的安全与可靠性。非结构化数据爆炸性增长,且软硬件资源需求不易量化,使得云平台实时性不强,中心节点处理负担较重,数据冗余^[5]。因此,针对云计算平台超声诊断系统存在传输时延、信号处理开销加大和存储成本增高等缺陷,国内外科科研人员提出大量的解决措施。胡超等在云平台的基础上提出分时开销弹性架构,可以自适应地对中心节点的数据进行优化与调度,建立区域医疗信息平台,实现区域医疗信息、资源、服务共享协同^[6]。云计算安全需求使信息安全技术面临更严峻的挑战,云平台自身的可信性是保证云计算安全的基础。何欣枫等^[7]提出可信云计算技术,

〔收稿日期〕 2019-03-04

〔作者简介〕 刘敏,副主任医师,发表论文 10 篇;通讯作者:李鹏,副主任医师。

用以提高用户对云平台的信任度，促进云计算技术向更深层次领域发展、全面普及和应用。但基于云计算的改进方案只是缓减云中心节点的压力，没能从根本上解决云计算所面临的问题。

在超声云建设方面，由于本地设备的处理能力低下，一般将超声影像通过网络上传到云服务器，实现集中式处理。然而云计算处理并不总是那么高效，集中式的云处理方式会增加网络负载，造成网络拥塞，从而产生一定的数据处理时延。完全依赖云计算的计算机系统对数据流的处理必须经过中心决策与调度，很容易出现宕机问题^[8]。因此 IBM 提出边缘计算，通过分层分布式计算去协调中心节点的压力，缓解网络通讯的压力。即使中心节点出现问题，也能通过分布式节点的自主决策，实现系统的稳定性与安全性^[9]。基于此本文提出一种基于边缘计算的超声云诊断系统方案，将云服务器的部分计算任务下放到网络边缘端的计算节点，允许各个边缘服务器依据请求结合本地视频数据进行处理，然后返回相关计算结果给云中心，这样既可降低网络流量，减少能耗，也可在一定程度上保护用户的隐私。

2 系统设计

2.1 整体架构

从资源优化存储、处理和传输的角度出发，设计一种面向边缘计算的超声影像资源的处理系统设计方法，以提升医疗资源处理系统中的物联网边缘设备服务质量。随着分布式医疗设备生成的类型化医疗资源海量出现，用户要求资源的高效存储和处理，使得目前有限的带宽下资源的传输面临巨大的挑战。传统的方式不考虑资源类型转换，传输信道的优化受到限制。为解决这一问题，提出基于分层协同的网络设计架构，将数据、信息、知识 3 层资源分层优化，合理化利用带宽资源以均衡资源负载。通过用户投入和对应的效益比决定最终的资源方案，以使系统保持相对稳定的状态。对于资源的处理，基于对现有知识图谱概念的拓展提出一种 3 层可自动抽象调整的解决架构，包括：数据图谱、信息图谱和知识图谱等 3 个层面。在这个架构上进行资源的转换、存储、分析和处理，见图 1。

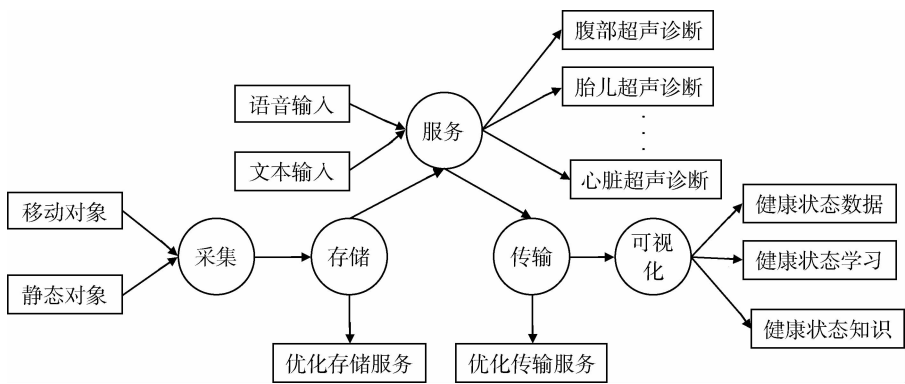


图 1 边缘计算体系架构

2.2 数据图谱

面向边缘计算的类型化医疗资源处理系统的一个节点子系统结构。对数据、信息和知识等形态的资源以及对应图谱层次的介绍，见表 1。以此可以将不同网络的分布式资源进行存储、处理和传输代价的描述。数据图谱是各种数据结构包括数组、链表、栈、队列、树和图等集合，只能对图谱上表示的数据图

谱进行静态分析，无法分析和预测数据图谱的动态变化。信息图谱则是相互关联的数据图谱的组合，是通过不同数据组合之后的上下文传达，再经过概念映射和相关关系组合之后的适合分析和解释的信息。同时，在信息处理模块上进行数据清洗，消除冗余数据，最终实现知识图谱的构建，增强超影像的知识描述。这些数据在分布式节点上逐级汇总到中心节点，可降低云计算的中心复杂度。

表 1 边缘架构各分层资源类型的解释

相关概念	数据网	信息网	知识网
语义负载	没有有指定利益相关者/机器定利益	指定利益相关者/机器定利益	对已知信息进行抽象
形式	元素的概念集合	数据的概念映射和相关关系红组合	对信息的进一步分类与抽象
用法	统计与传输	交互	推理与预测
子图	数据图谱	信息图谱	知识图谱
子图表达形式	数组、链表、栈、树、图	关系数据库	语义网络

3 协调调度

3.1 分层分布式调度方法

在基于边缘计算的视频处理框架中，对任务进行调度直接影响执行优先级和处理时延。现有技术中仍没有办法解决任务分析和调度的核心问题，数据的传输依然需要较长时间的网络延迟，消耗较多的资源，也无法解决在多个边缘服务器间进行调度的实际问题。上一节提出的基于边缘计算超声影像资源处理系统设计，从优化物联网边缘设备的资源优化存储、处理和传输等角度出发，解决边缘计算环境下海量类型化医疗资源在有限带宽条件下的传输优化问题。关键在于转化医疗资源的类型，同时建立带宽资源利用限制模型，以均衡网络负载。

为克服上述技术所述的传输时延和视频处理时延长等缺陷，提出一种基于边缘计算的分层分布式调度方法，能够有效提高视频任务的调度速率，降低超声数据共享与处理任务时延，提高边缘服务器的资源利用率。具体调度过程为用户端产生超声影像数据任务，然后对超声序列帧数进行压缩，向控制器发送资源情况咨询请求；控制器接收用户端请求，向每一个能连接上的边缘服务器获取边缘服务器资源信息；控制端更新边缘服务器列表，保留可连接的边缘服务器序号，删除不可通信的边缘服务器序号；控制器计算视频任务在边缘服务器剩余资源范围内最低负载时的资源数值；控制器确定当前任务处理总时延最短的边缘服务器序号，然后把相应序号的边缘服务器信息发送到用户端；用户端把视频任务发送到对应的边缘服务器进行处理，边缘服务器处理完成后将数据上传到云服务器进行存储、统计和分析。

3.2 解决方案

以上分层分布式方案中，用户端通过超声仪器获取超声影像时，对视频数据进行压缩，减少上传的数据量；控制器根据用户端发出的视频任务信息，计算视频任务在边缘服务器剩余资源范围内能分配的最低的空闲 CPU 和剩余内存资源数值，进一步计算并确定当前视频任务在各个边缘服务器剩余资源范围内最低负载时完成处理的最短总时延的边缘服务器，把超声知识数据发送到该边缘服务器进行处理，相应边缘服务器把处理完成后的数据上传到云服务器进行存储、统计和分析。

4 实验结果与分析

4.1 实验配置

为对本文提出的架构模型进行验证，首先部署系统节点群，在节点上部署底层传感器采集类型化的医疗资源（数据、信息和知识等形式存在的医疗资源）。系统的资源采集部分是可进行大量计算的类型化医疗资源采集终端群，本文提供的一个节点子系统上部署腹部超声传感器、心脏超声传感器和胎儿超声传感器。针对类型化的医疗资源，搭建服务器，本地或云端可视化展示健康状态数据、信息和知识。系统由部署的物联网节点群组成，每一个节点是用于处理类型化医疗资源的物联网边缘设备，其中一个节点子系统的终端结构是由不同类型的超声传感器、处理器和传输设备组成。静态对象由 WIFI 传输资源，动态对象由 SIM800 传输资源：便携式终端采用近场通信配合远程传输资源。资源存储、处理和传输方案采用本文提出的优化方案；节点设备的上位机分析软件进行软件配置和信号处理，见图 2。

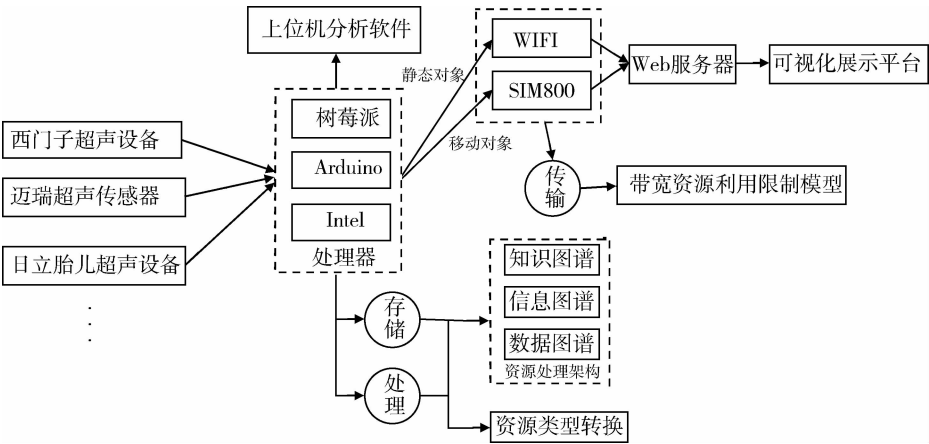


图2 基于边缘计算的分布式超声数据处理系统

4.2 参数指标

建立网络资源利用限制模型，并根据公式（1）和（2）计算带宽空闲率（IR）和带宽使用均衡度（BE）。

$$IR = \frac{B_{ij} - F_{ij} * l}{B_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n$$
 (1)

$$BE = E(IR^2) - (E(IR))^2$$
 (2)

其中 B_{ij} 表示从节点 i 到节点 j 的链路的带宽， F_{ij} 表示链路上的流量， l 表示平均分组长度。根据公式（3）和（4）计算在节点 i 上资源转发的等待时间（T）包括转发等待率（FR）和等待均衡度（WE）：

$$FR = \frac{N_{ij} * l}{H_i}, i = 1, 2, \dots, n$$
 (3)

$$WE = E(FR^2) - (E(FR))^2$$
 (4)

其中 N_i 表示第 i 个节点需转发的资源的平均分组个数， H_i 表示节点 i 的缓冲区长度。其计算网络资源限制利用的目标函数可以通过以下等式获取：

$$F = \alpha \times BE + \beta \times WE, \alpha + \beta = 1$$
 (5)

其中， α 与 β 分别表示带宽使用均衡度和等待均衡度的权重系数，一般设置为经验值，可通过大量的仿真测试得出。 F 的值越小，表示网络流量分布越均衡。

4.3 定性定量结果分析

对传统的云计算架构与边缘计算模型进行性能对比分析，见表2。可以看出本文提出的分层边缘

计算架构具有较均衡的性能，其带宽空闲率低于云架构，而宽带使用均衡度高于传统云计算模式。为便于定量定性分析，通过设置不同的用户端数据请求线程与传输速率，对负载均衡阈值合理设置，方便进行数据分析。结果可以看出，如果任务仲裁增加且设置较大负载均衡阈值，中心节点容易出现对任务的频繁调度；若网络负载均衡阈值设置过小，导致负载分布不均匀，容易引起网络拥塞。为定量分析负载均衡与仲裁模式的差异，测量不同负载均衡下的网络吞吐量。一旦大流程多峰任务出现，本文架构相比传统云计算具有最佳负载均衡状态，见图3。

表2 云架构与边缘架构的性能对比

架构	IR (%)	BE (KB/S)	FR (%)	WE (KB/S)
云架构	37	14	65	116
边缘架构	12	25	42	61

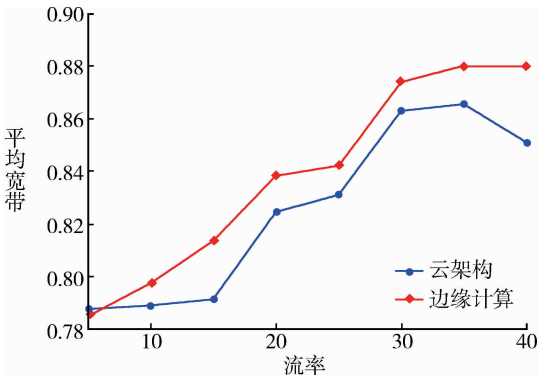


图3 平均带宽利用率对比

由于传统云计算模式的中心节点负担较重,容易出现网络局部拥塞,从而导致负载不均衡的增大,降低网络的平均带宽利用率;边缘计算对超声数据流采取协同调度策略使网络能自适应地使用不同任务量的调度,降低局部拥塞;本文所提算法在重负载之后,对拥塞链路采取调度协同调度与分层分布式处理,从而避免网络发生局部拥塞。可以看出分层边缘计算降低云计算中心节点任务量,减少超声视频任务的传输时延和处理时延;通过对边缘服务器资源和视频任务属性感知判断,协调边缘服务器的资源和处理时延之间的关系,有效地提高边缘服务器的资源利用率,降低用户的等待时延,可提供更加迅速的服务,有效提高用户体验度。

5 结语

针对云计算平台超声诊断系统存在传输时延、信号处理开销和存储成本等缺陷,本文提出一种基于边缘协同计算的超声云诊断系统设计方法,主要包括边缘计算平台、协同调度平台、局域网传输终端以及若干超声诊断设备,其中超声诊断设备可与边缘计算平台的通讯连接。借助边缘协同平台强大的处理计算能力与流媒体处理能力,可以获得更加精准的诊断精度与强大的数据管理功能,降低诊断设备综合成本,有望改变医疗设备企业向医院销售超声将有助于设备的营利模式。该架构模式将有助于实现包括超声诊断在内的远程影像诊断,可降低云计算的带宽空闲率与维护成本。

参考文献

- 1 Yang M Q, Athey B D, Arabnia H R, et al. High-throughput Next-generation Sequencing Technologies Foster

- New Cutting-edge Computing Techniques in Bioinformatics [J]. BMC Genomics, 2009, 10 Suppl 1 (Suppl 1): 11.
- 2 陈屹一, 裘云庆, 周敏, 等. 基于移动云的急救医疗信息协同平台设计 [J]. 中国医院管理, 2014, 34 (7): 52-54.
- 3 徐婷, 鲍勇. 基于云计算远程平台的社区健康管理服务运行新模式的思路与建议 [J]. 中国全科医学, 2014, 17 (1): 81-83, 90.
- 4 Klonoff, David C. Fog Computing and Edge Computing Architectures for Processing Data From Diabetes Devices Connected to the Medical Internet of Things [J]. Journal of Diabetes Science and Technology, 2017, 11 (4): 647-652.
- 5 Mohanty H, Bhattacharjee G P. A Distributed Algorithm for Edge-disjoint Path Problem [C]. New York: Proc of the Sixth Conference on Foundations of Software Technology & Theoretical Computer Science, 1986.
- 6 胡超, 刘娇艳, 罗爱静. 区域医疗信息平台 [J]. 计算机系统应用, 2014, 23 (10): 63-68.
- 7 邹丽萍, 查佳凌, 吴韬, 等. 基于云计算的区域医疗信息服务体系构建 [J]. 中国医院管理, 2014, 34 (5): 51-53.
- 8 Devine, Lin, Geng. Network Architectures For Cloud Computing [M]. Berlin: Springer, 2015.
- 9 Shi W, Fellow, IEEE, et al. Edge Computing: vision and challenges [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3 (5): 637-646.
- 10 Shi W, Dustdar S. The Promise of Edge Computing [J]. Computer, 2016, 49 (5): 78-81.
- 11 Satyanarayanan, Mahadev. The Emergence of Edge Computing [J]. Computer, 2017, 50 (1): 30-39.
- 12 Mach P, Becvar Z. Mobile Edge Computing: a survey on architecture and computation offloading [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19 (3): 1628-1656.