

移动环境下基于物联网层、雾层及云层的医疗健康服务体系研究*

邢丹 姚俊明

张红伟

(济宁医学院医学信息工程学院 日照 276826)

(济宁医学院图书馆 济宁 272067)

[摘要] 阐述医疗健康服务体系物联网端、雾端、云端相关研究现状,提出具有物联网层、雾层、云层的医疗健康服务体系架构,详细介绍每层使用的组件,总结该体系在医疗健康行业应用场景和功能。

[关键词] 移动云;雾计算;物联网;医疗健康;架构;应用

[中图分类号] R-056 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.3969/j.issn.1673-6036.2019.02.003

Study on Healthcare Service System Based on Internet of Things Layer, Fog Layer and Cloud Layer in the Mobile Context

XING Dan, YAO Junming, School of Medical Information Engineering of Jining Medical University, Rizhao 276826, China; ZHANG Hongwei, Library of Jining Medical University, Jining 272067, China

[Abstract] The paper elaborates on the current status of the relevant study on healthcare service system from Internet of Things (IoT) layer, fog layer and cloud layer. It puts forward the healthcare service system architecture with three levels of IoT, fog and cloud, introduces the components used in each level in detail, summarizes the application scenario and function of such a system in healthcare industry.

[Keywords] mobile cloud; fog computing; Internet of Things (IoT); healthcare; architecture; application

1 引言

随着医疗健康智能可穿戴设备、移动手持设备、无线传感器及云技术的发展,针对慢性病和个

人健康情况等远程监测成为可能。由于手持设备存在内存、电池电量等资源受限的问题,以往通常将所有体域网和个域网产生的医疗健康数据均上传到云端,该计算模式具有可靠性、准时性、可用性差(缓慢或不可靠的互联网连接),传输延时高,服务质量无法得到保障等问题。为满足地理上实时延迟敏感应用的计算需求,需要在移动医疗健康物联网和云端设置进行数据处理和汇总等任务的中间层。而雾计算^[1]充分利用网络边缘节点的计算能力,一方面扩展移动端的计算,另一方面降低全部传输到云端网络带来的延时开销,缓解云端压力。雾计算在服务时效、功耗、网络流量、资本和运营费用、内容分发等方面性能更好。与单独使用云计算相比,雾计算更好地满足医疗健康物联网应用需求。

[收稿日期] 2018-09-06

[作者简介] 邢丹,讲师,发表论文 18 篇,参编论著 2 部。

[基金项目] 济宁医学院青年教师科研扶持基金“移动云环境下具有计算迁移的远程医疗架构研究”(项目编号:JY2017KJ057);济宁市哲学社会科学规划研究 2018 年度课题“大物移云时代济宁市医养结合养老模式研究”(项目编号:18JSGX011)。

本文提出在移动云环境下加入雾计算，针对健康医疗场景和服务类型提出一个分层的体系架构，详细分析物联网层、雾层、云层的功能和设计以及在医疗健康领域的应用场景。

2 研究现状

2.1 物联网端

针对医疗物联网的研究，Islam 等^[3]提出一种智能协同安全模型，讨论利用不同医疗健康环境中的大数据构建医疗健康物联网。Hossain 等^[4]提供健康物联网监控框架，能够监控、跟踪和存储用户心电图（ECG）数据，将 ECG 和其他医疗保健数据安全地发送到云，以便医疗专业人员访问。

2.2 雾端

在雾计算研究方面，Kraemer 等^[5]分析雾计算的概念、优点，归纳雾计算在健康医疗中的应用场景。Azimi 等^[6]通过分层计算架构解决集中式物联网系统存在的问题，构建基于物联网的健康监测系统。ZHANG Y 等^[7]提出一种以患者为中心的基于云和大数据分析技术的医疗保健应用的网络物理方法和服务系统。Rahmani 等^[8]通过在家庭或医院部署智能医疗系统，利用雾计算在传感器和基础设施网络之间构建中介层——智能电子健康网关，给出雾层的详细设计。何秀丽等^[9]针对云计算应用于医疗大数据场景时存在业务处理时延较高的问题，提出一种基于边缘计算的新型云/雾混合网络架构。Petrakis 等^[10]工作重点是从分布式物联网设备收集数据并存储到远程存储云。Fazio 等^[11]设计一种电子健康远程患者监护系统，目标是协助患者并优化分配医疗专业人员的任务。Gia 等^[12]提出基于雾的健康监测系统，可提供费用低廉的远程监控心脏病患者服务。Ahmad 等^[13]提出基于雾的医疗保健框架。Chakraborty 等^[14]讨论基于雾的计算平台，其可以处理对延迟敏感的健康数据。Dubey 等^[15]讨论通过雾计算对物联网设备采取面向服务的体系结构，用于验证和评估感知的原始健康数据。Negash 等^[16]侧重于智能电子医疗雾计算的网关，以协助支

持物联网的医疗服务。Muhammad 等^[17]利用医院中的路由器或交换机等边缘设备，在云服务器与医疗检测设备之间构建雾计算层。

2.3 云端

现有的针对医疗健康服务体系主要有云端、物联网端及雾端 3 方面的研究。医疗健康行业已探索将云计算作为基础设施构建物联网解决方案。Chung 等^[2]针对移动云环境的移动终端和云服务器间无线通信环境特点，使用基于集群的分布式系统构建云平台环境，设计移动云服务和云控制软件，此项工作的重点在云端。

2.4 本文研究目标

如上所述，尽管雾计算在医疗健康领域的研究很多，但仍处于早期阶段，有些只是在部分系统内采用。很多文献仅是讨论基础架构，案例局限在某一场景下孤立的使用，大部分应用只包含一个部署方案，缺乏在医疗健康领域内统一的服务架构体系。本文围绕医疗健康行业内的物联网、雾计算和云平台从整体进行研究。正如 Farahani 等^[18]综述物联网在医疗保健中的适用性，通过物联网电子健康生态系统的整体架构实现医学研究的可能。目前由于医疗服务不足和效率低下，人口老龄化的问题日益严重，亟需从传统的以医院治疗为中心转向以患者为中心的智慧医疗。本研究的目标是在移动云环境下构建基于雾计算的物联网医疗健康领域系统架构，设计具有物联网层、雾层及云层的医疗物联网分层体系，探讨在医疗健康行业应用场景。

3 基于物联网层、雾层、云层的医疗健康服务体系设计（图 1）

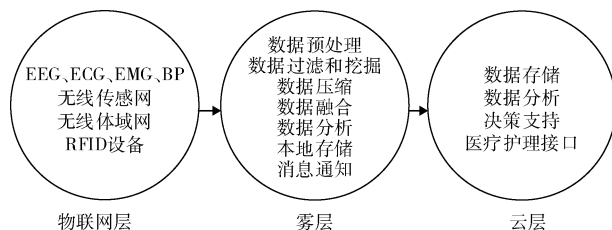


图 1 医疗健康服务体系

3.1 物联网层

物联网及微型可穿戴生物传感器的快速发展使个性化医疗健康服务成为可能。智慧医疗通过物理网络或可穿戴传感器传感层系统收集不同类型数据。手持或身体连接设备,如脉搏血氧仪、心电监护仪、智能手表等健康设备,通过传感器收集患者健康数据(如心跳、血压和血糖),将数据发送至智能手机,监测患者健康情况。这些设备可以与其他用户设备通过蓝牙、ZigBee 和红外连接并传输。物联网通常可以划分为 4 层。第 1 层是传感层,与所有不同的集成硬件类型连接并收集患者健康情况数据。第 2 层是网络层,提供有线和无线网络的连接和数据传输。第 3 层是服务层,创建和管理用户要求的服务。顶层是界面层,为用户和其他人提供应用程序进行交互。此外由于物联网设备缺乏网络和处理能力,在医疗健康领域的很多场合均使用智能手机,智能手机提供应用程序接口并将生成的数据发送到云数据中心。为接收感知的设备数据,智能手机与物联网保持持久通讯。智能手机的数据接收频率可以通过应用程序进行调整。在智能手机上的嵌入式传感器,如加速度计、全球定位系统(Global Position System, GPS)等,能够感知上下文数据。

3.2 雾层

3.2.1 概述 雾计算环境由专门的网络组成,名为雾节点设备,用于执行各种计算任务网络边缘。雾节点设备由路由器、交换机、机顶盒、代理服务器、基站等组成,可放置在物联网设备或传感器附近。这些组件提供各种计算、存储、网络等功能,支持应用程序的执行。因此网络组件使雾计算能够创建基于云的大型地理分布服务。雾计算层的主要功能有过滤、分析、缓存、处理、压缩、转发。雾节点是分布式排列的分层雾级别,可以配备处理核心、内存、存储和网络带宽。较低水平雾节点(智能手机、铸造设备、机顶盒、汽车媒体播放器等)非常靠近物联网设备,通常提供接口关联申请。因此对于特定的基于雾的医疗健康解决方案,较低级

别的雾节点可以称为应用网关节点。应用程序网关节点可以处理感知到的健康数据或转发到上层命名计算节点雾节点进行处理。在雾节点中,资源可以虚拟化以微计算实例的形式共享。在雾环境中,所有节点不是持久具有计算的能力,当数据负载减少时可以改变雾节点的计算单位,根据需求激活或关闭服务。因此雾环境可以适应位置感知、移动支持、实时交互的可扩展性、互操作性和节能。此外每个通信链路之间节点的安全功能可以应用于数据隐私和入侵防护,确保数据传输的可靠性。

3.2.2 网络节点构成 雾服务器是地理分布式的,部署在常见地方如汽车终点站、购物中心、公园等服务器,这些雾服务器是虚拟化的,配备存储、计算和网络设施。有许多系统将雾服务器视为雾计算的主要功能组件。在相关文献中雾服务器称为微服务器^[19]、微数据中心、纳米服务器等,而有些工作按照功能对雾服务器分类,如缓存、计算、存储服务器等,基于服务器的雾节点架构增强计算和存储容量。

3.2.3 网络设备 网关路由器、交换机、机顶盒等设备作为雾计算的潜在基础设施。现有工作中网络设备设计有一定的系统资源,包括数据处理器、可扩展的主存储器 and 辅助存储器、编程平台等。在其他工作中除传统的网络设备外,专用智能网关、物联网枢纽等网络设备已被引入雾节点。虽然设备的物理多样性对服务有重大影响,网络设备的分布式部署有助于雾计算和资源配置。微云(cloudlet)^[19]位于终端设备,将基于云的服务扩展到移动设备用户,在一些工作中 cloudlet 被称为雾节点。基站是移动和无线网络中非常重要的组成部分,可以进行无缝通信和数据信号处理。在最近的产品中传统的具有某些存储和计算能力的基站适合雾计算。如同传统基站,路边单元和小区接入点等也可以用作潜在的雾节点。此外在计算设施的网络边缘移动或停放车辆可以作为雾节点。作为雾节点的车辆可以形成分布式和高度可扩展的雾环境。

3.2.4 网络类型 为弥补医疗设备与云之间的差距,医疗健康案例通常采用 4 种网络类型的组合,即无线个域网(Wireless Personal Area Network,

WPAN), 无线体域网 (Wireless Body Area Network, WBAN), 局域网 (Local Area Network, LAN) 和广域网 (Wide Area Network, WAN)。一些传感器装置直接通过 WiFi 连接到无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN)。尤其是在移动部署方案, 设备是直接通过蜂窝连接到 WAN。另一种连接传感器的方法是 WPAN 技术, 使用蓝牙、IEEE 802.15.4 或 ZigBee 等。通常较 Wi-Fi 或蜂窝连接的范围更小, 但能量效率更高。WPAN 技术有局限性, 对于某些应用程序可能没有为生物医学信号提供必要的比特率, 如 EEG 或 ECG。此外电磁信号在某些姿势中身体阻挡传播或链路的质量降低, 或无法与体内设备进行通信。为解决 WPAN 问题, 扩展无线体域网的方法是随 IEEE 802.15.6 引入。

3.2.5 医疗保健中的设备类型 移动部署方案中移动电话充当 WPAN 网关, 通过蜂窝网络直接连接到 WAN。WBAN 网关 (如智能手表) 可用作中间节点, 环境传感设备的路径外节点在 WPAN 内连接。在家庭部署方案中, 无线路由器充当从 Wi-Fi 到 WAN 的网关, 传感设备通过通信 BAN 或 PAN 级别的网关, 可以是专业的装置, 如安装在皮带、其他衣服物品或手机上, 离线计算节点 (如跌倒检测设备) 位于 LAN 级, 在医院部署方案中可用本地数据中心, 在 LAN 和 PAN 级别还有其他离线计算节点可使用实验室或手术室中的定位设备和固定设备, 患者通过穿戴专用设备连接到专用网关, 实现将 WBAN 或 WPAN 连接到 LAN。在非医院部署方案中, 如医生或养老院, 可使用小型本地服务器实验室设备或环境感测设备充当偏离路径计算节点。患者佩戴与家庭情景中相同类型的非侵入式传感设备。运输部署方案中患者使用与医院方案中相同类型的专有传感设备, 连接到 WPAN 网络上的网关, 作为网络的桥梁车辆中的 WLAN 路由器。WLAN 路由器在传输过程中通过蜂窝网络的 WAN 连接^[5]。

3.3 云层

3.3.1 概述 云数据中心是支持物联网的医疗健康领域的首选平台。除大规模计算外其有助于存储、服务的可靠性和可扩展性。云端通常完成数据

存储、数据分析、决策支持及同用户交互的接口。通常云环境中由以下组件构成。

3.3.2 资源管理器 负责协调云资源数据。部署、管理和监控构成医疗健康领域的基础架构和服务。可以根据需求、负载和上下文安排终止和扩展资源。确保对资源更高级别的访问控制。此外定义资源之间的依赖关系, 以便可以在其中运行和执行正确的订单。

3.3.3 服务器 基于云的医疗保健系统主要使用两种类型: 应用程序和数据库服务器。在申请中服务器后端应用程序托管 Web 服务数据库服务器仅处理数据存储库和关联操作。在服务器中, 由资源设置的一组策略管理器用于分配带宽, 内存和存储到驻留实例。服务器应用策略包括关于处理核心类型的重要信息, 数据和它们之间的相互共享或复制实例。服务供应和负载平衡策略也是在服务器内观察。

3.3.4 虚拟机 服务器中的实例称为虚拟机器 (Virtual Machine, VM)。每个 VM 都可以访问硬件资源, 由主机服务器提供。VM 本身封装一些可访问内存, 处理器和存储大小的数据。在医疗健康方面, 相关应用和 Web 服务在 Application Server 的 VM 中运行。体积大的健康数据在数据库服务器的 VM 内分布式管理。在运行医疗健康数据时, 分配两者的实例类型同时进行通信, 运行 VM 的映像可以复制, 也可以在虚拟机之间迁移任务^[9]。

4 应用场景及功能

4.1 概述

系统可供移动用户、家庭、医院、紧急救护车和诊所使用, 见图 2。主要提供数据收集、活动监测、危险情况分析及环境管理的功能。

4.2 数据收集

监测来自传感器的信号, 暂存、分析数据并按照优先级进行分类, 转发紧急呼叫并汇总患者数据。

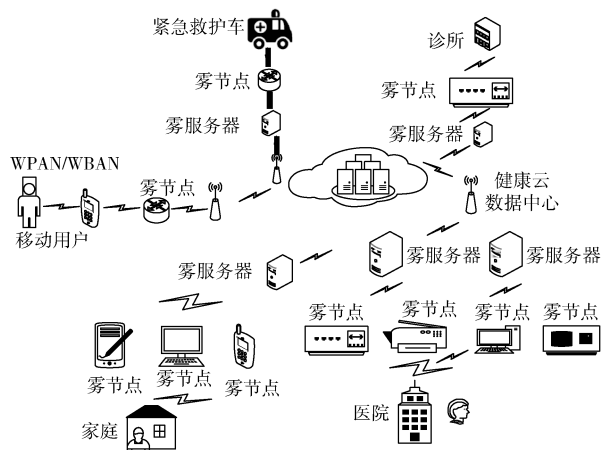


图 2 系统应用 5 大场景

4.3 活动监测

分析环境中的位置移动数据并转发到系统中；心电信号（ECG）数据压缩，为节约传输能量压缩加密数据，在接收端进行解密；语音分析，缓存音频文件并提取其局部特征进行分析。对原始数据进行处理并转发分析结果；患者状态监测，对视频和音频数据进行本地分析，确定患者是否感到疼痛，转发分析结果；分析语音数据，根据心电数据以监测心律失常心跳，压缩和转发相关数据；局部处理图像数据以评估伤口，监测皮肤癌以及心率。

4.4 危险情况分析

以跌倒为例，根据从云端接收的训练数据对跌倒的加速度数据进行局部分析，对误报进行过滤。ECG 监测，基于小波分析的心电数据特征提取，实时通知和丰富位置数据。分析 ECG 数据，本地分析 GPS 和活动数据，以压缩形式进行相关数据的转发。环境和患者传感器的实时分析，检测并警告用户火灾和气体泄漏。监测一系列患者行为，尤其是跌倒。捕获和编码各种类型的生物统计和环境传感器数据，对数据进行身份验证和加密并传输。危险情况控制，分析氧气水平和患者活动，以实时调整患者的适当氧合剂量，同时考虑位置和环境数据。监测和可视化当前起搏器参数，本地支持远程更新起搏器参数。

4.5 环境管理

分析位置、设备使用情况，获取当前活动和可用性状态的时间，改进规划和协作。对心率、加速度和高度进行局部分析，以对活动进行分类，如驾驶、休息或不同类型的步行。

5 结语

采取具有医疗健康物联网层、雾层和云层的完整体系架构，物联网层通过智能可穿戴传感器收集不同类型的数据，利用雾层的雾节点实现数据的过滤、分析、缓存、处理、压缩、转发等功能，最后对需要上传至云端的数据进行进一步处理。该体系架构能够适应医疗健康领域中的移动用户、家庭、医院、紧急救护车和诊所等场所的使用需求。区别于传统的将所有数据都上传至云端的架构，具有雾层的体系架构能够充分利用边缘节点的资源，减少网络传输的延时开销，降低云端负载。未来进一步的工作重点在该体系架构下的数据传输^[20]、延时感知^[21]、5G 网络^[22]、能耗处理^[23-25]方面的研究。

参考文献

- 1 Mahmud R, Kotagiri R, Buyya R. A Taxonomy, Survey and Future Directions [EB/OL]. [2018-08-17]. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5861-5_5.
- 2 Chung K, Park R C. Cloud Based U-healthcare Network with QoS Guarantee for Mobile Health Service [EB/OL]. [2018-08-11]. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1120-0>.
- 3 Riazul Islam S M, Kwak D, Humaun Kabir M, et al. The Internet of Things for Health Care: a comprehensive survey [J]. IEEE Access, 2015 (3): 678-708.
- 4 Hossain M S, Muhammad G. Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT)-enabled framework for health monitoring [J]. Computer Networks, 2016 (101): 192-202.
- 5 Kraemer F A, Braten A E, Tamkittikhun N, et al. Fog Computing in Healthcare - a review and discussion [J]. IEEE Access, 2017, 5 (99): 9206-9222.
- 6 Azimi I, Anzanpour A, Rahmani A M, et al. HiCH: hierarchical fog-assisted computing architecture for health-

- care IoT [J]. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 2017, 16 (5s): 1–20.
- 7 Zhang Y, Qiu M, Tsai C W, et al. Health – CPS: health-care cyber – physical system assisted by cloud and big data [J]. *IEEE Systems Journal*, 2017, 11 (1): 88–95.
- 8 Rahmani A M, Gia T N, Negash B, et al. Exploiting Smart e – Health Gateways at the Edge of Healthcare Internet – of – Things: a fog computing approach [EB/OL]. [2018 – 02 – 14]. <https://www.researchgate.net/publication/313471512>.
- 9 何秀丽, 任智源, 史晨华, 等. 面向医疗大数据的云雾网络及其分布式计算方案 [J]. *西安交通大学学报*, 2016, 50 (10): 71–77.
- 10 Tsiachri Renta P, Sotiriadis S, Petrakis E G M. Health-care Sensor Data Management on the Cloud [C]. Washington DC: Workshop on Adaptive Resource Management & Scheduling for Cloud Computing, 2017: 25–30.
- 11 Fazio M, Celesti A, Marquez F G, et al. Exploiting the FI-WARE Cloud Platform to Develop a Remote Patient Monitoring System [C]. Chengdu: IEEE International Conference on Computer and CommunicationS, 2016: 264–270.
- 12 Gia T N, Jiang M, Sarker V K, et al. Low – cost Fog – assisted Health – care IoT System with Wnergy – efficient Sensor Nodes [C]. Valenci: IEEE Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2017.
- 13 Ahmad M, Amin M B, Hussain S, et al. Health Fog: a novel framework for health and wellness applications [J]. *Journal of Supercomputing*, 2016, 72 (10): 3677–3695.
- 14 Chakraborty S, Bhowmick S, Talaga P, et al. Fog Networks in Healthcare Application [C]. Beijing: IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2017: 386–387.
- 15 Dubey H, Yang J, Constant N, et al. Fog Data: enhancing telehealth big data through fog computing [EB/OL]. [2018 – 08 – 15]. <http://dx.doi.org/10.1145/2818869.2818889>.
- 16 Negash B, Gia T N, Anzanpour A, et al. Leveraging Fog Computing for Healthcare IoT [EB/OL]. [2018 – 05 – 31]. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57639-8_8.
- 17 Muhammad G, Rahman S M M, Alelaiwi A, et al. Smart Health Solution Integrating IoT and Cloud: a case study of voice pathology monitoring [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55 (1): 69–73.
- 18 Farahani B, Firouzi F, Chang V, et al. Towards Fog – driven IoT eHealth: promises and challenges of IoT in medicine and healthcare [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2017, 78 (2): 659–676.
- 19 赵梓铭, 刘芳, 蔡志平, 等. 边缘计算: 平台、应用与挑战 [J]. *计算机研究与发展*, 2018, 55 (2): 327–337.
- 20 Andriopoulou F, Dagiuklas T, Orphanoudakis T. Integrating IoT and Fog Computing for Healthcare Service Delivery [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2017: 213–232.
- 21 Mahmud M R, Ramamohanarao K, Buyya R. Latency – aware Application Module Management for Fog Computing Environments [J]. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 2010, 9 (4): 39–60.
- 22 田辉, 范绍帅, 吕昕晨, 等. 面向 5G 需求的移动边缘计算 [J]. *北京邮电大学学报*, 2017, 40 (2): 1–10.
- 23 Du J, Zhao L, Feng J, et al. Computation Offloading and Resource Allocation in Mixed Fog/Cloud Computing Systems with Min – Max Fairness Guarantee [EB/OL]. [2017 – 12 – 27]. <http://eprints.whiterose.ac.uk/125533/>.
- 24 Pagán J, Zapater M, Ayala J. Power Transmission and Workload Balancing Policies in Ehealth Mobile Cloud Computing Scenarios [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2017, 78 (2): 587–601.
- 25 李继蕊, 李小勇, 高云全, 等. 5G 网络下移动云计算节能措施研究 [J]. *计算机学报*, 2017, 40 (7): 1491–1516.