

Research on Location Management System of Mobile Medical Devices Based on CSS and Edge Computing *

DAI Li¹, YUAN Qin^{1*}, ZHU Dinggui¹, WANG Zengxiang¹, ZHAO Jun²

(1. Department of Pediatric Dentistry, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210008, China;
2. School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: To meet the needs of regional positioning, operation track tracking and on-site visual management of mobile medical equipment, it is wished to realize the management of cross-border and intrusion alarm in key areas. Based on CSS technology and edge computing technology, the medical equipment location management system is designed, the system level functions are defined, the location filtering algorithm is optimized, the experimental test system is constructed and the system performance test is completed. After Kalman filtering, the positioning accuracy of the system can be improved to about 1m, the transmission speed is 1 Mbit/s, the transmission distance can reach 5 m under 1 μ W power, and 26 m under 6.3 mW power. The designed scheme can realize the intelligent tracking of mobile medical devices covering a large area, timely and accurately reflect the dynamic situation of devices in each area to the central monitoring platform, so that managers can master the distribution of devices in the control area and the movement track of each controlled object at any time, and then realize more reasonable management.

Key words: CSS; edge computing; medical equipment; location management

EEACC: 6210Q; 7320C

doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.01.037

基于 CSS 及边缘计算的移动医疗设备 定位管理系统研究 *

戴 丽¹, 袁 琴^{1*}, 朱顶贵¹, 王增香¹, 赵 俊²

(1. 南京大学医学院附属口腔医院儿童口腔科, 江苏 南京 210008; 2. 东南大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 满足移动医疗设备的区域性定位、运行轨迹跟踪及现场可视化管理需求, 实现重点区域的越界和入侵告警管理。基于 CSS 技术和边缘计算技术, 设计医疗设备定位管理系统, 定义系统层次功能, 优化定位滤波算法, 构建实验测试系统并完成系统性能测试。经过 Kalman 滤波后, 系统定位精度可提高到 1 m 左右, 传输速率为 1 Mbit/s 信号。在 1 μ W 功率下, 传输距离可达 5 m, 在 6.3 mW 功率下, 传输距离可达 26 m。所设计方案可实现覆盖大范围区域的移动医疗设备的智能追踪, 及时、准确地将各个区域设备的动态情况反映到中心监控平台, 使管理人员能够随时掌握布控区域设备的分布状况和每个受控对象的运动轨迹, 进而实现更加合理的管理。

关键词: CSS; 边缘计算; 医疗设备; 定位管理

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2021)01-0192-05

医疗设备是医院社会效益和经济效益的重要支柱, 随着现代科学技术的迅猛发展, 医疗设备品种逐步增多, 呈现出高、精、尖, 且价格昂贵等新特点。然而, 少数医院存在只重设备使用, 不重设备管理的现象, 往往造成设备性能劣化、寿命减少、利用率低甚至丢失等问题。因此, 在医院管理工作中运用科学

的方法和手段, 加强对在用仪器设备的跟踪管理, 可保障医疗、科研、教学工作的顺利进行^[1-2]。

随着物联网技术的快速发展和 4G、5G 无线网络的普及, 万物互联的时代已经到来^[3-4]。相比物联网而言, 万物互联除了“物”与“物”的互联, 还增加了更高级别的“人”与“物”的互联, 其突出特点是

项目来源: 航空科学基金项目 (2019ZH069003)

收稿日期: 2020-05-12 修改日期: 2020-07-17

任何“物”都将具有语境感知的功能、更强的计算能力和感知能力。啁啾扩频信号(CSS)具有抗干扰、抗多径能力强等特点^[5-6],是 IEEE802.15.4a 协议在 2007 年 3 月提出的低速无线个人局域网物理层的标准之一,与 RFID、WiFi、Zigbee 等其他短距离无线通信技术相比,在短距离无线通信方面优势明显^[7]。

基于 CSS 技术构建医疗设备室内定位通信系统,可实现对静止的或移动中的待识别物品的自动机器识别,达到对人员和设备的区域性定位及跟踪管理功能。

此外,随着医院医疗设备及人员数量的迅速增加,以云计算模型为核心的集中式数据处理模式已不能高效处理边缘设备所产生的数据,为此,以边缘计算模型为核心的面向网络边缘侧海量数据计算需求的边缘数据处理模式应运而生^[8-9]。边缘计算设备具有利用收集的实时数据进行模式识别、预测分析、智能处理等功能。在边缘计算模型中,网络边缘设备已经具有足够的计算能力来实现源数据的本地处理,边缘计算模型不仅可降低数据传输带宽压力,还可减小集中处理的计算、存储压力,较好地保护隐私数据^[10-12]。因此,边缘计算与云计算模式相结合,可较好地解决万物互联时代大数据处理所存在的诸多问题^[13-14]。

本文基于 CSS 技术和边缘计算技术,提出一种基于无线定位及边缘计算的医疗设备定位管理方案,可实现覆盖大范围区域的移动医疗设备的智能追踪,及时、准确地将各个区域设备的动态情况反映到中心监控平台,使管理人员能够随时掌握布控区域设备的分布状况和每个受控对象的运动轨迹,进而实现更加合理的管理。

1 移动医疗设备定位管理系统

1.1 系统架构

针对现有定位系统大多只能提供区域性定位功能,无法为人员或设备提供精准、实时的位置信息的问题,提出了基于 CSS 及边缘计算技术的医疗设备精确定位系统设计方案,如图 1 所示,包括感知层、传送层、边缘计算层以及应用层。系统结合 GIS 地图及视频摄像头,可实现医护人员及移动医疗设备运行轨迹和实时位置的跟踪及现场可视化,同时构建电子围栏,实现库房等重点区域的越界和入侵告警功能。

感知层由各种受控对象以及能够实时获取对象数据的具有感知、通信、识别能力的感知设备及感知

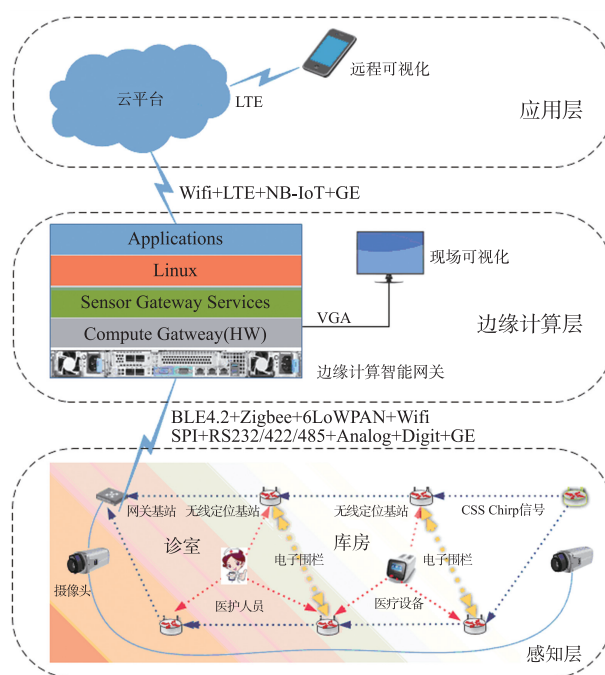


图 1 基于 CSS 及边缘计算的医疗设备定位管理系统架构

网络组成,包括置于医疗设备和医护人员身上的移动定位终端、无线定位基站和网关基站。无线定位基站与移动定位终端交互定位数据,利用 SDS-TWR 定位算法和定位管理协议,通过信号空中传输时间计算出与移动定位终端的距离,并把距离数据和一些传感控制信息发送给网关基站。网关基站接收无线定位基站信息,可检测出医疗设备和医护人员的精确位置和传感控制信息,并通过有线、无线通信接口上传到边缘计算智能网关。

传送层为系统中所有部件和物理上分离的功能实体提供互连,具有多样化的数据连接及交互能力,一方面将多个分布式网关基站定位信息送至边缘计算智能网关,另一方面,将边缘计算智能网关的计算、分析结果送至云平台或用户侧。

边缘计算层由边缘计算智能网关组成,集成计算、存储、应用核心能力为一体的开放平台,就近提供最近端服务。其应用程序在边缘侧发起,能产生更快的网络服务响应,满足行业在实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的基本需求。具有多协议接口提供灵活的设备层感知数据接入能力以及设备即插即用能力,具有智能解读数据和实时数据分析能力。边缘计算层收集多网关基站定位信息,进行数据比对、查询、统计、计算,实现移动医疗设备的位置定位、运行轨迹跟踪及使用人信息。

应用层通过云计算平台进行信息处理,对感知层的采集数据进行计算、处理和知识挖掘,从而实现物理世界的实时控制、精确管理和科学决策,进而

对整个医院医疗设备资源进行全局性、非实时、长周期的大数据处理与分析,实现长周期维护和资源整合管理,同时可将信息发送至手持式移动终端,实现远程可视化。

1.2 CSS 测距

本方案 CSS 测距采用小孔径雷达的 Chirp 技术,实现在 2.4 GHz 频段的信号传输。Chirp 信号可简单理解成一种频率可调的脉冲信号,如图 2 所示,信号在时域上频率发生由低到高或者由高到低的变化(Up Chirp 或者 Down Chirp),变频信号经过滤波器后,根据 Up Chirp 或 Down Chirp 频率变化趋势的不同而变成 1-0 信号。无线定位基站分辨出脉冲信号,识别出传输信号的发送时间和对应回复信号的到达时间,并记录在寄存器中,供软件算法计算出传输路径长度。

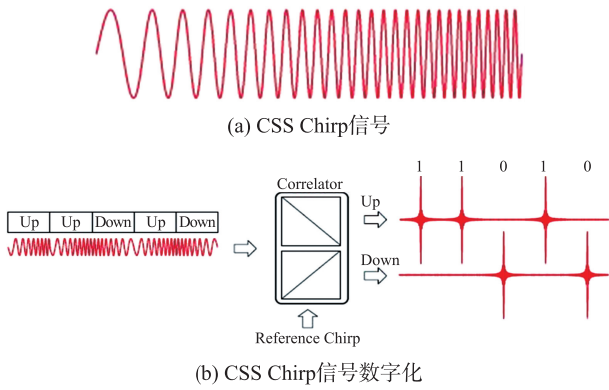


图 2 CSS Chirp 信号工作原理

CSS 采用 SDS-TWR 测量方法获取双向传输时间,计算节点距离,如图 3 所示。假设信号单次传输距离为 d ,则整个测量过程中,产生了四次传输过程 $4d$,以及 2 次回复等待时间($t_{\text{reply A}}$ 、 $t_{\text{reply B}}$),则单次测量时间见式(1)。

$$d = C \frac{t_{\text{round A}} - t_{\text{reply A}} + t_{\text{round B}} - t_{\text{reply B}}}{4} \quad (1)$$

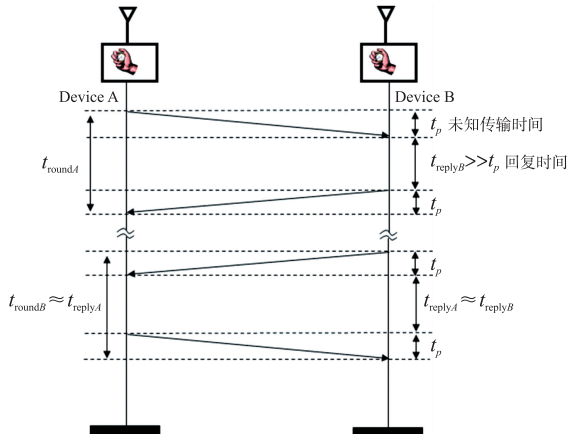


图 3 CSS 基于 SDS-TWR 测距原理

式中: C 为常量, $t_{\text{round A}}$ 、 $t_{\text{round B}}$ 、 $t_{\text{reply A}}$ 、 $t_{\text{reply B}}$ 均可通过基带时钟测量出来,故单次信号传输时间、传输距离也能够计算出来。由于用了高精度时钟电路,时间精度可达 $3 \text{ ns} \sim 4 \text{ ns}$,因此,实际测距精度可达 1 m 左右。

为了提高系统的定位精度和稳定性,采用卡尔曼(Kalman)滤波算法来改善系统的降噪效果。卡尔曼滤波是一种线性系统状态方程,通过系统输入、输出观测数据对系统状态进行最优估计。

现实的线性系统因噪声影响是非完全平滑的:

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \quad (2)$$

式中: x 是状态向量, A 是状态转移矩阵, w 为过程噪声。

系统观测方程为:

$$y_k = Hx_k + v_k \quad (3)$$

式中: y_k 为 k 时刻的测量值, v_k 为测量噪声,与 w_{k-1} 为两个相互独立的高斯白噪声。用 Q 表示系统噪声的协方差矩阵,用 R 表示观测噪声的协方差矩阵,通过 $k-1$ 时刻的最优估计值去预测 k 时刻的系统状态值,同时利用 $k-1$ 时刻的误差协方差 P_{k-1} 和过程噪声的协方差 Q 去预测新的误差协方差 P_k^- ,如下所示:

$$x_k^- = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (4)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (5)$$

式中: u 为系统的控制量。

通过当前状态下先验误差协方差和观测噪声协方差计算出卡尔曼增益 K_k ,进而评价 k 时刻的最优估计值,同时更新 x_k 、 P_k 为 k 时刻的最优值,实现 $k+1$ 时刻的最优值迭代:

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (6)$$

$$x_k = x_k^- + K_k (y_k - Hx_k^-) \quad (7)$$

$$P_k = (1 - K_k H) P_k^- \quad (8)$$

1.3 边缘计算网关

边缘计算智能网关由主板、无线板及接口板组成,可提供灵活的感知层数据接入,有限的安全策略部署及计算能力支持,具备差异化易用的开发套件和库,支持工业物联网应用快速开发,如图 4 所示。

主板由主处理器系统和 FPGA 芯片组组成,具有 SATA、SD 卡和 USB2.0 高速接口。无线板实现所

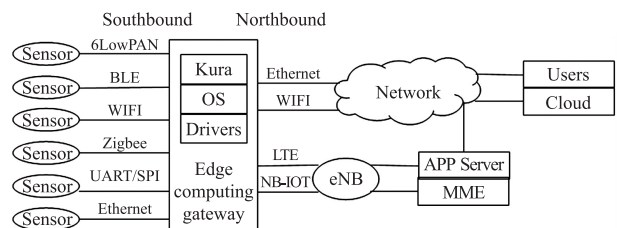


图 4 边缘计算智能网关

有无线解决方案,分为南北向两种界面,北向具有远程接入能力,包括 LTE/WCDMA 和 NB-IOT,南向实现本地传感器连接,包括 BLE4.2、6Lowpan、ZigBee 和 Wi-Fi(AP 模式)。接口板实现外部传感器的接入,可支持不同类型的串行端口:RS232、RS485、RS422 和模拟采样接口。

边缘计算智能网关软件架构如图 5 所示,基于开源 Linux 操作系统实现内核空间和用户空间之间的行为交互,IOT 库和开发套件支持安全、视频分析、深度学习、科学计算、区块链等物联网应用和服务能力。

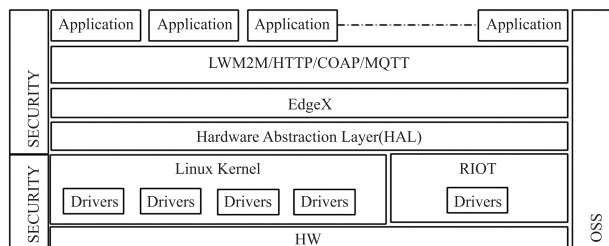


图 5 边缘计算网关 IOT 库和开发套件

为实现医疗设备的精准定位,减少误报,边缘计算智能网关支持视频信息的实时接入及处理能力,如图 6 所示,可实现视频信息与定位信息的双重判断。

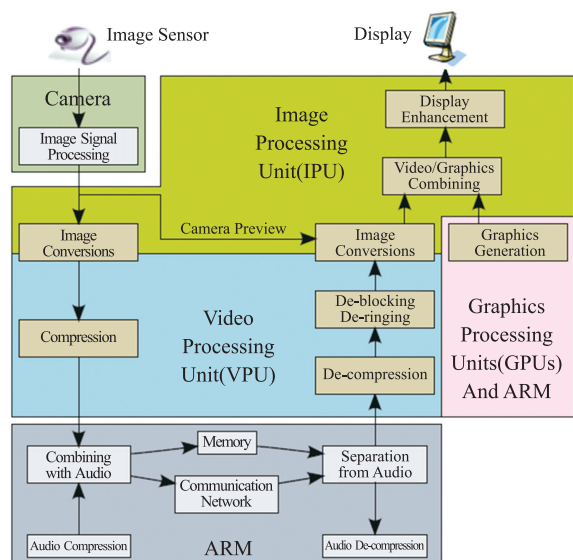


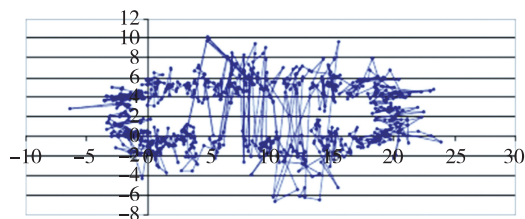
图 6 边缘计算网关视频信息处理流程

2 实验测试

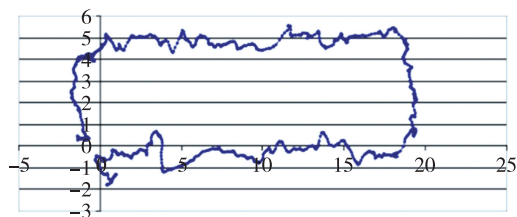
在南京市口腔医院儿童口腔科搭建了基于 CSS 无线定位及边缘计算的医疗设备定位管理实验测试系统,其中,传送层方案采用无线 NB-IOT 通信协议。

对比分析了 Kalman 滤波前后系统的定位效果,如图 7 所示。可以看出,采用软件 Kalman 滤波可以

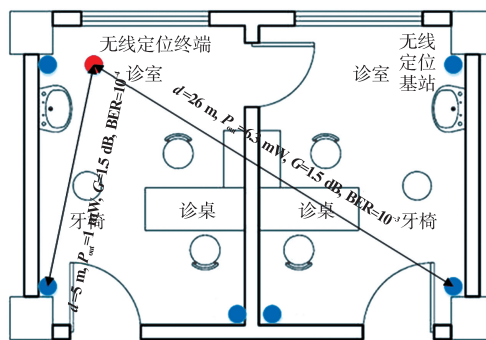
显著提高定位精度。经过 Kalman 滤波后,传输速率为 1 Mbit/s 信号在 1 μ W 功率下,传输距离可达 5 m,在 6.3 mW 功率下,传输距离可达 26 m。



(a) 原始定位数据



(b) Kalman 滤波后定位数据



(c) Kalman 滤波后定位距离测试

图 7 Kalman 滤波前后定位精度对比

图 8 为人员移动时运行轨迹在软件平台上的跟踪显示,经测试,定位精度可达到 1 m。测试结果表明,结合 GIS 地图可实现人员及设备运行轨迹和实时位置的跟踪及现场可视化。

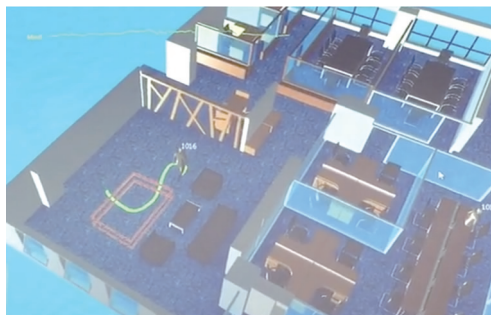


图 8 人员移动时运行轨迹显示

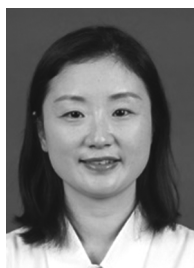
3 结束语

本文基于 CSS 技术和边缘计算技术,提出一种基于无线定位及边缘计算的医疗设备定位管理方案,定义了系统层次功能,优化了定位滤波算法,构建了实

验测试系统并完成了系统性能测试,测试结果表明,本文所提方案可实现覆盖大范围区域的移动医疗设备的智能追踪,及时、准确地将各个区域设备的动态情况反映到中心监控平台,结合 GIS 地图可实现人员及设备运行轨迹和实时位置的跟踪及现场可视化。

参考文献:

- [1] 卢新翠,刘娟,魏媛,等. 探索医疗设备全生命周期管理模式[J]. 江苏卫生事业管理,2020,31(3):348-352.
- [2] 徐文强. 计算机信息技术在医疗设备管理方面的应用[J]. 科技风,2020(11):103-104.
- [3] 黄广建,常洪涛. 基于 5G 无线网络智慧医疗应用的发展[J]. 中国新通信,2019,22(4):111-112.
- [4] 王健. 5G 构建万物互联的智能世界[J]. 软件和集成电路,2019(8):50-51.
- [5] 曹保根,满真真,喻锡成,等. 基于 CSS 技术 SDS-TWR 的舰船舱内报警人员定位系统研究[J]. 2019,11(2):26-29,51.
- [6] 黄金鹏,尚俊娜,岳克强,等. 惯导系统辅助 CSS 的室内定位方法[J]. 传感技术学报,2018,31(3):386-393.
- [7] Murano S, Perez-Rubio C, Gualda D, et al. Evaluation of Zadoff-Chu, Kasami, and Chirp-Based Encoding Schemes for Acoustic Local Positioning Systems[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2020, 69(8):5356-5368.
- [8] Wang T, Wang P, Cai S B, et al. A Unified Trustworthy Environment Establishment Based on Edge Computing in Industrial IoT[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020, 16(9):6083-6091.
- [9] Andreas R, Bernd P, Thomas Z. Hybrid Mobile Edge Computing: Unleashing the Full Potential of Edge Computing in Mobile Device Use Cases[C]//Proceedings of the 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing. Madrid, Spain, 2017:935-944.
- [10] Wei X J, Wang S G, Zhou A, et al. MVR: An Architecture for Computation Offloading in Mobile Edge Computing[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Edge Computing. Honolulu, HI, USA, 2017:232-235.
- [11] 施巍松,张星洲,王一帆,等. 边缘计算:现状与展望[J]. 计算机研究与发展,2019,56(1):69-89.
- [12] 施巍松,孙辉,曹杰,等. 边缘计算:万物互联时代新型计算模型[J]. 计算机研究与发展,2017,54(5):907-924.
- [13] 徐恩庆,董恩然. 云计算与边缘计算协同发展的探索与实践[J]. 通信世界,2019(9):46-47.
- [14] 方巍. 从云计算到雾计算的范式转变[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2016,8(5):404-414.



戴 丽(1983—),女,江苏南京人,本科,主管护师,南京市口腔医院儿童口腔科护士长,研究方向为儿童口腔诊疗及护理技术;



袁 琴(1984—),女,江苏南京人,本科,主管护师,研究方向为儿童口腔诊疗及护理技术, countrymail@163.com;



朱顶贵(1962—),男,本科,副主任医师,儿童口腔科科主任,研究方向为儿童乳牙和年轻恒牙牙体牙髓病、根尖周病、牙外伤、儿童牙列缺损美容修复。