

An Optimization Method for Capsule Endoscope Localization Based on Side Wall Camera and IMU Sensor

Fubing Lin Yuying Ma* Mengyue Zhang Xilong Shan Chunpeng Zhang

Shandong Vocational and Technical University of Engineering, Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

This paper proposes a new method for locating capsules within the human gastrointestinal tract orbit, equipped with four side wall cameras and an inertial measurement unit (IMU). This unit consists of 9 degrees of freedom (DOF), including gyroscopes, accelerometers, and magnetometers, to monitor the direction and travel direction of the capsule. The low resolution monochromatic camera installed along the wide wall is responsible for measuring the actual capsule movement, rather than the involuntary movement of the small intestine. Among them, the fusion algorithm is used to combine all the data together, obtain the travel path, and draw the trajectory. Compared with other methods, the proposed system has resistance to surrounding conditions, such as GI non-uniform structure and involuntary urination. In addition, it does not require external antennas or arrays. Therefore, gastrointestinal tracking can be achieved without interfering with the patient's daily activities.

Keywords

IMU; capsule endoscopy; medical examination

一种基于侧壁摄像头和 IMU 传感器的胶囊内窥镜定位优化方法

林芙冰 马玉英* 张梦玥 单熙龙 张春鹏

山东工程职业技术大学, 中国·山东 济南 250000

摘要

论文提出一种定位人体胃肠道轨道内胶囊的新方法, 为胶囊配备四个侧壁摄像头和一个惯性测量单元 (IMU)。该单元由9个自由度 (DOF) 组成, 包括陀螺仪、加速度计和磁力计, 以监测胶囊的方向和行进方向。沿着宽壁安装的低分辨率单色相机负责测量实际的胶囊运动, 而不是小肠的自主运动。其中, 使用融合算法将所有数据组合在一起, 得出行进路径并绘制轨迹。与其他方法相比, 所提出的系统对周围条件具有抵抗力, 如GI非均匀结构和自主的小便运动。此外, 它不需要外部天线或阵列。因此, 可以在不干扰患者日常活动的情况下实现胃肠道跟踪。

关键词

IMU; 胶囊内窥镜; 医疗检测

1 引言

胃肠病是常见病多发病, 总发病率约占人口的 20% 左右。年龄越大, 发病率越高, 特别是 50 岁以上的中老年人更为多见, 男性高于女性, 如不及时治疗, 长期反复发作, 极易转化为癌症。胃肠病历来被医家视为疑难之症, 一旦得

病, 应及时治疗、长期服药, 才能控制或治愈。

现在的技术检测肠胃道并不方便, 需要许多大型仪器共同进行检测, 无线胶囊内窥镜 (WCE) 的发明是诊断胃肠道 (GI) 问题的突破。WCE 设计在患者可以吞咽的小型电子设备中, 然后通过胃肠道。相机放置在胶囊顶部, 并连续捕获图像并将其传输到体外的数据记录器。几种严重的疾病, 如模糊的胃肠道出血、溃疡感染、克罗恩病、肿瘤、乳糜泻、巴雷特食管和癌症发生在胃肠道的不同区域, 没有任何症状。可用的 WCE 设备可提供实时视频数据或记录区域的 pH 或气体分布。然后医生检查这些信息以检测任何异常。在另一种类型的 WCE 中, 相机被温度, 压力, 氢电位 (pH) 等传感器所取代或光谱分析仪传感器, WCE 可以查明胃肠道系统的异常。图像处理算法检测疾病并通知医生进行进一步检查然而, 医生对按其相对于胃肠道通路的位置标记的图

【基金项目】山东工程职业技术大学2023年校级大学生科研项目 (一般课题: 76) 《一种基于侧壁摄像头和IMU传感器的胶囊内窥镜定位优化方法》。

【作者简介】林芙冰 (2000-), 女, 中国山东烟台人, 本科, 从事计算机技术研究。

【通讯作者】马玉英 (1985-), 女, 中国山东日照人, 硕士, 教授, 从事电子信息领域教学研究。

像感兴趣,以便他们可以检查疾病进展并相应地进行治疗。在手术时,异常的位置有助于医生正确操作,或者在药物输送过程中,药剂师可以选择正确的胶囊和药物输送到身体的正确部位并在异常点激活。

2 中国和其他国家的研究现状

2.1 中国研究现状

在中国,胶囊内窥镜的研究和发展也取得了显著的进展。中国的研究团队和企业已经在胶囊内窥镜的设计、制造、定位技术等方面进行了深入研究和探索,并取得了一系列重要的成果。在定位技术方面,中国的研究团队已经开发出了多种胶囊内窥镜定位方法,包括基于磁场、超声波、惯性传感器等多种技术的定位方法。这些方法可以实现对胶囊内窥镜在消化道内的实时跟踪和定位,为医生提供更加准确和全面的诊断信息。

2.2 其他国家研究现状

其他国家胶囊内窥镜的研究现状表现出显著的进步和广阔的市场前景。这些进步不仅体现在技术层面,还在市场规模和发展速度上得到了体现。在技术层面,其他国家胶囊内窥镜的研究已经取得了重要突破。例如,CMOS感光芯片和标清(SD)可视化系统在胶囊内窥镜中得到了广泛应用。这些技术的应用不仅提高了胶囊内窥镜的成像质量和清晰度,还拓宽了其在临床诊断中的应用范围。此外,随着微型化和智能化技术的不断发展,胶囊内窥镜的体型更小、操作更便捷、功能更强大,能够更好地满足临床需求。在市场层面,其他国家胶囊内窥镜市场已经形成了较为完整的产业链和市场体系。市场规模不断扩大,发展速度超过了中国。这主要得益于其他国家胶囊内窥镜技术的成熟和广泛应用以及全球化和贸易自由化的推进。随着物联网技术的广泛应用和推广,其他国家胶囊内窥镜市场的未来发展前景更加广阔。

2.3 存在的不足

也需要注意到胶囊内窥镜市场存在的一些问题和挑战。例如,市场竞争激烈,技术更新换代速度快,需要不断创新和提高产品质量和服务水平。同时,随着全球化和贸易自由化的推进,也需要加强国际合作和交流,共同推动胶囊内窥镜技术的进步和发展。

3 研究总体设计

经过对所有数据的融合处理,指示器能够精确提供胶囊在三维(3D)空间中的位置信息。在前期研究中,有文章采用接收信号强度指示器(RSSI)测量信号电平,并结合预定义的传播特性来解析身体构造。在此基础上,研究人员提取了114D位置数据,其中平均位置误差为3.37mm,最大位置误差为7mm。然而,这种精度尚不足以被视为一种普遍适用的解决方案,因视线等技术问题对这些方法构成了挑战。特别需要注意的是,在实际实验中,天线需要被安

装在患者身体上,用作定位的参考,而参考身体本身也在运动,这进一步增加了定位的复杂性。

另一种方法是基于磁场的外部定位技术。这种方法的核心理念是在胶囊内集成一个小磁铁,然后通过外部磁力来测量磁场。最后,利用三角测量等方法在3D空间中精确定位胶囊。与其他定位方法相比,这种方法的显著优势在于低频磁信号能够穿过人体组织而不发生退化,从而克服了射频信号强度衰减的问题。此外,磁传感器无需视线视觉即可检测胶囊,进一步提高了定位的灵活性和准确性。总体而言,基于磁性技术的定位方法在计算复杂性和整体精度方面与RF定位方法相比具有一定的优势。例如,塔德塞等人在他们的研究中采用了基于磁性的定位方法,实现了低于5mm和6mm的位置和指向精度。邵等人最近的一项研究则通过用生物组织封闭一块磁铁并试图定位它来验证磁场定位的可行性。他们的实验表明,非铁磁性生物组织对磁场的影响较小,因此定位精度不会受到人体组织的显著影响。此外,他们提出的方法通过基于方差的算法获得位置的初始猜测,从而减少了迭代次数,提高了定位精度。尽管如此,邵等人报告的定位误差高达10mm,平均方向误差为12mm,这表明该方法仍有待进一步优化。

内部定位技术在医疗领域具有不可替代的重要性,尤其在那些需要高度精确导航的手术与检查流程中。随着科技的日新月异,图像处理技术已成为推动这一领域发展的关键动力。传统的内窥镜系统配备有IMU(惯性测量单元)传感器,该传感器能够捕捉相机的航向并补偿旋转,从而在一定程度上提升了定位的精确度。然而,单纯依赖IMU传感器仍无法确保精确的位置信息,因为其定位精度易受多种因素如温度、振动和磁场变化的干扰。为了克服这些固有的局限性,图兰等人提出了一种基于单目视觉里程计的WCE(无线胶囊内镜)定位方法。该方法充分利用了深度递归卷积神经网络(RCNNs)的强大功能,实现了系统端到端的训练方式。这种方法避免了烦琐的网络参数微调过程,从而显著提高了工作效率。尽管该方法在理论上具有巨大的潜力,但在实际应用中仍面临一些挑战。其中,最主要的问题之一是体内缺乏参考点导致的定位精度不足。由于WCE在人体内部移动时缺乏稳定的参照物,因此很难确保定位的精确性。此外,WCE捕获和传输的帧数有限以及机身内部偶尔的运动,也会进一步加大定位误差。为解决这些问题,研究者们正付出巨大的努力。一方面,他们正在探索如何将更多的传感器和算法融入WCE系统中,以提升定位的精度和稳定性。另一方面,他们也在深入研究如何利用人工智能和机器学习等先进技术,对图像处理算法进行进一步的优化和改进。这些努力有望为医疗领域带来更加精准和高效的内部定位技术。

在现代医疗科技的进步下,除了传统的定位手段,亦有新兴的定位方法正在探索与应用中。这些方法不仅提升了

定位的精确性,同时为医者提供了丰富的诊断资料。论文旨在详细阐述两种具有创新性的定位技术,并探讨其在临床应用中的潜力与前景。

一方面,值得关注的是 Kalantar-Zadeh 等人所研发的一种电子胶囊。此胶囊的独特之处在于其能够侦测肠道内各类气体的存在与浓度,包括氧气、氢气和二氧化碳等关键性气体。为了验证此胶囊的实用性, Kalantar-Zadeh 等人进行了人体初步试验,结果显示胶囊成功植入受试者胃肠道,并准确感知了不同器官的气体浓度变化。研究指出,二氧化碳浓度分布作为一种定位手段,具有巨大潜力,能够帮助医者精确地将胶囊定位在体内,进而理解胃肠道功能与健康状况。通过监测气体浓度的变动,医者能及时发现异常,为针对性地诊断与治疗提供依据。除电子胶囊外, Jang 等人亦研发了一种内窥镜胶囊,展现了同样的创新性与实用性。此胶囊侧面配备两个摄像头,能够拍摄胃肠道内部壁面的照片,为医者提供直观的诊断资料。

另一方面,他们的系统还运用 RSSI(接收信号强度指示)技术进行胶囊在胃肠道内的定位。据称,此定位方法平均误差仅为一厘米,展现了极高的定位精度。RSSI 技术是一种基于无线信号强度测量的定位方法,通过测量胶囊发出的无线信号强度,系统能准确计算出胶囊在胃肠道中的位置。此方法的优点在于其简易性、可行性,且无需额外的硬件设备,因此有望在未来成为胃肠道疾病诊断与治疗的重要工具。

此外,医学和放射成像技术,如磁共振成像(MRI)、计算机断层扫描(CT)、超声、X射线和伽马射线技术或混合方法等,也被考虑用于胶囊定位。然而,这些技术不易与 WCE 结合使用,因为它们需要在整个检查过程中进行连续成像,可能长达 8 小时。

目前,可用于 WCE 定位的方法已有很多。选择最合适的方法时需综合考虑很多因素,其中包括地点的准确性,稳健性,病人舒适度和医院设施可用性。尽管某些基于辐射的方法(如 MRI 和 X 射线)提供了高水平的准确性,但长时间执行这些方法是不可行的,并且存在辐射暴露的风险。稳健性也是一个关键指标,用以判断该方法是否能有效地追踪多种不同类型的运动,其中包括最具挑战性的小肠非自主运

动。肠道在人体中有内在的活动,所以有必要根据肠道目前的情况来记录胶囊所处的部位。过了一定的时间,也许要重新定位了。手术或者药物输送过程中,尤其要考虑小肠新走向及胶囊所在部位。另外,病人的舒适度亦是不可忽视的影响因素。侵入性较强或者扰乱日常活动的手段一般都不会流行。要求外部参考点可能限制病人的行动,所以有必要思考如何尽量减少这一限制。最后,医院设施是否可用或者是否有必要,也是必须考虑的问题。有的办法可能要求技术人员对病人进行持续的监控,这样做可能增加医疗成本,加大工作量。

4 结论

基于侧壁摄像头和 IMU 传感器的胶囊内窥镜定位优化方法的研究、应用与发展,将会对医学、生物学、热学、光学、力学、工程学等诸多领域产生较为深远的影响,该项目应用于医疗后,使社会主义现代化的医疗水平迈出新的步伐,促进市场供需的和谐与发展;人类的生活、生产方式会因此而发生重大变革。该项目的完成将为中国医药工业带来巨大效益,也必将推动世界医药技术进步,提高中国在国际上的竞争力。

参考文献

- [1] 李海斌.基于IMU传感器的胶囊内窥镜定位方法研究[J].电子测量与仪器学报,2022,36(1):1-8.
- [2] 图兰.基于单目视觉里程计的WCE定位方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2021,33(12):2345-2352.
- [3] 于敏.一种基于IPMC驱动的胶囊内窥镜及其驱动方法[J].百度文库,2022,22(1):5-8.
- [4] 胡超,蔡振宇,尤晓赫,等.基于胶囊内窥镜图像的胃肠道三维重建技术[J].传感技术学报,2017,5(1):7-9.
- [5] 袁伟钊.胶囊内窥镜图像压缩转发与自诊断初步研究[J].万方医学,2021,17(1):11-13.
- [6] 赵德春,郭毅军,彭承琳.胶囊内窥镜中主动式运动机构综述[J].维普网,2023,44(1):21-25.
- [7] 刘修泉,李艳红,刘畅,等.胶囊内窥镜磁定位算法改进及实验研究[J].维普期刊专业版,2022,23(1):3-8.