

“地下空间智能控制”专栏

【编者按】当前,人工智能方兴未艾,政府、企业和高校科研院所已形成智能煤矿研究和推广的共识,并在理论架构、关键技术、产品研发和示范推广方面取得了重大进展。中国矿业大学地下空间智能控制教育部工程研究中心(简称地下智能中心)是教育部批准建设的第一个面向地下空间的人工智能研究平台,紧密围绕感知智能、生产智能和决策智能3个方向开展研究工作,用以破解复杂地下空间面临的“全息信息感知困难”、“劳动强度大、效率不高、安全事故预警困难”和“重数据获取轻数据应用处理、缺乏企业决策大脑”的难题,保障煤矿、非煤矿山、地铁和隧道等地下空间的安全生产和可持续发展。为及时提炼和交流地下智能中心的最新研究进展,《工矿自动化》于2021年第1期开设“地下空间智能控制”专栏,特邀地下智能中心主任王雪松教授担任客座主编,地下智能中心副主任胡青松副教授担任客座副主编。专栏将针对工矿智能感知、智能控制、智能决策与预警、机器人等技术及智能化工程实践等进行报道。

文章编号:1671-251X(2021)01-0001-09

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17684

全源矿井定位:一种智能煤矿位置服务新范式

胡青松^{1,2,3}, 钱建生^{1,2}, 李世银^{1,2,3}, 孙彦景^{1,2,3}, 张朕⁴

(1. 中国矿业大学 地下空间智能控制教育部工程研究中心, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116;

3. 中国矿业大学 徐州市智能安全与应急协同工程研究中心, 江苏 徐州 221116;

4. 青岛松灵电力环保设备有限公司, 山东 青岛 266300)



扫码移动阅读

摘要:矿山动目标定位系统为煤矿智能化建设提供基于位置的服务。而传统的矿井定位系统中定位信标与定位标签之间大多采用单一或组合通信技术,结构不灵活,覆盖范围受限,鲁棒性不高,定位精度有限;使用单一或组合测距技术,无法根据使用场景的不同自适应选择最优测距技术;位置求解算法固定,无法根据使用场景的不同和信号变化自适应选择最优求解算法。提出了全源矿井定位新范式,可根据定位环境和目标承载平台的变化,从所有可用定位信号测量设备中动态选择满足当前需求的最优设备组合,自适应地从可用的测距算法、位置解算算法、结果优化算法中选择最优的算法组合,计算出目标节点的最优位置。给出了全源矿井定位系统架构,探讨了矿井中可用的定位信号测量设备和可用于定位的测量属性值类型,对比了单一矿井定位与全源矿井定位在定位服务器方面的功能差异。研究了全源矿井定位中的3项关键技术:统一定位框架技术,旨在解决全源定位的模块化、组合式、可扩充需求;全源定位信息融合技术,对测量属性值进行有机组织,达到提高定位精度的目的;通信定位一体化技术,通过无线通信网络本身所具有的定位能力,简化全源矿井定位系统的设计并提高定位精度。提出了基于“端-边-云”的全源矿井定位系统实施架构,以便与煤矿智能化的主流建设模式相适应,大幅降低实施难度和系统成本。

关键词:智能煤矿;位置服务;矿井定位;动目标定位;全源定位;组合定位;定位信息融合;通信定位一体化

中图分类号:TD67

文献标志码:A

收稿日期:2020-11-24;修回日期:2020-12-28;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51874299,61771474);山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020505);中国矿业大学“工业物联网与应急协同”创新团队资助计划(2020ZY002)。

作者简介:胡青松(1978—),男,四川岳池人,副教授,博士,主要从事目标定位、矿山物联网和救灾通信方面的研究工作,E-mail:hqsong722@163.com。

引用格式:胡青松,钱建生,李世银,等.全源矿井定位:一种智能煤矿位置服务新范式[J].工矿自动化,2021,47(1):1-8.

HU Qingsong, QIAN Jiansheng, LI Shiyin, et al. All source mine positioning: a new paradigm for intelligent coal mine positioning service[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(1): 1-8.

All source mine positioning: a new paradigm for intelligent coal mine positioning service

HU Qingsong^{1,2,3}, QIAN Jiansheng^{1,2}, LI Shiyin^{1,2,3}, SUN Yanjing^{1,2,3}, ZHANG Zhen⁴

(1.Engineering Research Center of Intelligent Control for Underground Space, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2.School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3.Xuzhou Engineering Research Center of Intelligent Industry Safety and Emergency Collaboration, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 4.Qingdao Songling Electricity Environmental Protection Equipment Co., Ltd., Qingdao 266300, China)

Abstract: Mine moving target positioning system provides location-based services for intelligent construction of coal mines. However, most of the traditional mine positioning systems use single or combined communication technologies between positioning beacons and positioning tags with inflexible structure, limited coverage, low robustness and limited positioning accuracy. Using single or combined ranging technology, the optimal ranging technology cannot be selected adaptively according to different usage scenarios. For the position solution algorithm is fixed, the optimal solution algorithm cannot be selected adaptively according to different usage scenarios and signal changes. Hence, a new paradigm for all source mine positioning service is proposed, which can dynamically select the optimal combination of devices that meets current needs from all available positioning signal measurement devices according to the changes of the positioning environment and the target bearing platform. The paradigm can select the optimal combination of algorithms from the available ranging algorithms, positioning solving algorithms and result optimization algorithms adaptively to calculate the optimal position of the target node. In this study, all source mine positioning system architecture is designed, the available positioning signal measurement devices in mines and the types of measurement attribute values that can be used for positioning are discussed, and the functional differences of positioning servers between single mine positioning and all source mine positioning are compared. This paper discusses three key technologies in all source mine positioning service: unified positioning framework technology, which aims to meet the modular, combined and expandable needs of all source positioning; all source positioning information fusion technology, which organizes the measured attribute values to improve positioning accuracy; communication and positioning integration technology, which simplifies the design of all source mine positioning system and improves positioning accuracy through the positioning capability of wireless communication network itself. This paper proposes the implementation architecture of a terminal-edge-cloud based all source mine positioning system in order to fit in with the mainstream construction mode of intelligent coal mine and reduce the implementation difficulty and system cost significantly.

Key words: intelligent coal mine; position services; mine positioning; moving target positioning; all source positioning; combined positioning; positioning information fusion; communication and positioning integration

0 引言

矿山动目标定位系统能够确定人员、机车、灾害源等感兴趣目标的坐标位置,进而为煤矿智能化建设提供丰富的基于位置的服务^[1]。当前,矿井定位系统一般采用单一定位技术^[2],如 WiFi 定位、UWB (Ultra Wide Band,超宽带)定位等。单一矿井定位系统完全依赖于定位系统本身,拓扑清晰,建设容易,但是难以做到全覆盖,且精度提高困难。为此,不少学者提出了组合定位方法,将多种定位技术组

合起来,如将惯性导航与 WiFi 组合,在没有 WiFi 覆盖的区域使用惯性导航继续提供定位服务,在有 WiFi 覆盖的区域利用 WiFi 系统为惯性导航系统提供校准服务,降低惯性导航的累计误差。

然而,组合矿井定位系统在实际应用中仍面临诸多困难。被组合对象是固定的,无法根据场景和需求变化自适应地进行最优组合。以惯性导航与 WiFi 组合定位为例,其组合对象一直是惯性导航和 WiFi 这 2 种定位系统,即使应用场景中有蜂窝通信系统、ZigBee 系统,也无法成为被组合的对象。另

外,仍没有解决全覆盖难题,如惯性导航与 WiFi 组合定位,在没有这 2 种设备的定位场景中无法完成定位工作。

事实上,矿井中很多资源可被用来进行定位或者为定位系统提供辅助,如监控摄像机、超声波系统,甚至振动监测、温度监测、风速监测、灾害监测等系统的传感设备皆对提高定位性能大有裨益。此外,随着无人机和机器人在井下普遍应用,必然为目标定位带来更多机会^[3]。将这些可能的手段通过人工智能方法按需组合,有望大幅提升定位系统的覆盖范围,为用户提供精度更高、服务更优的全源定位。本文阐述全源矿井定位的理论构想,分析全源矿井定位的系统结构、关键技术和实现途径,为智能矿山的研究和实践提供借鉴和助力。

1 全源矿井定位系统结构

本节通过分析单一矿井定位系统的劣势,引出全源矿井定位系统结构,并阐述全源矿井定位的可用传感设备、定位属性值、全源定位服务器等核心组成部分。

1.1 单一矿井定位系统

目前,几乎所有矿井定位系统均采用如图 1 所示的结构^[2],主要包括定位标签、定位信标、传输网络、定位服务器 4 个部分。

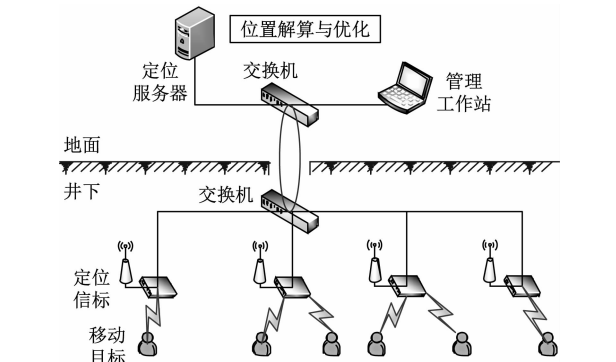


图 1 单一矿井定位系统结构

Fig. 1 Structure of single mine positioning system

定位标签由被定位人员携带或安装在待定位设备上,其坐标未知,是需要定位的目标对象,简称目标节点。定位信标是位置已知的节点,也称为定位基站,为定位系统提供参考位置,简称信标节点或锚节点。

定位信标与定位标签之间采用超宽带、ZigBee、蓝牙、WiFi、可见光等无线通信方式交互消息,通过测量 RSSI(Received Signal Strength Indicator,接收信号强度指示)、AOA(Angle of Arrival,到达角度)、TOA(Time of Arrival,到达时间)、TDOA(Time Difference of Arrival,差分到达时间)、

PDOA(Phase Difference of Arrival,差分到达相位)等获得信标与标签之间的距离。

传输网络将测得的距离信息传输到定位服务器,由定位服务器通过定位算法解出目标位置,并将定位结果传输给感兴趣的对象(包括被定位目标)。传输网络一般采用矿井原有的工业以太网。

单一矿井定位系统具有以下劣势。

(1) 定位信标与定位标签之间大多采用单一(如 UWB)或组合(如 WiFi+捷联惯导)通信技术,结构不灵活,覆盖范围受限,鲁棒性不高,定位精度有限。

(2) 通常使用单一(如 RSSI)或组合(如 TOA+AOA)测距技术,无法根据使用场景的不同自适应选择最优测距技术。

(3) 位置求解算法是固定的,无法根据使用场景和信号变化自适应选择最优求解算法。

1.2 全源矿井定位系统

全源矿井定位系统利用目标场景中所有可用的定位设备和环境条件进行定位。它综合了多种定位设备、多种信号类型和使用场景特征,能够自适应地从可用的测距算法、位置解算算法、结果优化算法中选择最优的算法组合,为用户提供该时刻、该场景的最优定位解决方案,有望从根本上解决单一矿井定位系统的弊端。

全源定位根据定位环境、目标承载平台的变化,智能、自动地添加新节点或移除旧节点^[4],动态计算当前场景下最优的目标位置,其结构(图 2)与单一矿井定位系统相比,主要差别有:① 将单一矿井定位系统中的定位信标扩展为全源定位中的可用定位源。② 定位服务器的功能从单一矿井定位系统中简单的位置解算与优化,扩展为全源矿井定位系统中的环境识别与最优设备组合、自适应融合与最优定位、智能煤矿目标位置服务。

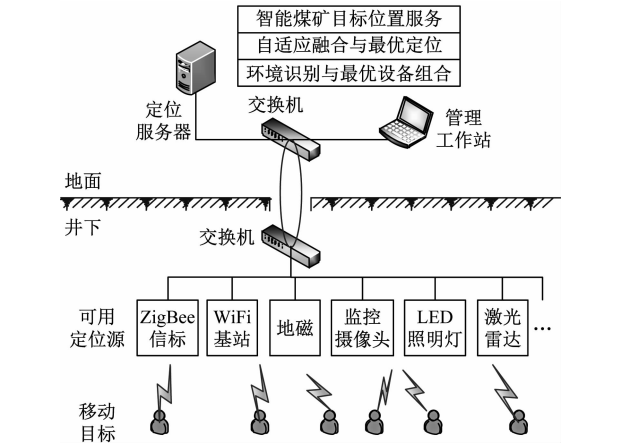


图 2 全源矿井定位系统结构

Fig. 2 Structure of all-source mine positioning system

接下来针对单一矿井定位系统与全源矿井定位系统的两大差别分别予以论述,先讨论可用定位源。矿井中可用于定位信号测量的传感设备主要有信号强度测量模块、角度测量模块、时间测量模块、相位测量模块、IMU (Inertial Measurement Unit, 惯性测量装置, 包含 3 个单轴加速度计和 3 个单轴陀螺仪)、加速度计、陀螺仪、计步器、计时器、气压计、磁强计、风速计、温度计、激光雷达、毫米波雷达、声学传感器、红外传感器、可见光 LED、监控摄像机、光流计、视觉里程计等。这些传感设备可固定安装在巷道中,或以机车、机器人、无人机为承载平台,亦可由人员携带。

测量的属性值包括 RSSI、DOA、TOA、TDOA、PDOA、速度、加速度、步数、气压、磁场强度、温度、视觉信号等。还可利用数据库匹配增强定位能力,数据库信息可包含巷道地图、设备安装位置、标定影像、掘进进尺、割煤刀数等。

比如文献[5]构建了一个用于无人机的全源定位导航数据集,用到的传感器包括基本传感器(IMU 模块、气压计、GPS 模块)、全源探测传感器(光流计、双目相机、超声波传感器、深度相机、激光雷达),以及室内真值提供装置 Vicon 和室外真值提供装置 RTK (Real-time Kinematic)。数据集可用在 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, 同时定位与地图构建)、三维模型重建、障碍物躲避和无人机状态估计 4 种场景中。

接下来探讨单一矿井定位系统和全源矿井定位系统在定位服务器方面的功能差异。由于全源定位必须具有环境适应能力和按需组合定位源的能力,所以要求全源矿井定位系统具有环境识别能力,能够根据目标节点所处的环境条件选择最优的定位传感器组合进行定位信息采集^[6],这被称为环境识别与最优设备组合能力。为此,要求全源矿井定位系统具有自适应最优配置与即插即用能力^[7],可通过设计基于多源异构信息融合的自适应调节准则来实现,在此基础上进行最优定位,这被称为自适应融合与最优定位能力。为实现上述功能,需要攻克诸多关键技术,如定位传感器在线误差建模与评估、定位系统智能容错处理模型、统一的传感器接口(软硬件接口)、统一的时空标准、定位数据实时融合与滤波等。

例如,可通过基于因子图的方法融合不同类型传感器数据^[8],通过将每个传感器测量值编码为 1 个因子^[9],为定位系统提供自适应的、可插拔式传感器融合架构。在求解时,采用基于滑动窗口的增量平滑技术以降低计算量^[10],先通过短期平滑器估

计滑动窗口上的状态,再通过长期平滑器计算包括环闭约束在内的整个非线性问题的最优解。

值得注意的是,在进行最优定位传感器选择、最优定位信息融合与最优位置求解时,均需从具体应用场景进行考虑,并不是精度越高越好,因为更高的精度通常意味着更大的代价。对于无人采煤、无人驾驶等需求,定位精度通常需要达到厘米级;而对于工作调度中的人员定位,通常米级精度即可满足需求。

2 全源矿井定位关键技术

全源矿井定位是一种全新的定位模式,有大量关键技术亟需攻关,这里仅选择其中最为关键的 3 项予以探讨。首先,全源定位必须具有统一定位框架,用以整合不同厂家、不同技术、不同设备、不同地点的潜在定位设备,并能按需融入新技术和新方法,以解决环境自适应的问题。然后,需要解决定位信息的融合处理问题,即如何收集、传输和处理位置特征信号,并实现异构数据的融合。最后,定位系统本身是与通信系统密切协同的,全源定位需要考虑通信定位一体化设计,借以提高定位性能和降低系统成本。

2.1 统一定位框架技术

定位系统的位置解算一般有分布式和集中式 2 种方案。分布式方案依靠通信网络,在上层实现数据融合处理和定位,图 1 和图 2 均采用这种方案。集中式方案则依靠定位终端本身进行处理,要求定位终端能够处理多种定位信息源^[11]。矿井定位中分布式方案应用更为广泛。

全源定位不但需要考虑当前的可用设备和技术,还要能够接入将来可能出现的新设备和新技术,因此理想的全源定位框架应具有模块化、组合式、可扩充的特征。具有模块化特征意味着定位系统的组件在研发设计时无需从零开始,而是可以如同搭积木一样按需构建;具有组合式特征意味着定位可以从模块库中按需选择组件,构建最适合当前场景、当前需求的定位系统;具有可扩充特征意味着定位系统的结构是开放的,可以根据技术发展纳入新组件和新功能。

基于模块化、组合式、可扩充的要求,笔者提出了如图 3 所示的全源矿井定位框架^[12],其包括定位信号测量设备、距离求解算法库、位置解算算法库、融合定位引擎、定位结果优化算法库、定位数据库、目标位置服务等可拆卸模块。

定位信号测量设备测量可用于计算距离的属性值。距离求解算法库包含了主流的距离求解算

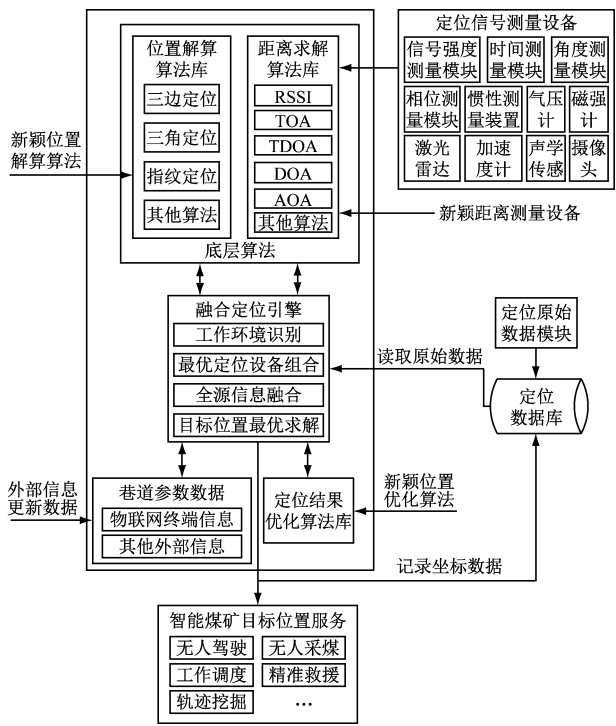


图 3 全源矿井定位框架

法^[13],以测得的距离属性值为输入,根据属性值类型和特征,选择合适的1种或多种距离求解算法计算出节点之间的距离,将计算结果交付给位置解算算法库。位置解算算法库选择合适的位置解算算法,计算出目标节点的当前位置。

在求解节点间距离和目标位置时,均需融合定位引擎的支持,它是全源定位框架的关键。融合定位引擎具有工作环境识别能力,进而从当前可用的定位信号测量设备中选择最优设备组合,组成当前的目标定位系统。另外,融合定位引擎需要具有全源信息融合能力,既可对原始测量属性值进行融合,也可对基于不同测量属性值计算出的多个距离信息进行融合,或者对基于不同距离信息求解出的目标位置进行融合,用以求解出目标位置的最优解。

在进行环境识别时,可借助巷道参数数据(如巷道分叉、拐弯等)、物联网终端信息等进一步提高识别准确度。在进行位置求解时,可借助定位数据库(设备安装位置、人员排班表、同类目标的历史运动规律等)^[14]进一步提高定位精度。求得目标精确位置后,可为矿井无人驾驶、无人采煤、精准救援等提供智能化的位置服务^[1,15]。

2.2 全源定位信息融合技术

全源定位信息融合将不同来源的信息统一表达成便于定位系统使用的信息^[16],它对测量属性值进行有机组织,实现信息的融合共享,达到提高定位精度的目的。按照融合层级的不同,可分为数据级融合、特征级融合和决策级融合,常见的融合处理算法

有加权平均、数理统计、选举决策、最优状态估计、机器学习等。

从融合处理算法中的数据流动过程看,可将全源定位信息融合分为静态融合和动态融合^[11]。对于静态融合方法,如果先验概率未知,可采用加权平均、最小方差等算法;如果先验概率已知,可采用最大似然估计法。常见的动态融合方法有卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波、无迹卡尔曼滤波、粒子滤波、基于因子图的方法等。

从数据融合是否需要集中式处理看,可将全源定位信息融合分为集中式融合和分布式融合。集中式融合方法具有1个集中式信息融合中心,各传感器测得的原始数据被传输到融合中心进行融合处理。在线性方差准则下,集中式融合方法可以得到全局最优估计,但是计算负担会随着传感器数量的增多而快速增加,且子系统故障会对整个定位系统产生较大影响,甚至导致系统崩溃。分布式融合方法采用层次性融合策略,信息共享算法是分布式融合的关键,用于分配子系统的信息共享因素,确定各路本地融合结果在融合中心的置信度水平。分布式融合方法的典型代表是联邦卡尔曼滤波^[17],如图4所示。每个参与融合的定位信号测量设备均有对应的子滤波器(采用卡尔曼滤波器),这些子滤波器独立完成相关信息的更新^[18]。主滤波器融合各子滤波器的结果,得到最终的优化定位结果。由于进行了本地状态估计,所以大幅降低了融合中心的计算量,并克服了子系统故障传递对整个系统的影响。

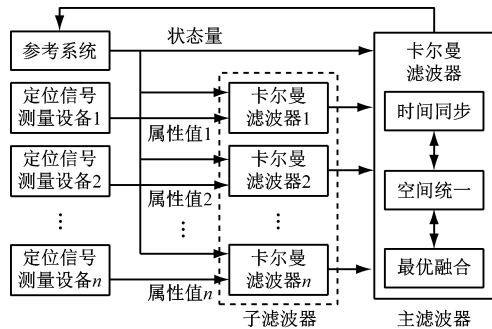


图 4 基于联邦卡尔曼滤波的全源定位融合

Fig. 4 All-source positioning fusion based on federated Kalman filter

2.3 通信定位一体化技术

通过同一个系统同时实现通信和定位功能,称为通信定位一体化。主流的矿井无线通信系统几乎都具有目标定位能力^[19],比如蜂窝通信系统、广播通信系统、透地通信系统可进行广域定位,WiFi、蓝牙、UWB可实现局域定位。然而,广域通信系统并未针对定位进行专门设计,定位性能不高;局域通信系统虽然也未针对定位进行专门设计,但是得益于

其信源密度高、信号作用距离短、部署灵活等优势，往往具有更优的定位精度。随着位置服务的作用越来越大,5G、蓝牙 5.0 从设计之初就考虑了高精度定位问题,定位精度有了大幅提升。

通信定位一体化通常有 2 种实现方式:① 信号层面一体化,即在设计通信信号体制时就考虑了定位能力,实现了通信与定位的紧耦合,比如 4G、5G、蓝牙 5.1 等。② 算法层面一体化,即通信系统并未针对定位进行专门设计,只能通过上层算法提供定位能力,实现了通信与定位的松耦合,比如 WiFi, 2G,3G 等。

目前,5G 已成为智能煤矿建设的首选无线通信系统,它是一种典型的紧耦合式通信定位一体化技术,其大规模 MIMO(Multi-Input Multi-Output,多输入多输出)、超高频段、自适应波束成型等技术都对提高定位精度大有裨益。与 4G 相比,5G 在定位方面具有如下优势:① 定位参考信号进一步改进,信号测距能力大幅提升。② 定位参考信号在 comb-6 资源映射模式基础上,增加了 comb-2 和 comb-4,定位参考信号的配置灵活性进一步提升。③ 增加了定位参考信号的周期配置,可采用连续播发的模式播发定位参考信号,从而提高定位性能。④ 定位参考信号具有 MIMO 下的波束管理功能,使得 5G 具备测角能力。

在 2019 年召开的 3GPP RAN1 #94b 会议中,明确了室内外水平定位精度分别为 3,10 m(80%),垂直定位精度为 3 m(80%)。工业物联网与车联网对 5G 的定位要求更为严格,分别为 0.2,0.1 m。在 4G 的 E-CID(Enhanced Cell-ID,增强小区识别)、OTDOA(Observed Time Difference of Arrival,观察到 达 时 间 差)和 UTDOA(Uplink Time Difference of Arrival,上行到达时间差)基础上^[20],5G 基站借助网络的大带宽和多波束优势,进一步支持 Multi-RTT(Multi-Round-Trip Time,多站往返时间)、UL-AOA(Up Link-Angle of Arrival,上行-到达角度)和 DL-AOD(Down Link-Time of Arrival,下行-到达时间)等定位技术。

考虑到矿井中的 UWB、蓝牙、WiFi 等定位系统已经较为成熟,可将 5G 技术与它们融合,以进一步提高定位性能。当前各种定位系统与 5G 的融合方案及其优缺点见表 1^[21],其中 5G NR(New Radio,新空口)是一种构建在 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,正交频分复用)基础上的全新空口方案。

表 1 5G 与主流定位系统融合方案

Table 1 Fusion schemes of 5G and major positioning system

融合方案	优点	缺点
5G NR	实现简单	在精度要求极高的区域不适用
5G+UWB/ 蓝牙 AOA	定位精度 30~ 50 cm	需单独部署定位基站
5G+传统蓝牙	传统蓝牙生态成熟	定位精度不高,为 1~3 m
5G+WiFi	组网灵活,定位 方式多样	WiFi6 尚未普及,传统 WiFi 方式定位精度不高
5G+SLAM	定位精度高	矿用 SLAM 技术有待 继续探索

3 智能煤矿全源定位实现途径

智能煤矿建设是煤矿企业安全生产的内在需求,是保障国家能源安全稳定的重要举措。以国家发展改革委、国家能源局等八部委联合发布《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》^[22]为标志,“推动智能化技术与煤炭产业融合发展,提升煤矿智能化水平,促进我国煤炭工业高质量发展”已成为全社会共识。由于智能煤矿建设目前普遍采用“端-边-云”模式,本文提出基于“端-边-云”的全源矿井定位系统实施架构(图 5),以便与煤矿智能化进程相适应。

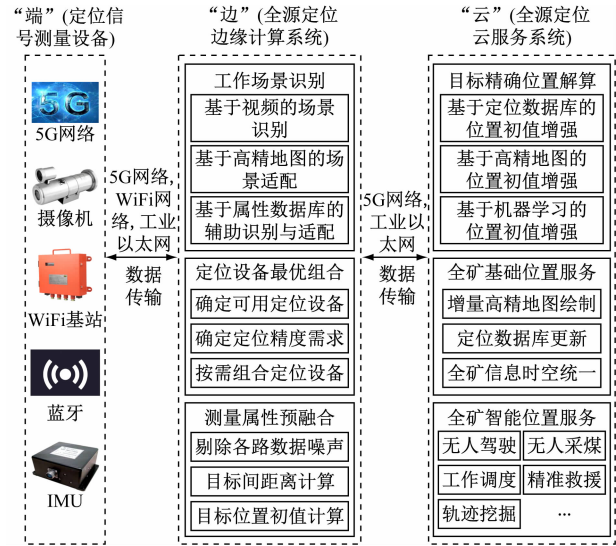


图 5 基于“端-边-云”的全源矿井定位系统实施架构

Fig. 5 Construction architecture of all-source mine positioning system based on terminal-edge-cloud

“端”即定位信号测量设备,这里将 5G 网络也作为定位系统“端”的一部分,因为 5G 网络在提供大容量、高带宽、低延时的数据传输服务的同时,也能够提供逼近 UWB 的定位精度,所以基于“网络即设备”和“网络即服务”的思想,在有 5G 网络覆盖的巷道区域,借用 5G 网络测量定位信息是智能煤矿

时代全源定位的应有之义。比如,工作面已成为多数煤矿示范建设 5G 网络和智能化应用的首选场景,可在工作面实现以 5G、捷联惯导、视频监控等技术为基础的全源定位,为少人/无人开采提供支撑。

“边”是部署在目标节点附近、就近处理定位信息的边缘服务器^[23]。比如,可在每个综采工作面和综掘工作面分别部署 1 台边缘定位服务器,用以完成以下功能。

(1) 识别待定位节点的工作场景。主要手段有基于监控摄像机视频的場景识别、基于矿井巷道高精地图的场景适配、基于属性数据库的辅助识别与适配。

(2) 根据工作场景进行定位设备的最优组合。首先,确定当前场景有哪些可用定位设备;然后,根据当前场景的性质和用户的需求,确定合适的精度等级;最后,从可用定位设备中选择能够满足用户精度需求的设备组合。

(3) 进行测量属性预融合并得到初步定位结果。主要操作包括:① 利用卡尔曼滤波等工具滤除数据噪声。② 利用去噪后的数据计算节点间距离,这些距离绝大多数是信标节点与目标节点之间的距离,如果用到 D2D(Device to Device,设备到设备)协同定位策略,还包括移动终端与移动终端之间的距离。③ 根据得到的距离计算目标节点位置,作为初步定位结果。若该结果满足应用需求,直接使用该结果,否则将定位初值和滤波后数据传输到云服务器做进一步增强处理。

“云”是用于对矿井目标进行增强定位并提供基于位置的智能服务的中心平台^[24]。全源定位云服务系统至少需具有以下功能:

(1) 在边缘定位服务器的基础上求解移动目标的精确位置。主要手段有基于定位数据的位置初值增强、基于高精地图的位置初值增强和基于机器学习的位置初值增强。前 2 种手段主要依赖于场景匹配,基于机器学习的手段利用人工智能领域的最新成果^[25],通过深度学习、支持向量机等方法提高定位精度。

(2) 为全源定位系统和智能煤矿集控平台提供基础位置支撑。主要包括:增量高精地图绘制,即根据当前的定位结果,不断扩充、修正矿井高精地图;及时更新用于支持全源定位的属性数据,确保边缘服务器和云服务器的可靠工作;对全矿信息进行时空校准,保证时间同步和空间统一。

(3) 提供基于精确位置和基础服务的全矿智能位置服务,具体可参考文献[1]。

4 结论

(1) 单一矿井定位系统的定位信标与定位标签之间采用单一通信技术和单一测距技术,其位置解算算法在系统建设好之后固定不变。组合矿井定位系统虽可采用 2 种或多种定位技术,但是被组合对象和位置求解算法依然固定不变。

(2) 矿井中除了已建设好的专用定位系统之外,还有很多可用于定位的资源,如监控摄像机、超声波系统、振动监测传感器、可见光 LED 等。全源矿井定位将这些可能手段按需组合,有望大幅提升矿井定位系统的灵活性、可扩充性、覆盖范围和定位精度。

(3) 全源矿井定位亟需解决场景识别、组合式统一定位框架、全源定位信息融合和通信定位一体化等技术难题,采用与智能煤矿主流建设模式相适应的“端-边-云”建设方式,充分借助矿用 5G 等最新建设成果,推进全源矿井定位落地实施,助力智能煤矿建设。

参考文献(References):

[1] 胡青松,张赫男,李世银,等.基于大数据与 AI 驱动的智能煤矿目标位置服务技术[J].煤炭科学技术,2020,48(8):121-130.
HU Qingsong, ZHANG Henan, LI Shiyin, et al. Intelligent coal mine target location service technology based on big data and AI driven[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(8): 121-130.

[2] 胡青松,张申,吴立新,等.矿井动目标定位:挑战、现状与趋势[J].煤炭学报,2016,41(5):1059-1068.
HU Qingsong, ZHANG Shen, WU Lixin, et al. Localization techniques of mobile objects in coal mines: challenges, solutions and trends[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(5): 1059-1068.

[3] 陈颖,马忠孝,贺峻峰.全源定位与导航技术发展概况和应用展望[C]//中国惯性技术学会第七届学术年会论文集,武汉,2015:275-277.
CHEN Ying, MA Zhongxiao, HE Junfeng. Development survey and application outlook in all source position and navigation[C]//Proceedings of the 7th Annual Academic Meeting of Chinese Society of Inertial Technology, Wuhan, 2015: 275-277.

[4] 戴海发,卞鸿巍,马恒,等.全源定位与导航的统一理论框架构建[J].导航定位与授时,2018,5(6):9-16.
DAI Haifa, BIAN Hongwei, MA Heng, et al. Unified theoretical framework construction of all source positioning and navigation[J]. Navigation Positioning and Timing, 2018, 5(6): 9-16.

- [5] 周强,邹丹平,裴凌,等. 微型无人机全源导航定位数据集[C]//第八届中国卫星导航学术年会论文集,上海,2017:29-35.
ZHOU Qiang, ZOU Danping, PEI Ling, et al. MAV datasets for all source positioning and navigation [C]//Proceeding of the 8th China Satellite Navigation Conference, Shanghai, 2017:29-35.
- [6] 韩晨. 面向全源导航的情境自适应传感器优化选择方法研究[D]. 上海:上海交通大学,2019.
HAN Chen. Optimization and selection in all source positioning and navigation [J]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2019.
- [7] 宋丽君,薛连莉,董燕琴,等. 全源定位与导航的发展与建议[J]. 导航与控制,2017,16(6):99-105.
SONG Lijun, XUE Lianli, DONG Yanqin, et al. Development and suggestions of all source position and navigation[J]. Navigation and Control, 2017, 16 (6):99-105.
- [8] CHIU H P. All source positioning and navigation [EB/OL]. [2020-10-03]. http://people.csail.mit.edu/chiu/projects_files/ASPN.htm.
- [9] CHIU H P, ZHOU X S, CARLONE L, et al. Constrained optimal selection for multi-sensor robot navigation using plug-and-play factor graphs [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, Hongkong, 2014:663-670.
- [10] CHIU H P, WILLIAMS S, DELLAERT F, et al. Robust vision-aided navigation using sliding-window factor graphs[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, 2013:46-53.
- [11] 严甲汉,郭承军. 全源定位与导航技术的研究[C]//第九届中国卫星导航学术年会论文集,哈尔滨,2018:205-209.
YAN Jiahuan, GUO Chengjun. Research on all source position and navigation technology[C]//Proceedings of the 9th China Satellite Navigation Conference, Harbin, 2018:205-209.
- [12] 胡青松,张亮,贾升煜,等. 一种软件定义的集成运动目标定位系统:CN107765210A[P]. 2018-03-06.
HU Qingsong, ZHANG Liang, JIA Shengyu, et al. An integrated mobile localization system based on software defined technology: CN107765210A [P]. 2018-03-06.
- [13] 胡青松,李世银. 无线定位技术[M]. 北京:科学出版社,2020.
HU Qingsong, LI Shiyin. Wireless localization technology [M]. Beijing: Science Publication Press, 2020.
- [14] WU Hao, CHENG Yongqiang, WANG Hongqiang. Data-driven passive localization with non-cooperative radiation sources via mutually inverse networks[J]. IEEE Communications Letters, 2020, 24(4):792-796.
- [15] 胡青松,杨维,丁恩杰,等. 煤矿应急救援通信技术的现状与趋势[J]. 通信学报,2019,40(5):163-179.
HU Qingsong, YANG Wei, DING Enjie, et al. State-of-the-art and trend of emergency rescue communication technologies for coal mine[J]. Journal on Communications, 2019, 40(5):163-179.
- [16] 孙金龙. 极地地区组合导航自适应多源信息融合方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
SUN Jinlong. Research on adaptive multi-source information fusion methods for polar integrated navigation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.
- [17] 安迪. 智能终端多源定位融合及其效能评估算法的设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
AN Di. Multi-source fusion positioning and effectiveness evaluation algorithms based on intelligent terminal[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [18] MENG Qian, HSU L. Integrity monitoring for all-source navigation enhanced by kalman filter based solution separation [J/OL]. IEEE Sensors Journal [2020-10-23]. DOI:10.1109/JSEN.2020.3026081.
- [19] 尹露,马玉峥,李国伟,等. 通信导航一体化技术进展[J]. 导航定位与授时,2020,7(4):64-76.
YIN Lu, MA Yuzheng, LI Guowei, et al. Research progress of communication-positioning integrated technology[J]. Navigation Positioning and Timing, 2020, 7(4):64-76.
- [20] 中国移动. 精确定位联盟. 室内定位白皮书(2020) [EB/OL]. [2020-10-25]. https://www.sohu.com/a/403141760_653604.
China Mobile, Accurate Localization Alliance. White paper of indoor positioning (2020) [EB/OL]. [2020-10-25]. https://www.sohu.com/a/403141760_653604.
- [21] 中兴通讯股份有限公司,中国移动通信有限公司研究院,清研讯科(北京)科技有限公司,等. 5G 室内融合定位白皮书 [EB/OL]. [2020-10-28]. https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/202010141410.
ZTE Corporation, Research Institute of China Mobile Communications Co., Ltd., Qingyan Technology (Beijing) Technology Co., Ltd., et al. White paper of 5G indoor integrated positioning [EB/OL]. [2020-10-28]. https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/202010141410.
- [22] 国家发展改革委,国家能源局,应急管理部,等. 关于

印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知
(发改能源〔2020〕283号) [EB/OL]. [2020-11-06].
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/05/content_5487081.htm.

National Development and Reform Commission,
National Energy Administration, Emergency
Department, et al. Notice on printing and distributing
the guiding opinions on speeding up the intelligent
development of coal mines (No. 283, development and
reform energy〔2020〕) [EB/OL]. [2020-11-06].
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/05/content_5487081.htm.

[23] 施闯, 辜声峰, 景贵飞, 等. 雾定位及其应用研究[J].
全球定位系统, 2019, 44(5): 1-9.
SHI Chuang, GU Shengfeng, JING Guifei, et al. Fog
positioning and its applications[J]. GNSS World of
China, 2019, 44(5): 1-9.

[24] 施闯, 章红平, 辜声峰, 等. 云定位技术及云定位服务
平台[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(8):
995-999.
SHI Chuang, ZHANG Hongping, GU Shengfeng,
et al. Technology of cloud positioning and its platform
for positioning service[J]. Geomatics and Information
Science of Wuhan University, 2015, 40(8): 995-999.

[25] PENG Bile, SECO-GRANADOS G, STEINMETZ E,
et al. Decentralized scheduling for cooperative
localization with deep reinforcement learning [J].
IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68
(5): 4295-4305.