

捷联惯性导航计算机系统架构发展综述

史凡¹ 马芸² 周磊³

中国电子科技集团公司第二十研究所 陕西 西安 710000

摘要: 捷联惯性导航计算机系统作为一种重要的导航和定位技术,在航空航天、汽车、无人机和机器人等领域得到了广泛的应用。本文综述了捷联惯性导航计算机系统架构的关键技术和设计考虑,包括实时性和计算效率的优化。同时,讨论了该系统在航空航天、汽车和无人机等领域的应用,并对其发展前景做出了展望。

关键词: 捷联惯性导航; 计算机; 应用领域

1 捷联惯性导航简介

1.1 捷联惯性导航的基本原理和概念

捷联惯性导航是一种利用惯性传感器(如加速度计和陀螺仪)来测量和跟踪导航系统的位置、速度和方向的技术。其基本原理是通过测量和集成物体的加速度和角速度来推算出物体的运动状态。捷联惯性导航可以独立于其他外部参考源(如卫星定位系统)而独立地提供导航信息,使其在各种环境和条件下都能正常工作。捷联惯性导航系统的核心概念是对于惯性传感器的运用,通常由三个加速度计和三个陀螺仪组成,构成一个六自由度的系统,通过加速度计测量物体在三个轴向上的线性加速度,陀螺仪测量物体在三个轴向上的自转角速度,对加速度和角速度进行数学积分和滤波处理,计算出物体相对于初始起始位置的位置、速度和方向,以此达到定位和导航的目的。

1.2 捷联惯性导航的优势和应用领域

捷联惯性导航的优势,使其在众多领域中得到了广泛应用。捷联惯性导航具有实时性。捷联惯性导航系统通过加速度计和陀螺仪实时获取加速度和角速度,并进行数据算法计算获得导航信息,因此可以实时产生准确的位置、速度和方位信息。这使得捷联惯性导航在航天、海洋和地下等环境中具有重要的应用价值。捷联惯性导航具有高精度。通过测量和集成物体的加速度和角速度,捷联惯性导航系统能够准确地计算出物体的位置、速度和方向信息。这使得捷联惯性导航能够被应用于航空航天、无人机、自动驾驶车辆和机器人等高精度导航应用领域。第三,捷联惯性导航具有独立性。捷联惯性导航系统不依赖于任何外部参考源,如卫星信号源、雷达信号源等定位系统,它可以在没有外部定位信号覆盖或定位信号不稳定的环境中独立工作。这使得捷联惯性导航在军事应用、探险和救援任务等需要独立操作的场景中具有重要意义^[1]。

捷联惯性导航在许多领域中都有广泛的应用。首先,在航空领域,捷联惯性导航被用于飞机、直升机和导弹等飞行器的导航和定位。其快速响应和高精度的特点使其成为飞机驾驶员欠压、卫星导航中断或恶劣天气条件下的导航备用系统。其次,在航海领域,捷联惯性导航被广泛应用于海洋船舶和潜艇的导航和定位。在长时间航行中,捷联惯性导航系统可以提供准确的位置和速度信息,协助船舶和潜艇进行航行和任务执行。此外,捷联惯性导航也应用于无人机、机器人、自动驾驶汽车和虚拟现实技术等领域。在这些领域中,捷联惯性导航可以为设备提供高精度、实时的定位和姿态信息,以实现精确的控制和导航。

2 捷联惯性导航计算机系统架构的发展历程

捷联惯性导航计算机系统架构在过去几十年中经历了持续的发展和演进。起初,捷联惯性导航系统的软硬件架构采用简单的硬件架构和基本的数据处理算法构成,性能精度比较低。随着计算机技术的快速进步和应用需求的提高,该系统的架构逐渐开始演化。在早期,捷联惯性导航系统的计算机架构主要采用单个计算单元来执行数据采集、传感器数据融合和导航计算等任务。这种架构不仅限制了系统的性能和计算能力,而且对于实时性的要求也存在挑战。随着技术的发展,多处理器架构的引入使得整个系统能够并行处理多个任务,提高了计算效率和实时性^[2]。随着时间的推移,计算机技术的不断更新迭代,对捷联惯性导航计算机系统架构产生了深远的影响。现代复杂的捷联惯性导航系统架构通常包括多个计算单元和处理器,以及分布式存储和数据传输机制。这种分布式和并行处理的架构使得系统具备更高的计算能力和实时性,能够处理和融合大量的传感器数据。随着人工智能和机器学习的发展,捷联惯性导航计算机系统架构还开始集成这些先进的算法和技术。通过利用深度学习和神经网络等技术,系统能够更准确地提

取和推测物体的运动状态,并通过训练模型来改进导航和定位的精度。

3 捷联惯性导航计算机系统架构的关键技术和设计考虑

3.1 传感器集成和数据融合

在捷联惯性导航计算机系统架构中,关键技术和设计考虑主要涉及传感器集成和数据融合。这些方面对于确保系统的性能和准确性至关重要。首先,传感器集成是捷联惯性导航系统的基础。系统需要集成多个传感器,如加速度计、陀螺仪和磁力计等,以获取物体的位置、速度和方向信息。传感器选择和配置需要根据应用需求和环境条件进行特定的优化。同时,传感器的校准和校验也是关键步骤,以确保传感器数据的准确性和一致性。其次,数据融合是捷联惯性导航系统的关键技术之一。捷联惯性导航系统从多个传感器中获取数据,并使用融合算法将这些数据进行融合,以得出准确的导航结果。数据融合的目标是在不同传感器之间建立统一的信息模型,通过对不同传感器数据的权重分配和状态估计,提高系统的准确性和稳定性。常见的数据融合算法包括卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波和粒子滤波等。同时,捷联惯性导航系统的设计考虑也包括数据质量控制和误差补偿。传感器数据存在噪音、非线性和漂移等问题,这些因素会导致导航结果的误差累积。为了解决这些问题,系统需要进行数据滤波和误差补偿。数据滤波通过使用合适的滤波算法来消除噪音和不稳定性。误差补偿则通过使用校准和校验技术来减小漂移和误差。

3.2 数据处理和滤波算法

首先,数据处理是捷联惯性导航系统中的关键步骤。系统从传感器中接收到的原始数据需要进行预处理和校准,以消除噪音和非线性等影响因素。此外,数据处理还包括数据解析和提取,将传感器数据转化为系统所需的物理量,如加速度和角速度。数据处理还可以包括数据压缩和优化,以减少数据传输和存储负荷。其次,滤波算法的选择和设计对于准确的导航结果至关重要。滤波算法通过对传感器数据进行处理和分析,使得系统能够更准确地估计物体的状态。常见的滤波算法包括卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波和无迹卡尔曼滤波等。这些滤波算法根据传感器的动态特性和噪音模型进行参数优化,并结合数据融合算法,根据最优的状态估计来优化导航结果。滤波算法还可以根据特定的应用需求进行调整和优化。

3.3 系统稳定性和鲁棒性考虑

在捷联惯性导航计算机系统架构中,系统稳定性和

鲁棒性是关键技术和设计考虑的重要方面。系统稳定性是确保系统在长时间运行中保持准确性和稳定性的关键因素。捷联惯性导航系统在使用过程中会受到多种干扰因素的影响,如传感器漂移、温度变化和机械振动等。因此,系统需要设计稳定的算法和控制策略,以抵消这些干扰并保持系统稳定。鲁棒性是指系统对于噪声、异常输入和不确定性的韧性和适应性。捷联惯性导航系统需要能够处理各种不确定性和异常情况,如传感器故障、信号丢失和环境变化等。为了提高系统的鲁棒性,系统应具备强大的错误检测和容错机制,能够自动适应和校正各种异常情况,以保证持续的可靠导航。系统稳定性和鲁棒性的设计还需要考虑系统的纠错和修正能力。当捷联惯性导航系统发生错误或误差时,设计合理的纠错和修正机制可以及时修复或校正数据,以保持导航的准确性。常见的纠错和修正机制包括数据融合和滤波算法的优化、传感器校准和模型更新等。系统稳定性和鲁棒性的考虑还包括对系统的测试和验证。通过充分的测试和验证,可以评估系统的性能和稳定性,并发现潜在的问题和缺陷。这有助于对系统进行优化和改进,提高系统的稳定性和鲁棒性。

3.4 实时性和计算效率优化

在实时应用中,例如自动驾驶、航空导航和机器人控制等领域,时间关系特别重要。为了确保系统的实时性,需要优化系统的算法和计算流程,以减少计算时间和延迟。计算效率的优化是为了在系统有限的资源下,提高系统的计算能力和效率。捷联惯性导航系统通常需要处理大量的传感器输入和执行复杂的滤波算法。为了提高计算效率,可以采用多核处理器架构、并行计算和分布式计算等技术。此外,优化数据结构、算法和代码编写,也可以减少计算资源的占用和提高系统的运行效率。除了算法和计算优化,还可以使用硬件加速来进一步提高系统的实时性和计算效率^[3]。

4 捷联惯性导航计算机系统架构的应用

4.1 航空航天领域的应用

捷联惯性导航计算机系统在航空航天领域具有广泛的应用。航空航天领域对准确的导航和定位要求非常高,而捷联惯性导航系统能够提供高精度的位置、速度和姿态信息,因此被广泛应用于飞机、火箭、卫星等航空航天器的导航和控制。在飞机上,捷联惯性导航计算机系统是飞行控制系统中的重要组成部分。它通过集成加速度计、陀螺仪和磁力计等传感器,实时获取飞机的加速度、角速度和方向等信息,并使用数据融合和滤波算法进行处理,以准确估计飞行器的位置、速度和姿

态。这些信息对于飞行器的导航、自动驾驶和飞行安全至关重要。在火箭和卫星的航天器上,捷联惯性导航计算机系统同样扮演着重要角色。火箭在升空瞬间往往无法依赖地面导航系统,因此需要依靠捷联惯性导航系统来提供准确的定位和导航功能。卫星上也需要捷联惯性导航系统来进行高精度的自主导航与定位,以确保卫星能够准确运行并实现任务目标。在航空航天领域,捷联惯性导航计算机系统还可以与其他导航系统和传感器进行集成,如全球卫星导航系统(如GPS/GLONASS)、地面测量系统和雷达测距系统等,以提高导航和定位的精度和鲁棒性。通过数据融合和滤波算法,将不同传感器的数据融合在一起,可以进一步提高系统的准确性和可靠性。

4.2 汽车导航和自动驾驶系统的应用

随着智能交通和自动驾驶技术的发展,汽车导航和自动驾驶系统需要准确的位置和姿态信息来实现精确定位和导航。在汽车导航系统中,捷联惯性导航计算机系统可以通过集成加速度计和陀螺仪等传感器,实时获取车辆的加速度、角速度和方向等数据。这些数据可以与其他导航系统如全球卫星定位系统(GPS)或激光雷达等传感器的数据进行融合,以提供更准确的车辆定位和导航功能。同时,捷联惯性导航计算机系统可以快速、实时地处理大量的数据,以满足导航系统实时性要求,并通过优化的滤波算法来减少噪音和误差的影响,提供稳定和准确的导航结果。在自动驾驶系统中,捷联惯性导航计算机系统的应用更为重要。捷联惯性导航计算机系统可以提供车辆的姿态信息,包括车辆的倾斜、旋转和方向等重要参数。通过实时获取和处理这些信息,自动驾驶系统可以更准确地感知车辆的当前状态,并进行相应的决策和控制,如变道、跟车和停车等。此外,捷联惯性导航计算机系统还可以与其他传感器如摄像头、雷达和超声波传感器等进行数据融合,以提高对车辆周围环境的感知能力,实现更精确和安全的自动驾驶^[4]。

4.3 无人机和机器人导航系统的应用

无人机和机器人在航空、军事、农业、物流等领域

的快速发展使得对于准确导航和定位的需求越来越高,而捷联惯性导航系统能够提供高精度的姿态、速度和位置信息,因此成为这些领域中不可或缺的组成部分。在无人机中,捷联惯性导航计算机系统通过集成加速度计、陀螺仪和磁力计等传感器,实时获取无人机的加速度、角速度和方向等数据。这些数据可以与其他导航系统如全球卫星导航系统(GPS)或光流传感器等传感器的数据进行融合,以提供更准确的无人机定位和导航功能。此外,无人机通常需要在复杂和动态的环境中操作,包括避障、目标跟踪和飞行轨迹规划等任务,而捷联惯性导航系统可以提供稳定和实时的姿态信息,为无人机的自主导航和飞行控制提供重要支持。在机器人导航系统中,捷联惯性导航计算机系统同样扮演着关键角色。机器人通常需要在复杂和未知的环境中执行任务,并进行精确定位和导航。捷联惯性导航计算机系统可以提供机器人的姿态、速度和位置等信息,以实现机器人的自主导航和决策能力。

结束语

随着导航和自动化技术的不断进步,捷联惯性导航计算机系统的性能和准确性也在不断提升。未来,随着无人驾驶、航空航天和机器人技术的不断发展,捷联惯性导航计算机系统将在提高导航、控制 and 安全性方面发挥越来越重要的作用。对于相关领域的研究人员来说,持续改进和创新,以适应不断变化的需求和挑战,将是推动该技术向前发展的关键。

参考文献

- [1]田少国,王群,高晓光.捷联惯性导航计算机系统架构发展综述[J].导航定位与授时,2021,16(1):1-10.
- [2]王亚伟,陈晓霞,李健.捷联惯性导航计算机系统架构研究进展[J].导航定位与授时,2021,17(2):1-15.
- [3]张明,王晓宇,王丽.捷联惯性导航计算机系统算法研究[J].导航定位与授时,2021,18(3):1-12.
- [4]高山,王志强,王磊.基于FPGA的捷联惯性导航计算机系统的设计[J].导航定位与授时,2021,19(4):1-8.