

2024

# 多源融合导航技术的发展与应用

汇报人：第六组 王震 蓝秦隆 李文浩 刘宪 易流





# 目录

CONTENT

01

多源融合导航技术概述

02

关键技术与算法

03

应用需求及场景

04

组合导航与多源融合导航

05

总结与展望



PART 01

# 多源融合导航技术概述



# 技术背景与意义



## 产业应用的发展

无人机、机器人、自动驾驶等技术的快速发展要求高精度位置信息服务，多源融合导航技术应运而生，以满足连续、可靠、无缝的高精度定位需求。

拒止定位



## 技术挑战

单一导航系统在特定条件下的局限性，如卫星信号遮挡、电磁干扰或传感器故障等问题，促使多源融合导航技术的发展。

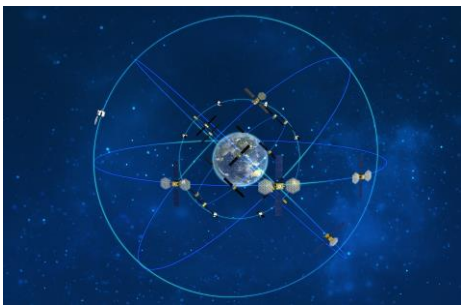


# 基本导航技术

## 01

### 卫星导航系统

由导航卫星、地面台站以及用户定位设备组成，提供全球覆盖的定位服务。



## 02

### 惯性导航技术

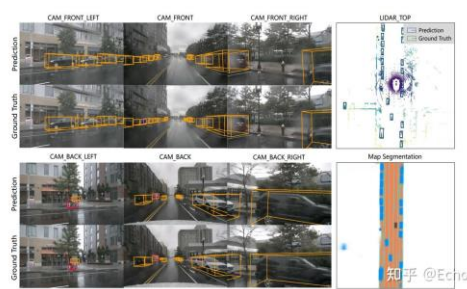
利用陀螺和加速度计测量目标的角速率和加速度，通过积分运算计算位置信息及速度信息。



## 03

### 光/声学导航

利用光学或声学技术进行导航和定位，适用于特定环境。



## 04

### 典型室内定位方法

目前室内定位方法主要包括无线传感器网络定位、超宽带定位、蓝牙定位、WLAN 定位等等。



# 多源融合导航技术概念

## 概念

集成和融合多个不同类型传感器或信息源的数据，提高导航系统的精度、可靠性和鲁棒性。

## 目的

克服单一导航系统局限性，提供持续且准确的定位和导航服务



## 技术互补

### ➤ 视觉惯性导航：

- 在弱纹理、高动态等场景下，视觉惯性系统整体性能退化
- 随着导航时间增加，需要依赖闭环修正抑制累积误差，在大尺度车载场景下较难形成闭环条件，误差累积不可避免

### ➤ 激光雷达

- 重复纹理、高动态环境中定位性能下降
- 回环检测能力弱，累积误差较难消除

# 技术范畴与分类



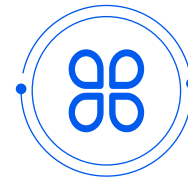
## 根据融合结构特性

多源导航定位可以分为**集中式融合算法**、**并行式融合算法**和**序贯式融合算法**。这些算法旨在提升导航系统的综合性能，使其更加高效。



## 根据多源数据融合方法

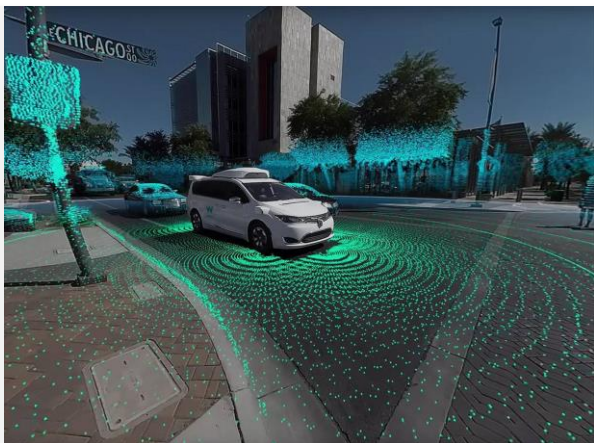
多源传感器融合可以分为**概率统计方法**和**神经网络方法**。概率统计方法包括估计理论、卡尔曼滤波、假设检验、贝叶斯方法等。神经网络方法，如BP神经网络和RBF神经网络，虽然应用尚不成熟，但也被用于特定情况下的传感器数据融合。



## 融合算法层次结构

多传感器融合在结构上按其融合系统中信息处理的抽象程度，主要划分为**数据层融合**、**特征层融合（紧）**和**决策层融合（松）**。数据层融合涉及直接将传感器观测数据融合，特征层融合则是在提取特征后进行融合，而决策层融合则是在决策层面上进行信息的综合处理。

# 发展前景



## 自动驾驶领域的需求增长

自动驾驶技术的发展对多传感器融合技术提出了更高的要求。传感器融合技术在自动驾驶车辆中扮演着至关重要的角色，其协作性能直接决定了自动驾驶车辆的安全性。随着自动驾驶技术的进步，对传感器融合技术的需求将持续增长。（导远）



## 广泛的应用场景

多源融合导航技术不仅在自动驾驶领域有应用，在遥感、机器人系统、人机交互、目标识别和跟踪、SLAM（同时定位与地图构建）等多个领域都有广泛的应用。



## 关键技术的发展

多源融合导航的关键技术包括微集成技术和多源信息融合导航算法。微集成技术的发展有助于实现传感器的小型化、高度集成和深度集成，而多源信息融合导航算法的发展趋势是并行计算，以提高计算效率和准确性。



PART 02

# 关键技术与算法



# 数据预处理技术



## 同步与校准

确保不同传感器数据在同一时间基准上，进行定期校准以确保数据准确性。



## 去噪技术

采用低通滤波器、中值滤波器等方法去除传感器数据中的噪声。



## 校准

每个传感器都有其固有的误差特性，因此需要定期进行校准以确保数据的准确性。校准方法可以是静态校准（实验室环境）或动态校准（实际运行环境中）（初始化）。

# 信息融合算法

卡尔曼滤波 (Kalman Filter, KF)

- 1 适用于线性系统的最优估计，通过递归方式估计系统状态。

扩展卡尔曼滤波 (Extended Kalman Filter, EKF)

- 2 处理非线性系统，通过局部线性化处理非线性问题。

粒子滤波 (Particle Filter, PF)

- 3 适用于非线性、非高斯系统的贝叶斯估计方法，通过蒙特卡洛采样逼近后验概率分布。

无迹卡尔曼滤波 (Unscented Kalman Filter, UKF)

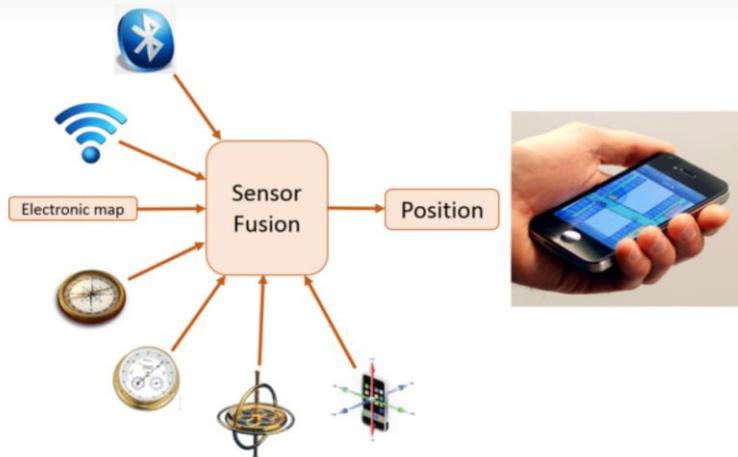
- 4 另一种处理非线性系统的卡尔曼滤波变体，通过无迹变换来近似非线性函数。UKF通常比EKF更准确。

联邦滤波 (Federated Filter, FF)

- 5 将多个传感器的信息分别处理后再进行融合，适用于分布式系统。FF可以提高系统的鲁棒性和容错能力。



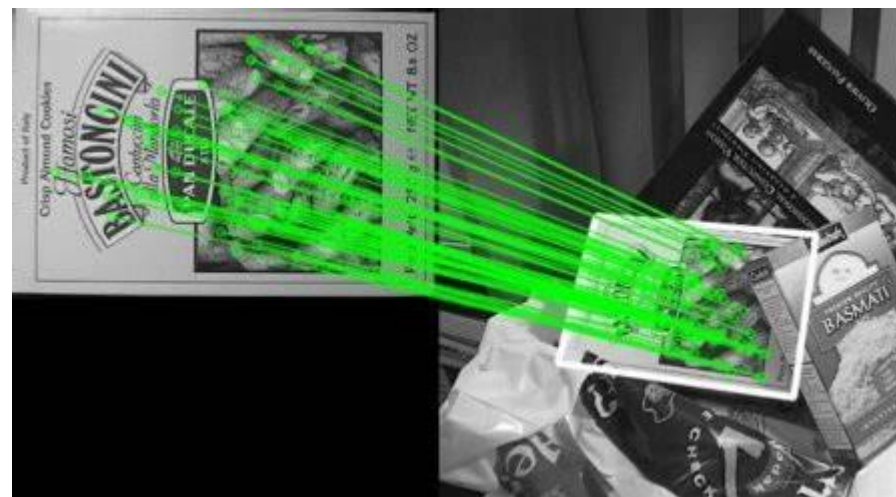
# 多传感器数据关联与配准



## 时空配准

将不同传感器数据在时间和空间上进行匹配，确保数据一致性。

01



## 特征匹配

在视觉或激光雷达等感知数据中找到相同的特征点，便于后续融合处理。

02

# 误差建模与自适应



## 误差建模

对传感器误差进行建模，包括偏置、尺度因子误差、漂移等。



## 在线校准

在系统运行过程中动态地调整传感器参数，以适应环境变化。在线校准可以使用自适应滤波器或机器学习方法。



## 自适应滤波

根据系统性能和环境变化自动调整滤波器参数，以优化估计效果。自适应滤波可以使用递归最小二乘法（RLS）或自适应卡尔曼滤波。

# 人工智能技术

## 01 数据处理

(1) 基于深度学习的方法进行多源传感器数据的自动化校准与噪声过滤；

(2) 信息融合方面，利用递归神经网络（RNN）或长短期记忆网络（LSTM）来动态调整滤波参数，以适应不同的环境条件，实现自适应滤波；使用深度学习模型（如Siamese网络）来匹配不同传感器（如摄像头和激光雷达）捕获的特征，从而提高数据的一致性和准确性，实现多源数据之间的关联。

## 03 优化性能

(1) 能耗管理：通过机器学习算法，如回归模型或强化学习，可以优化传感器和处理单元的能耗，延长电池寿命。例如，根据环境和任务需求动态调整传感器的工作频率。

(2) 计算资源优化：利用深度学习中的模型压缩技术（如剪枝、量化）可以减少模型的计算复杂度，提高实时处理能力。这在资源受限的嵌入式系统中尤为重要。

## 02

## 决策与路径规划

(1) 行为预测：通过序列模型（如LSTM或Transformer）可以预测行人、车辆和其他动态对象的行为，从而提前做出反应。例如，在自动驾驶中，预测周围车辆的可能动作，以做出安全的驾驶决策。

(2) 路径规划：强化学习（如Q-learning、Deep Q-Networks, DQN）可以用于动态路径规划，使导航系统能够根据环境变化和目標动态调整路径。此外，基于模型的强化学习（MBRL）可以进一步提高路径规划的效率和适应性。

(3) 自适应控制：通过强化学习或其他自适应算法，系统可以在检测到环境变化或故障后自动调整控制策略，以维持系统的正常运行。

## 04

## 人机交互

(1) 自然语言处理：通过自然语言处理（NLP）技术，可以使导航系统更好地理解用户的语音指令，并提供更加自然的交互体验。例如，使用语音识别和语义理解技术来处理用户的命令。

(2) 个性化推荐：利用用户的历史数据和偏好，通过推荐系统提供个性化的导航建议和服务。例如，根据用户的出行习惯和偏好推荐最佳路线。

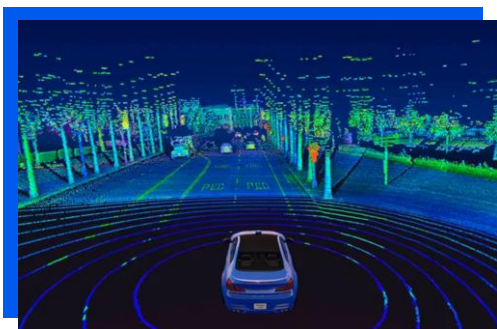


PART 03

# 应用需求及场景



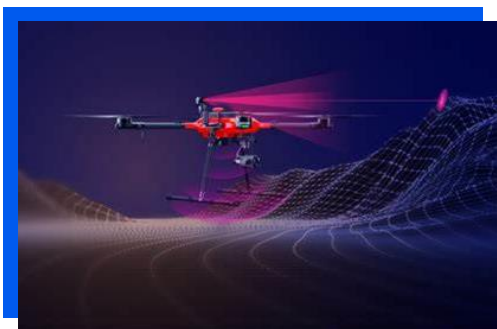
# 高精度定位需求



01

## 自动驾驶领域

自动驾驶汽车需要高精度地图匹配和定位能力，确保安全可靠行驶。



02

# 无人机应用

无人机需要精确定位以执行复杂飞行任务，多源融合导航技术帮助保持稳定导航。



03

## 智能农业

在现代农业中，如精准农业，高精度定位对于播种、施肥、收割等操作至关重要。多源融合导航可以提供必要的精确定位，帮助实现自动化和优化作物管理。



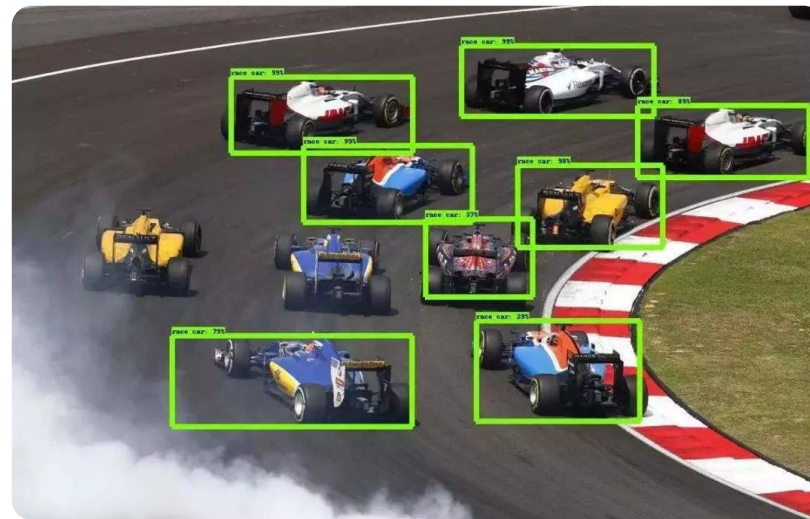
# 实时性需求

实时交通导航



结合GPS、蜂窝网络、交通摄像头等提供实时路况信息，优化路线选择。

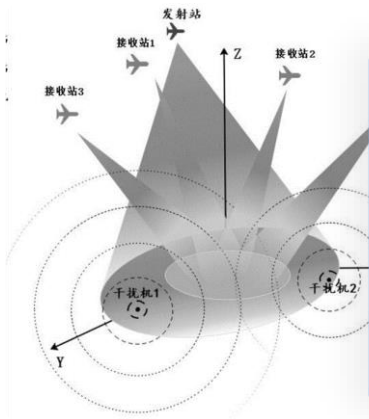
运动物体追踪



结合多种传感器提供连续、准确的位置信息，用于体育赛事、野生动物追踪等领域。



# 安全与隐私保护需求



## 防欺骗和抗干扰

多源融合导航技术提高系统的抗欺骗和抗干扰能力，适用于军事或高安全性要求的应用。

## 数据安全

采用加密和其他安全措施保护用户数据，确保收集和处理位置数据的安全性和隐私保护。



# 低功耗与小型化需求



## 便携设备

优化算法和硬件设计，满足智能手机、可穿戴设备等便携式电子设备的低功耗和小型化需求。

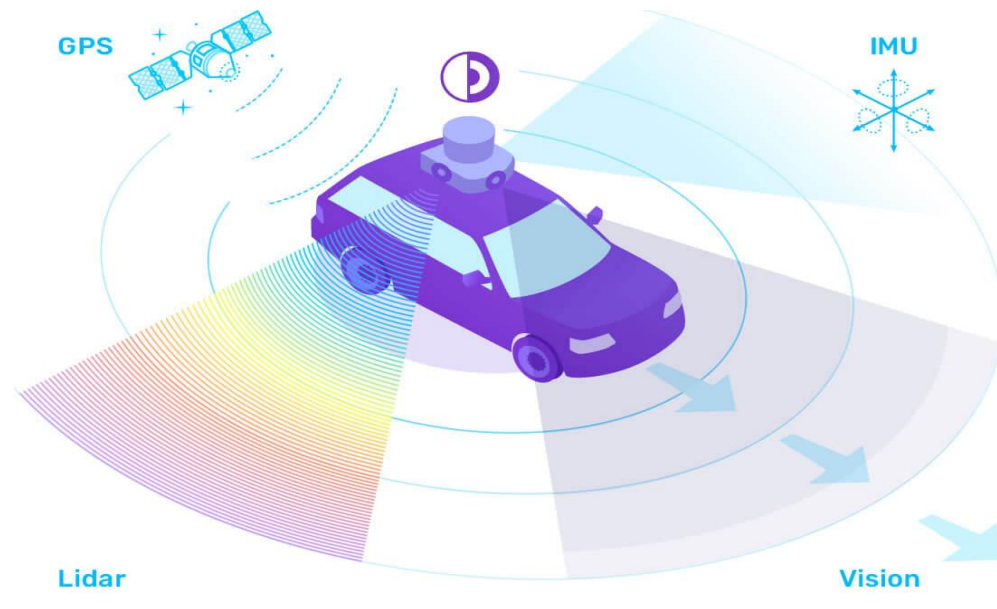
PBox

## 长时间续航

低功耗的多源融合导航技术延长无人机或无人车等设备的续航时间。

## 自动驾驶

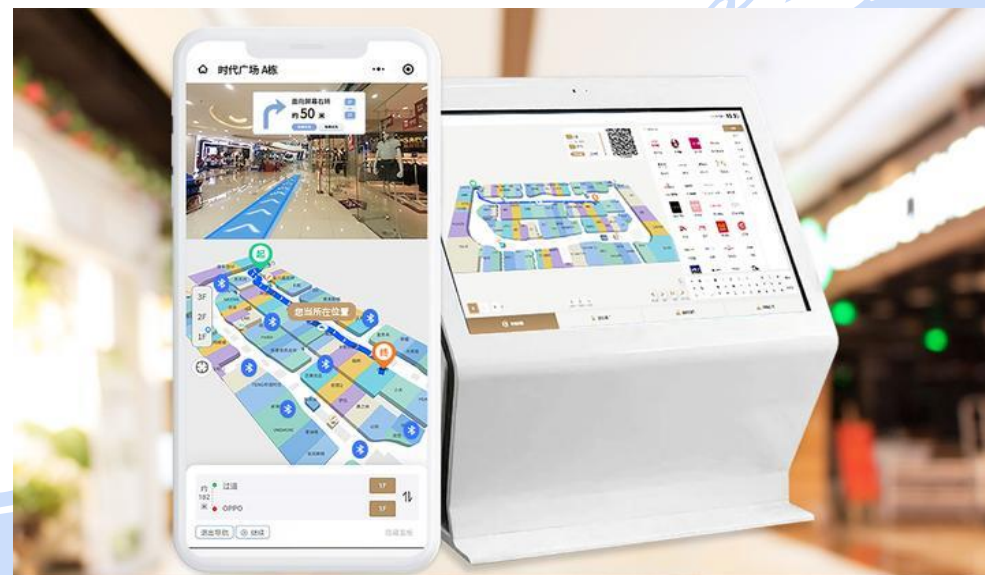
通过结合多种传感器和信息源，为车辆提供精确、可靠且实时的位置信息，这对于确保无人驾驶汽车的安全和高效运行至关重要，表现在精确定位与地图匹配、环境感知与障碍物检测、路径规划与决策制定等多个方面。



## 室内导航

由于室内环境的复杂性，如建筑物的遮挡、多路径效应等，传统的卫星导航系统如GPS在室内往往无法提供足够的定位精度。多源融合导航技术通过结合多种传感器和信息源，包括但不限于Wi-Fi、蓝牙信标（Beacon）、超宽带（UWB）、惯性测量单元（IMU）、视觉定位（如SLAM技术）等，可以有效克服这些限制，提供更精准的定位服务。诸如商业综合体与购物中心、医院、机场和火车站、仓库和物理中心、矿山和地下掩体等等。

chen





PART 04

# 从组合导航到多源融合 导航



# 组合导航基础

## 概念与原理

组合导航是指将两种或两种以上具有不同特性的导航系统（如惯性导航系统INS、全球定位系统GPS等）组合起来，以提高导航系统的整体性能。这些导航系统通常是基于不同的物理原理工作的，因此它们的优点和缺点往往是互补的。组合导航系统旨在通过利用这些互补特性来提供更稳定、更准确的导航结果。

## 特点

（1）互补特性：组合导航系统中，各子系统之间的性能互补至关重要。例如，惯性导航系统能够在短时间内保持较高的精度，但其误差随时间积累；而GPS虽然长期稳定性较好，但在某些环境下（如城市峡谷、室内）信号可能会受到干扰。通过将两者结合，可以克服各自的缺点。

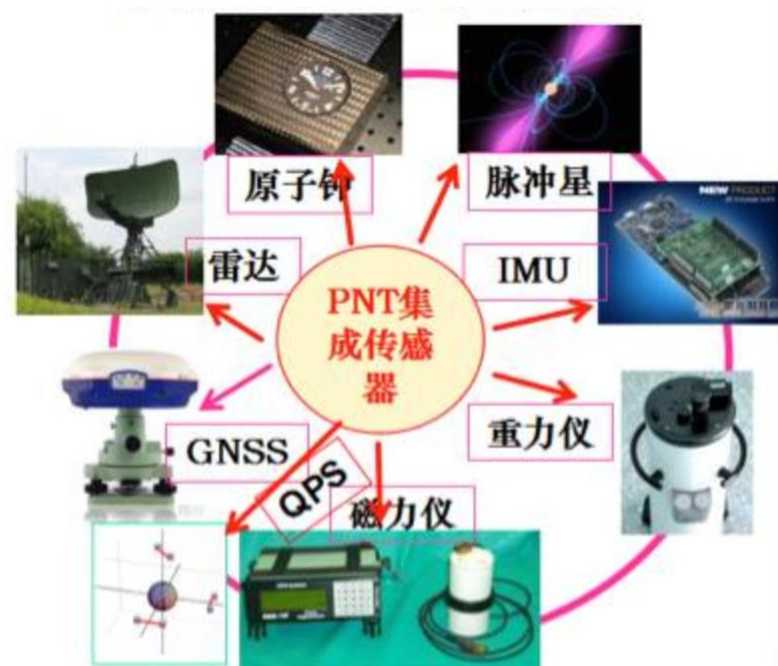
（2）信息融合：组合导航的关键在于如何有效地将来自不同导航子系统的数据进行融合。常用的方法包括回路反馈法和最优估计法（如卡尔曼滤波）。卡尔曼滤波能够从概率统计最优的角度估计出系统误差并消除之，因此在组合导航系统中得到了广泛应用。



# 多源融合的优势

杨元喜院士：

多源组合导航和融合导航这两个概念，组合导航强调一个平台多源信息互补，而融合导航则是指同一个平台不管有多少传感器，只能输出唯一的导航信息。融合导航的特点是信息、基准、时间的唯一性，同时必须以组合导航做支撑，否则谈不上融合。



融合导航是组合导航基础上的发展

多源融合导航是在组合导航的基础上进一步发展而来，它不仅仅局限于将不同类型的导航系统组合起来，而是更加注重对多种传感器数据的深度融合。



# 差异剖析

01

## 信息的集成

- **组合导航：**指的是将两个或更多个不同类型的导航系统（例如惯性导航系统INS和全球定位系统GPS）结合起来。这些系统往往基于不同的物理原理运作，各自有着特定的优势和局限。组合导航的重点在于通过合理地结合这些系统来弥补各自的不足，从而提高整体导航性能。例如，GPS提供了长期稳定的位置信息，而INS则能在短期内维持较高的精度，尤其是在GPS信号不可用的情况下。
- **多源融合导航：**更加广泛，它不仅仅局限于导航系统本身，还涵盖了更多样化的信息源，包括但不限于视觉传感器、雷达、激光雷达（LiDAR）、超宽带（UWB）、Wi-Fi信号、蓝牙信标等。这意味着多源融合导航不仅仅是将不同类型的导航系统结合起来，而是要处理来自不同

02

## 数据处理方法

- **组合导航：**数据融合主要依靠经典的回路反馈法和最优估计法，特别是卡尔曼滤波技术。卡尔曼滤波能够基于概率统计理论有效地估计出系统误差，并据此对导航参数进行校正。这种方法适用于处理相对简单且线性的系统模型。
- **多源融合导航：**面对的是更为复杂的数据集合，因此需要采用更加先进的数据处理方法。除了卡尔曼滤波之外，还会涉及到扩展卡尔曼滤波、无迹卡尔曼滤波、粒子滤波等非线性滤波技术。此外，随着人工智能技术的发展，基于机器学习的方法也被引入到多源信息融合过程中，如使用人工神经网络（ANN）、支持向量机（SVM）、深度学习等方法来处理复杂的模式识别问题。

# 差异剖析

03

## 系统架构

- **组合导航：**往往采取较为简单的架构，比如紧耦合（Tight Coupling）或松耦合（Loose Coupling）。紧耦合意味着将所有可用信息在一个统一的滤波框架内进行处理；而松耦合则是每个子系统独立工作，然后再将结果合并。
- **多源融合导航：**由于需要处理的信息源更多、数据类型更加多样化，多源融合导航系统通常会采用更加灵活和复杂的架构设计。例如，可能会采用分布式架构，其中每个传感器节点负责自己领域的数据采集与初步处理，然后再将处理结果传输给中央处理单元进行综合分析。另外，还可能存在基于云计算的解决方案，利用云端的强大计算能力来处理大规模的数据流。

04

## 应用场景

- **组合导航：**主要应用于那些对导航精度有一定要求但环境相对可控的场合，如航空、航海以及某些特定的地面交通工具。
- **多源融合导航：**更适合于那些需要高精度定位、高可靠性以及强适应性的复杂应用场景，如无人驾驶汽车、机器人导航、智能建筑管理、应急救援等。通过集成多种信息源，多源融合导航不仅能够提供更加精确的位置信息，还能增强系统的鲁棒性，使其在面对各种不确定因素时仍能保持良好的性能。

PART 0

# 总结与展望





# 技术特点

**(1) 多样的信息源：**多源融合导航技术不仅仅依赖于传统的卫星导航系统（如GPS、北斗），还包括惯性测量单元（IMU）、视觉传感器、雷达、LiDAR（激光雷达）、WiFi信号、蓝牙信标、地磁传感器等多种信息源。

**(2) 先进的融合算法：**为了有效融合这些不同来源的信息，采用了多种先进的算法和技术，如卡尔曼滤波（KF）、扩展卡尔曼滤波（EKF）、无迹卡尔曼滤波（UKF）、粒子滤波（PF）等。近年来，随着人工智能的发展，机器学习算法也开始被用于提高信息融合的效率 and 准确性；

多层次融合：信息融合可以在不同的抽象层次上进行，包括原始数据级融合、特征级融合和决策级融合。不同层次的融合方法各有优缺点，适用于不同的应用场景。

**(3) 自适应性和鲁棒性：**多源融合导航系统能够根据环境变化自动调整其工作模式，以适应不同条件下对导航精度的要求。同时，通过冗余信息的利用，提高了系统的容错能力和对抗干扰的能力。

# 面临的挑战

**(1) 数据处理复杂性：**随着信息源数量的增加，数据处理变得越来越复杂，对算法和硬件都提出了更高的要求。如何高效地处理大量的多源数据，同时保证实时性和准确性，是一个重要课题。

**(2) 成本与功耗：**集成更多的传感器会增加系统的成本和功耗。在一些对体积、重量有严格限制的应用场景中，如何平衡性能与资源消耗是一个挑战。

**标准化和兼容性：**不同厂商提供的传感器和技术可能存在兼容性问题，建立统一的标准和接口对于促进多源融合导航技术的发展至关重要。

2024

谢谢大家

