轮式移动机器人

——自动化导论大报告

河海大学能源与电气学院自动化一班

刘晨阳 于宁灏 聂康杰 郭嘉成

导师：卢新彪

答辩日期：2019年12月18日

目录

[摘要 3](#_Toc27516616)

[第1章：简述 4](#_Toc27516617)

[1.1 轮式移动机器人简介 4](#_Toc27516618)

[1.2 轮式移动机器人发展历史 4](#_Toc27516619)

[1.3 轮式移动机器人各国发展现状 4](#_Toc27516620)

[第2章：硬件驱动装置与算法 5](#_Toc27516621)

[2.1 伺服电机 5](#_Toc27516622)

[2.2 伺服驱动器 6](#_Toc27516623)

[2.3 运动控制算法 6](#_Toc27516624)

[第3章：传感器及其系统 7](#_Toc27516625)

[3.1 传感器分类 7](#_Toc27516626)

[3.2 轮式移动机器人常用传感器原理 7](#_Toc27516627)

[3.3 同时定位与视图构建技术 10](#_Toc27516628)

[3.4 多传感器融合技术 13](#_Toc27516629)

[第4章：轮式移动机器人现状及未来应用方向 16](#_Toc27516630)

[4.1 室内服务型机器人 16](#_Toc27516631)

[4.2 助老助残型机器人 16](#_Toc27516632)

[4.3 物流机器人 17](#_Toc27516633)

[参考材料 18](#_Toc27516634)

摘要

轮式移动机器人（Wheeled Mobile Robot，WMR）是一个有着多种功能的系统，如集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等，是机器人研究的一个重要领域。受益于机器人学的发展，WMR 的作用和功能也越来越多，不仅可以在工业、国防、服务等行业中大显身手，也能在一些人类不能适应的环境工作。

从第一代机器人的“示教再现”，以固定轨迹、方式重复工作到第二代机器人具有环境感知装置，能一定程度上适应环境变化，再到如今正阔步前进的智能机器人，在感知自身和外部状态后能自主决策，机器人技术日新月异。而技术上的积累也带来了，应用上的拓展。如今的机器人不仅可以作流水线上的机械的作业也可以投身教育和服务业，军事中的特种应用也渐渐成熟。

如此背景下，本报告的主要目的在于梳理轮式机器人正常工作所涉及技术。

首先，轮式机器人的移动需要硬件驱动装置、运动控制与驱动器和运动控制算法。没有合格的驱动器及相应的运动控制算法，WMR不可能平稳行进。伺服电机、伺服服务器和运动控制算法会在正文进行介绍。

再者，WMR既然要进行向服务型的转变，模仿动物在环境中的移动，对环境的感知就必不可少。不能对外部环境进行准确判断，不能根据外界环境变化而随机应变的轮式移动机器人就会像没有头的苍蝇，蒙上眼睛的公牛，百无一用。而传感器充当了轮式机器人的眼睛、耳朵等角色，如果再通过相应的技术将各种传感器的数据进行耦合，轮式移动机器人就有了一定智能，可以分析环境，自主运动了，这就像人的大脑进行的分析处理功能。在有了对环境基本的感知能力后，如何对自身进行定位与对环境地图进行构建成了最关键的问题。SLAM（同时定位与视图构建技术）提供了解决方法。多传感器融合技术也为综合各种传感器优势，达到最好效果提供了解决方案。

关键词：轮式移动机器人 发展历史 伺服电机 伺服服务器 运动控制算法 传感器 同时定位与视图构建技术 多传感器融合技术 目前及未来应用

简述

轮式移动机器人简介：

移动机器人是一种能够通过传感器感知外界环境和自身状态，实现在有障碍物的环境中面向目标的自主运动，从而完成一定作业功能的机器人系统。其中的轮式移动机器人其前景广阔，适用性较广，在教学、科研、野外作业、民用运输方面有着广泛的应用前景，在反恐及其它尖端领域具有重大的应用价值。轮式移动机器人运动响应迅速，具有高机动的零半径转向能力，并且在运动过程中不存在失稳状态。摄像头的密封式结构可以将内部器件密封保护起来，免受外界环境的影响，非常适合在潮湿、多尘土、多辐射或有毒的环境中执行任务。

轮式移动机器人发展历史：

从最早出现的机器人到现在涌现出的形态各异的移动小车，其移动机构的形式层出不穷，以美国、俄罗斯、法国和日本为首的西方发达国家己经研制出了多种复杂奇特的三维移动机构，有的已经从最早出现的机器人到现在涌现出的形态各异的移动小车，其移动机构的形式层出不穷，以美国、俄罗斯、法国和日本为首的西方发达国家己经研制出了多种复杂奇特的三维移动机构，有的已经进入了实用化和商业化阶段。面对21世纪深空探测的挑战，对各种自主系统的研制是必须的，而移动机构又是各种自主系统的最基本和最关键的环节。这些应用范围包括工业生产、海空探索、康复和军事等。此外，机器人已逐渐在医院、家庭和一些服务行业获得应用。基本和最关键的环节。这些应用范围包括工业生产、海空探索、康复和军事等。此外，轮式移动机器人已逐渐在医院、家庭和一些服务行业获得应用。

各国近况：

欧盟在 2000—2004 年启动的信息社会技术计划中开展了探测火山环境的机器人、用来评估地震危险性的爬行机器人 (ROBOSENSE) 、借助机器人的交互式博物馆临场感 (TOURBOT) 等项目研究。在火山爆发的发作阶段观测和测量火山活动的相关变量最有意义，但对研究人员也是最危险的时刻。在 1993 年的一次火山口考察中， 8 名火山研究人员遇难。 ROBOVOLC 将开发和测试一个自动化机器人系统，在火山环境下进行探测与测量，可以帮助科学家远离危险环境进行分析研究。 ROBOSENSE 将开发一台能够携带探伤仪器的移动机器人，对地震造成的建筑物结构性损害进行检测。 TOURBOT 的目标是发一个交互式导游机器人，通过因特网实现个性化的临场感，同时 TOURBOT 能够在现场引导参观游客。此外欧盟还开展了移动机器人应用于人道主义排雷等研究。

法国国家科学研究中心 ) 于 2001 年中期，提出了一项有关机器人技术的大型国家计划，称作“机器人与人工体”。这项跨学科的计划涵盖了机器人学中信息科学与技术方面的主要研究领域。 Robe 计划对“感知器执行器”与认知功能进行跨学科的研究。实现这些功能在智能系统内的集成，能够在开放的、变化的环境中自主完成各种任务，实现智能机器人与人交互、通过学习改进其行为的功能。

俄罗斯作为前苏联的继承者，在机器人技术领域依然具有当雄厚的技术基础， ROVER 科技有限公 (Rover Science & Technology Joint-stock Company Ltd., RCL) 把在开发空间机器人中获得的经验应用于开发地面机器人系统，如极坐标平面移动车、爬行移动机器人、球形机器人、工作伙伴平台以及 ROSA-2 移动车等。

日本科技署 (Japan Science and Technology Agency, JST) 于 2002 年 10 月启动了一项 5 年期限的项目，用于开发人道主义排雷的机器人技术，日本产业界已开发出能实际应用的排雷机器人，并送往柬埔寨进行现场试验。此外，日本也一直进行着有关月球探测的研究，计划于 2015-2020 年在月球上建立一个小型基地，与该计划相应的行星漫游车研究也很活跃。

美国在行星移动机器人以及军用移动机器人的研究与应用方面投入了大量资金与科研力量。如 : 美国 NASA 支持的火星探测计划、美国国防部支持的无人战车研究计划 UGV(Unmanned Ground Vehicle) 美国能源部的核废料等危险品搜集、搬运自主车研究计划等项目，吸收 JPL, MIT AI Lab. CMU Robotics Institute 、 Georgia Tech Mobile Robot Lab, Naval Warfare Systems Center of San Diego 以 Stanford Robotics Institute 等许多知名大学与研究所的科研人员参与。最近的突出成果是 2003 年发射的火星漫游机器人 — “勇气”号与“机遇”号，它们的顶部装有全景照相机及具有红外探测能力的微型热辐射分光计，携带多种分析仪器对火星岩石纹理及其成分进行探测。

韩国科学技术部 (Ministry of Science and Technology ， MOST) 于 1999 年启动的“ 21 世纪尖端研究发展计划” (21"Century Frontier R&D Program) ，包括了服务机器人、恶劣环境中的机器人、微型机器人以及排雷机器人项目韩国信息与通讯部 (Ministry of Information and Communication , MIC) 发布了旨在促进 IT 增长的 9 个优先发展领域 (Top 9 IT Growth Sectors) ，其中智能化的服务机器人被列为首位。

硬件驱动装置与算法

伺服电机：

轮式机器人的系统一般是伺服系统即使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标（或给定值）的任意变化的自动控制系统。在该系统中的执行机构是指各种伺服电机，包括直流伺服电机，交流伺服电机，布进电机三类。

伺服电机是指在伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种补助马达间接变速装置。伺服电机可使控制速度，位置精度非常准确，可以将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。伺服电机转子转速受输入信号控制，并能快速反应，且具有机电时间常数小、线性度高、始动电压等特性，可把所收到的电信号转换成电动机轴上的角位移或角速度输出。分为直流和交流伺服电动机两大类，其主要特点是，当信号电压为零时无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。

因此系统的静、动态特性和运动精度均与该系统的伺服电机性能有着直接关系，所以所以伺服电机应符合下列基本要求:1.具有宽广而平滑的调速范围。2.具有较硬的机械特性和良好的调节特性。3.具有快速响应特性。4. 空载始动电压和转动惯性量小。

伺服驱动器：

功率驱动元件有电气的、液压的，也有气动的，各有特点，适用于不同的伺服系统。在移动机器人系统中多采用宽调速直流伺服电机。

伺服驱动器又称为“伺服控制器”、“伺服放大器”，是用来控制伺服电机的一种控制器，其作用类似于变频器作用于普通交流马达，属于伺服系统的一部分，主要应用于高精度的定位系统。一般是通过位置、速度和力矩三种方式对伺服电机进行控制，实现高精度的传动系统定位。

驱动元件是伺服系统的重要组成部分，是系统的执行元件，它的作用是把驱动线路的电信号转化为机械运动。

整个伺服系统的调速性能、动态特性、运行精度等均与驱动元件有关。因而，对驱动元件有如下要求:1.调速范围宽而有良好的稳定性，尤其是低速时的速度平稳性。2.负载特性硬，即使在低速时，也应有足够的负载能力。3.具有快速响应特性。4.能够频繁启、停及换向。

运动控制算法：

轮式移动机器人存在着多种运动算法，分为传统控制算法和现代控制算法。

传统控制算法一般是按偏差的比例、积分和微分进行控制的调节器，简称为PID调节器，是连续系统中技术成熟且应用广泛的一种调节器。

现代控制算法则是因为轮式移动机器人的运动模型系统是一个高度非线性的系统，在对其的控制上具有相当的难度。由于这个问题应用的广泛性与难度上的挑战性，现在越来越多的专家学者投入到这一问题的研究中，引入的多种控制算法算法。

该类系统的控制问题一般分为点镇定控制和跟踪控制两类。

对于镇定控制，由于移动机器人不满足Brockett光滑镇定的必要条件，因此在笛卡尔坐标系下不能应用反馈线性化或光滑定常反馈的控制器设计方法设计逐渐镇定系统，人们只能寻求不连续控制律、时变控制律或混合控制率在移动机器人中应用。

对于跟踪控制，许多先进的控制算法被用于这一问题的解决，大体可分为如下:1.基于滑膜控制的方法。2.基于反馈线性化的方法。3.回退法。4.神经网络方法。5.模糊控制方法。

以上控制方法在移动机器人的运动控制上都取得了不同程度的成功，但同时也都有一定的局限性。

传感器分类：

按照其用途分类：

1、压力敏和力敏传感器 。

2、位置传感器 。

3、液位传感器。

4、能耗传感器 。

5、速度传感器。

6、加速度传感器。

7、射线辐射传感器。

8、热敏传感器。

9、真空度传感器 。

10、生物传感器。

按照仪器分类：

1、光电/光敏传感器。

2 、电磁/磁敏传感器。

3、 霍尔/电流（压）传感器。

4、 超声波/声敏传感器。

5、光纤/激光传感器。

6、 测距/距离传感器。

7、 视觉/图像传感器 。

8、光栅/光幕传感器 。

9、压力/称重/力（敏）传感器 。

10、力矩/扭矩传感器 。

轮式移动机器人常用传感器原理：

超声式测距传感器：

**原理：**超声波测距的原理是利用超声波在空气中的传播速度为已知，测量声波在发射后遇到障碍物反射回来的时间，根据发射和接收的时间差计算出发射点到障碍物的实际距离。首先，超声波发射器向某一方向发射超声波，在发射时刻的同时开始计时，超声波在空气中传播，途中碰到障碍物就立即返回来，超声波接收器收到反射波就立即停止计时。超声波在空气中的传播速度为C=340m/s，根据计时器记录的时间T秒，就可以计算出发射点距障碍物的距离L，即：L= C×T /2 。这就是所谓的时间差测距法。

由于超声波也是一种声波，其声速 C 与温度有关，表1列出了几种不同温度下的声速。在使用时，如果温度变化不大，则可认为声速是基本不变的。如果测距精度要求很高，则应通过温度补偿的方法加以校正。

**特点：**有效距离5—12m，商用准确度98%—99.1%。声波呈锥形传播，有20—40度孔径角。宽波束适宜测距离，窄波束适宜测方位角。

优点：超声波传感器超声波为直线传播，频率越高，绕射能力越弱，但反射能力越强，为此，利用超声波的这种性质就可以制成超声波传感器。另外，超声波在空气中的传播速度较慢，这就使得超声波传感器的使用变得简单。 　　超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波，由换能晶片在电压的激励下发生振动产生的，它具有频率高、波长短、绕射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大，尤其是在阳光不透明的固体中，它可穿透几十米的深度。

超声波传感器应用起来原理简单，也很方便，成本也很低。但是目前的超声波传感器都有一些缺点，比如，反射问题，噪音，交叉问题。

**1. 反射问题**：如果被探测物体始终在合适的角度，那超声波传感器将会获得正确的角度。但是不幸的是，在实际使用中，很少被探测物体是能被正确的检测的。 其中可能会出现几种误差：

**1)三角误差**

当被测物体与传感器成一定角度的时候，所探测的距离和实际距离有个三角误差。

**2)镜面反射**

这个问题和高中物理中所学的光的反射是一样的。在特定的角度下，发出的声波被光滑的物体镜面反射出去，因此无法产生回波，也就无法产生距离读数。这时超声波传感器会忽视这个物体的存在。

**3)多次反射**

这种现象在探测墙角或者类似结构的物体时比较常见。声波经过多次反弹才被传感器接收到，因此实际的探测值并不是真实的距离值。

这些问题可以通过使用多个按照一定角度排列的超声波圈来解决。通过探测多个超声波的返回值，用来筛选出正确的读数。

**(2) 噪音**

虽然多数超声波传感器的工作频率为40-45KHz，远远高于人类能够听到的频率。但是周围环境也会产生类似频率的噪音。比如，电机在转动过程会产生一定的高频，轮子在比较硬的地面上的摩擦所产生的高频噪音，机器人本身的抖动，甚至当有多个机器人的时候，其它机器人超声波传感器发出的声波，这些都会引起传感器接收到错误的信号。

这个问题可以通过对发射的超声波进行编码来解决，比如发射一组长短不同的音波，只有当探测头检测到相同组合的音波的时候，才进行距离计算。这样可以有效的避免由于环境噪音所引起的误读。

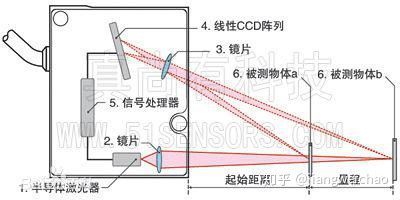
(3)交叉问题交叉问题是当多个超声波传感器按照一定角度被安装在机器人上的时候所引起的。超声波X发出的声波，经过镜面反射，被传感器Z和Y获得，这时Z和Y会根据这个信号来计算距离值，从而无法获得正确的测量。

激光测距传感器

**原理：**

**激光回波法：**传输时间激光传感器工作时，先由激光二极管对准目标发射激光脉冲。经目雪崩光电二极管上。雪崩光电二极管是一种内部具有放大功能的光学传感器，因此它能检测极其微弱的光信号。记录并处理从光脉冲发出到返回被接收所经历的时间，即可测定目标距离。

相位法：相位式激光测距仪是用无线电波段的频率，对激光束进行幅度调制并测定调制光往返测线一次所产生的相位延迟，再根据调制光的波长，换算此相位延迟所代表的距离。即用间接方法测定出光经往返测线所需的时间。

三角反射法：半导体激光器1被镜片2聚焦到被测物体6。反射光被镜片3收集，投射到CCD阵列4上；信号处理器5通过三角函数计算阵列4上的光点位置得到距物体的距离。

**特点：**脉冲法测量距离的精度是一般是在+/-1米左右。另外，此类测距仪的测量盲区一般是15米左右。脉冲法测量距离的精度是一般是在+/-1米左右。另外，此类测距仪的测量盲区一般是15米左右。

优点：安装利便，使用寿命长。结构简朴，取材利便。

缺点：输出[阻抗](https://data.hqchip.com:4006/t/8Qa)高，输出信号弱，传感器输出信号需要经由放大电路放大后才能送检测电路检测。谐振频率高，轻易受到声音的干扰。

多普勒雷达

**原理：**多普勒雷达是我们现在常用的雷达，用以检测移动物体的速度。其理论基础皆来源于“多普勒效应”。当声音，光和无线电波等振动源与观测者以相对速度V相对运动时，观测者所收到的振动频率与振动源所发出的频率有所不同。当物体朝着无线电线发射的方向前进时，此时所反弹回来的无线电波会被压缩，因此该电波的频率会随之增加；反之，当物体是朝着远离无线电波方向行进时，则反弹回来的无线电波，其频率则会随之减小。利用两者的频率差就可以计算出移动物体的速度。

**特点：**波束角小,能量集中，具有更强抗干扰能力，大大提高了测量精度和可靠性;天线尺寸小，便于安装和加装防尘罩等天线防护装置；测量盲区更小，对于小罐测量也会取得良好的效果;波长更短,对小颗粒物质的料位测量更适合。

同时定位与视图构建技术：

SLAM分为激光SLAM与视觉SLAM

激光雷达

**是**最古老，研究也最多的SLAM传感器。它们提供机器人本体与周围环境障碍物间的距离信息。常见的激光雷达，例如SICK、Velodyne还有我们国产的rplidar等，都可以拿来做SLAM。激光雷达能以很高精度测出机器人周围障碍点的角度和距离，从而很方便地实现SLAM、避障等功能。  
主流的2D激光传感器扫描一个平面内的障碍物，适用于平面运动的机器人（如扫地机等）进行定位，并建立2D的栅格地图。这种地图在机器人导航中很实用，因为多数机器人还不能在空中飞行或走上台阶，仍限于地面。在SLAM研究史上，早期SLAM研究几乎全使用激光传感器进行建图，且多数使用滤波器方法，例如卡尔曼滤波器与粒子滤波器等。

激光的优点是精度很高，速度快，计算量也不大，容易做成实时SLAM。缺点是价格昂贵，一台激光动辄上万元，会大幅提高一个机器人的成本。因此激光的研究主要集中于如何降低传感器的成本上。对应于激光的EKF-SLAM理论方面，因为研究较早，现在已经非常成熟。与此同时，人们也对EKF-SLAM的缺点也有较清楚的认识，例如不易表示回环、线性化误差严重、必须维护路标点的协方差矩阵，导致一定的空间与时间的开销，等等。

视觉SLAM：

**单目相机SLAM**简称MonoSLAM，即只用一支摄像头就可以完成SLAM。这样做的好处是传感器特别的简单、成本特别的低，所以单目SLAM非常受研究者关注。相比别的视觉传感器，单目有个最大的问题，就是没法确切地得到深度。这是一把双刃剑。

一方面，由于绝对深度未知，单目SLAM没法得到机器人运动轨迹以及地图的真实大小。直观地说，如果把轨迹和房间同时放大两倍，单目看到的像是一样的。因此，单目SLAM只能估计一个相对深度，在相似变换空间Sim(3)中求解，而非传统的欧氏空间SE(3)。如果我们必须要在SE(3)中求解，则需要用一些外部的手段，例如GPS、IMU等传感器，确定轨迹与地图的尺度（Scale）。

另一方面，单目相机无法依靠一张图像获得图像中物体离自己的相对距离。为了估计这个相对深度，单目SLAM要靠运动中的三角测量，来求解相机运动并估计像素的空间位置。即是说，它的轨迹和地图，只有在相机运动之后才能收敛，如果相机不进行运动时，就无法得知像素的位置。同时，相机运动还不能是纯粹的旋转，这就给单目SLAM的应用带来了一些麻烦，好在日常使用SLAM时，相机都会发生旋转和平移。不过，无法确定深度同时也有一个好处：它使得单目SLAM不受环境大小的影响，因此既可以用于室内，又可以用于室外。

**双目相机**

通过多个相机之间的基线，估计空间点的位置。与单目不同的是，立体视觉既可以在运动时估计深度，亦可在静止时估计，消除了单目视觉的许多麻烦。不过，双目或多目相机配置与标定均较为复杂，其深度量程也随双目的基线与分辨率限制。通过双目图像计算像素距离，是一件非常消耗计算量的事情，现在多用FPGA来完成。

**RGBD相机**

是2010年左右开始兴起的一种相机，它最大的特点是可以通过红外结构光或Time-of-Flight原理，直接测出图像中各像素离相机的距离。因此，它比传统相机能够提供更丰富的信息，也不必像单目或双目那样费时费力地计算深度。目前常用的RGBD相机包括Kinect/Kinect V2、Xtion等。不过，现在多数RGBD相机还存在测量范围窄、噪声大、视野小等诸多问题。出于量程的限制，主要用于室内SLAM。

视觉SLAM几乎都有一个基本的框架。一个SLAM系统分为四个模块（除去传感器数据读取）**VO、后端、建图、回环检测。**

**SLAM框架之视觉里程计**

Visual Odometry，即视觉里程计。它估计两个时刻机器人的相对运动（Ego-motion）。在激光SLAM中，我们可以将当前的观测与全局地图进行匹配，用ICP求解相对运动。而对于相机，它在欧氏空间里运动，我们经常需要估计一个三维空间的变换矩阵——SE3或Sim3（单目情形）。求解这个矩阵是VO的核心问题，而求解的思路，则分为基于特征的思路和不使用特征的直接方法。

基于特征的方法是目前VO的主流方式。对于两幅图像，首先提取图像中的特征，然后根据两幅图的特征匹配，计算相机的变换矩阵。最常用的是点特征，例如Harris角点、SIFT、SURF、ORB。如果使用RGBD相机，利用已知深度的特征点，就可以直接估计相机的运动。给定一组特征点以及它们之间的配对关系，求解相机的姿态，该问题被称为PnP问题（Perspective-N-Point）。PnP可以用非线性优化来求解，得到两个帧之间的位置关系。

不使用特征进行VO的方法称为直接法。它直接把图像中所有像素写进一个位姿估计方程，求出帧间相对运动。例如，在RGBD SLAM中，可以用ICP（Iterative Closest Point，迭代最近邻）求解两个点云之间的变换矩阵。对于单目SLAM，我们可以匹配两个图像间的像素，或者像图像与一个全局的模型相匹配。直接法的典型例子是SVO和LSD-SLAM。它们在单目SLAM中使用直接法，取得了较好的效果。目前看来，直接法比特征VO需要更多的计算量，而且对相机的图像采集速率也有较高的要求。

**2、SLAM框架之后端**

在VO估计帧间运动之后，理论上就可以得到机器人的轨迹了。然而视觉里程计和普通的里程计一样，存在累积误差的问题（Drift）。直观地说，在t1和t2时刻，估计的转角比真实转角少1度，那么之后的轨迹就全部少掉了这1度。时间一长，建出的房间可能由方形变成了多边形，估计出的轨迹亦会有严重的漂移。所以在SLAM中，还会把帧间相对运动放到一个称之为后端的程序中进行加工处理。

早期的SLAM后端使用滤波器方式。由于那时还未形成前后端的概念，有时人们也称研究滤波器的工作为研究SLAM。SLAM最早的提出者R. Smith等人就把SLAM建构成了一个EKF（Extended Kalman Filter，扩展卡尔曼滤波）问题。他们按照EKF的形式，把SLAM写成了一个运动方程和观测方式，以最小化这两个方程中的噪声项为目的，使用典型的滤波器思路来解决SLAM问题。

当一个帧到达时，我们能（通过码盘或IMU）测出该帧与上一帧的相对运动，但是存在噪声，是为运动方程。同时，通过传感器对路标的观测，我们测出了机器人与路标间的位姿关系，同样也带有噪声，是为观测方程。通过这两者信息，我们可以预测出机器人在当前时刻的位置。同样，根据以往记录的路标点，我们又能计算出一个卡尔曼增益，以补偿噪声的影响。于是，对当前帧和路标的估计，即是这个预测与更新的不断迭代的过程。

21世纪之后，SLAM研究者开始借鉴SfM（Structure from Motion）问题中的方法，把捆集优化（Bundle Adjustment）引入到SLAM中来。优化方法和滤波器方法有根本上的不同。它并不是一个迭代的过程，而是考虑过去所有帧中的信息。通过优化，把误差平均分到每一次观测当中。在SLAM中的Bundle Adjustment常常以图的形式给出，所以研究者亦称之为图优化方法（Graph Optimization）。图优化可以直观地表示优化问题，可利用稀疏代数进行快速的求解，表达回环也十分的方便，因而成为现今视觉SLAM中主流的优化方法。

**3、SLAM框架之回环检测**

回环检测，又称闭环检测（Loop closure detection），是指机器人识别曾到达场景的能力。如果检测成功，可以显著地减小累积误差。回环检测实质上是一种检测观测数据相似性的算法。对于视觉SLAM，多数系统采用目前较为成熟的词袋模型（Bag-of-Words, BoW）。词袋模型把图像中的视觉特征（SIFT, SURF等）聚类，然后建立词典，进而寻找每个图中含有哪些“单词”（word）。也有研究者使用传统模式识别的方法，把回环检测建构成一个分类问题，训练分类器进行分类。

回环检测的难点在于，错误的检测结果可能使地图变得很糟糕。这些错误分为两类：1.假阳性（False Positive），又称感知偏差（Perceptual Aliasing），指事实上不同的场景被当成了同一个；2.假阴性（False Negative），又称感知变异（Perceptual Variability），指事实上同一个场景被当成了两个。感知偏差会严重地影响地图的结果，通常是希望避免的。一个好的回环检测算法应该能检测出尽量多的真实回环。研究者常常用准确率-召回率曲线来评价一个检测算法的好坏。

多传感器融合技术：

概念

数据融合又称作信息融合或多传感器数据融合，对数据融合还很难给出一个统一、全面的定义。随着数据融合和计算机应用技术的发展，根据国内外研究成果，多传感器数据融合比较确切的定义可概括为：充分利用不同时间与空间的多传感器数据资源，采用计算机技术对按时间序列获得的多传感器观测数据，在一定准则下进行分析、综合、支配和使用，获得对被测对象的一致性解释与描述，进而实现相应的决策和估计，使系统获得比它的各组成部分更充分的信息。

原理

多传感器数据融合技术的基本原理就像人脑综合处理信息一样，充分利用多个传感器资源，通过对多传感器及其观测信息的合理支配和使用，把多传感器在空间或时间上冗余或互补信息依据某种准则来进行组合，以获得被测对象的一致性解释或描述。具体地说，多传感器数据融合原理如下：

（1）N个不同类型的传感器（有源或无源的）收集观测目标的数据；

（2）对传感器的输出数据（离散的或连续的时间函数数据、输出矢量、成像数据或一个直接的属性说明）进行特征提取的变换，提取代表观测数据的特征矢量Yi；

（3）对特征矢量Yi进行模式识别处理（如，聚类算法、自适应神经网络或其他能将特征矢量Yi变换成目标属性判决的统计模式识别法等）完成各传感器关于目标的说明；

（4）将各传感器关于目标的说明数据按同一目标进行分组，即关联；

（5）利用融合算法将每一目标各传感器数据进行合成，得到该目标的一致性解释与描述。

**多传感器数据融合方法**

利用多个传感器所获取的关于对象和环境全面、完整的信息，主要体现在融合算法上。因此，多传感器系统的核心问题是选择合适的融合算法。对于多传感器系统来说，信息具有多样性和复杂性，因此，对信息融合方法的基本要求是具有鲁棒性和并行处理能力。此外，还有方法的运算速度和精度；与前续预处理系统和后续信息识别系统的接口性能；与不同技术和方法的协调能力；对信息样本的要求等。一般情况下，基于非线性的数学方法，如果它具有容错性、自适应性、联想记忆和并行处理能力，则都可以用来作为融合方法。

多传感器数据融合虽然未形成完整的理论体系和有效的融合算法，但在不少应用领域根据各自的具体应用背景，已经提出了许多成熟并且有效的融合方法。多传感器数据融合的常用方法基本上可概括为随机和人工智能两大类，随机类方法有加权平均法、卡尔曼滤波法、多贝叶斯估计法、Dempster-Shafer（D-S）证据推理、产生式规则等；而人工智能类则有模糊逻辑理论、神经网络、粗集理论、专家系统等。可以预见，神经网络和人工智能等新概念、新技术在多传感器数据融合中将起到越来越重要的作用。

**1 随机类方法**

1．1 加权平均法

信号级融合方法最简单、最直观方法是加权平均法，该方法将一组传感器提供的冗余信息进行加权平均，结果作为融合值，该方法是一种直接对数据源进行操作的方法。

1．2 卡尔曼滤波法

卡尔曼滤波主要用于融合低层次实时动态多传感器冗余数据。该方法用测量模型的统计特性递推，决定统计意义下的最优融合和数据估计。如果系统具有线性动力学模型，且系统与传感器的误差符合高斯白噪声模型，则卡尔曼滤波将为融合数据提供唯一统计意义下的最优估计。卡尔曼滤波的递推特性使系统处理不需要大量的数据存储和计算。但是，采用单一的卡尔曼滤波器对多传感器组合系统进行数据统计时，存在很多严重的问题，例如：（1）在组合信息大量冗余的情况下，计算量将以滤波器维数的三次方剧增，实时性不能满足；（2）传感器子系统的增加使故障随之增加，在某一系统出现故障而没有来得及被检测出时，故障会污染整个系统，使可靠性降低。

1．3 多贝叶斯估计法

贝叶斯估计为数据融合提供了一种手段，是融合静环境中多传感器高层信息的常用方法。它使传感器信息依据概率原则进行组合，测量不确定性以条件概率表示，当传感器组的观测坐标一致时，可以直接对传感器的数据进行融合，但大多数情况下，传感器测量数据要以间接方式采用贝叶斯估计进行数据融合。

多贝叶斯估计将每一个传感器作为一个贝叶斯估计，将各个单独物体的关联概率分布合成一个联合的后验的概率分布函数，通过使用联合分布函数的似然函数为最小，提供多传感器信息的最终融合值，融合信息与环境的一个先验模型提供整个环境的一个特征描述。

1．4 D-S证据推理方法

D-S证据推理是贝叶斯推理的扩充，其3个基本要点是：基本概率赋值函数、信任函数和似然函数。D-S方法的推理结构是自上而下的，分三级。第1级为目标合成，其作用是把来自独立传感器的观测结果合成为一个总的输出结果（ID）；第2级为推断，其作用是获得传感器的观测结果并进行推断，将传感器观测结果扩展成目标报告。这种推理的基础是：一定的传感器报告以某种可信度在逻辑上会产生可信的某些目标报告；第3级为更新，各种传感器一般都存在随机误差，所以，在时间上充分独立地来自同一传感器的一组连续报告比任何单一报告可靠。因此，在推理和多传感器合成之前，要先组合（更新）传感器的观测数据。

1．5 产生式规则

产生式规则采用符号表示目标特征和相应传感器信息之间的联系，与每一个规则相联系的置信因子表示它的不确定性程度。当在同一个逻辑推理过程中，2个或多个规则形成一个联合规则时，可以产生融合。应用产生式规则进行融合的主要问题是每个规则的置信因子的定义与系统中其他规则的置信因子相关，如果系统中引入新的传感器，需要加入相应的附加规则。

**2 人工智能类方法**

2．1 模糊逻辑推理

模糊逻辑是多值逻辑，通过指定一个0到1之间的实数表示真实度，相当于隐含算子的前提，允许将多个传感器信息融合过程中的不确定性直接表示在推理过程中。如果采用某种系统化的方法对融合过程中的不确定性进行推理建模，则可以产生一致性模糊推理。与概率统计方法相比，逻辑推理存在许多优点，它在一定程度上克服了概率论所面临的问题，它对信息的表示和处理更加接近人类的思维方式，它一般比较适合于在高层次上的应用（如决策），但是，逻辑推理本身还不够成熟和系统化。此外，由于逻辑推理对信息的描述存在很大的主观因素，所以，信息的表示和处理缺乏客观性。

模糊集合理论对于数据融合的实际价值在于它外延到模糊逻辑，模糊逻辑是一种多值逻辑，隶属度可视为一个数据真值的不精确表示。在MSF过程中，存在的不确定性可以直接用模糊逻辑表示，然后，使用多值逻辑推理，根据模糊集合理论的各种演算对各种命题进行合并，进而实现数据融合。

2．2 人工神经网络法

神经网络具有很强的容错性以及自学习、自组织及自适应能力，能够模拟复杂的非线性映射。神经网络的这些特性和强大的非线性处理能力，恰好满足了多传感器数据融合技术处理的要求。在多传感器系统中，各信息源所提供的环境信息都具有一定程度的不确定性，对这些不确定信息的融合过程实际上是一个不确定性推理过程。神经网络根据当前系统所接受的样本相似性确定分类标准，这种确定方法主要表现在网络的权值分布上，同时，可以采用经\*定的学习算法来获取知识，得到不确定性推理机制。利用神经网络的信号处理能力和自动推理功能，即实现了多传感器数据融合。

常用的数据融合方法及特性如表1所示。通常使用的方法依具体的应用而定，并且，由于各种方法之间的互补性，实际上，常将2种或2种以上的方法组合进行多传感器数据融合。

**发展现状**

近年来，机器人已经在各个领域内取得了巨大进步，机器人从最初的只能根据预先编好的程序来执行简单动作，到现在能够对外界信息进行处理，具有了--定触觉，视觉和听觉能力，能够和人进行交流互动，能够完成指定的任务，如清洁机器人能够在没有人干预的情况下，自动进行地板清扫，自动充电，自动绕开障碍物等功能。借助计算机强大的计算能力，机器人拥有比人快得多的计算速度，能够处理一些人类难以处理的事情。现在已经出现的家庭服务机器人有很多，主要代表有清洁机器人(如IROBOT的扫地机器人)，水池清理机器人，窗户清扫机器人等。其中清洁机器人已经深入千家万户，正帮助人们从地板清扫工作中逐步解放出来。  
 服务机器人的研究和开发应用激发了很多科研人员和企业的研究热情。世界各国都把突破机器人相关技术难题和扩大机器人产业作为其科技发展的重要战略目标。 尤其是美国、日本、韩国、以及欧洲等国家更加重视机器人的技术研究与机器人产业的发展，制定了各国的机器人国家发展战略计划。在日本，政府将推动家用机器人产业发展作为其既定国策，日本经济产业省为10年到30年后的机器人科技发展做了规划，同时制定了“技术战略蓝图”。近几年积极开展机器人技术的研究，推进服务机器人的产业化道路。日本在家政服务机器人的研究与开发方面的技术领先于其他国家，并且长期坚持仿生和拟人的发展路线。韩国知识经济部也发布了《服务型机器人产业发展战略》，期望成为世界三大机器人强国之。韩国致力于将机器人和网络技术相结合，制定了“839” 战略计划，将智能服务机器人作为拉动韩国经济增长的10大产业之一。美国和欧洲，机器人研究人员更多的是致力于改善机器人的智能，赋予它们自主学习的能力。美国在家庭服务机器人的产业化方面做的比较成功，培育了如iRobot和WowWee这样产品定位和开拓方面比较出色的机器人公司。

**应用实例**   
       2002年，iRobot 公司推出了家用清洁扫地机器人产品Roomba,虽然功能比较简单，但是低廉的价格使其赢得了社会的高度关注和较高的市场业绩。后续又研发了擦窗机器人、管道清洁机器人等产品。瑞典的伊莱克斯、韩国的三星公司等也都推出了这种家用清洁机器人。2007 年，日本东京大学研制出了“HRP-2”机器人，该机器人是一款家政服务机器人，不仅能够端茶送水，还能将喝完的水杯拿去清洗回。2008年东京大学IRT和丰田汽车公司共同开发的“Home Assistant Robot" 家庭机器人保姆，该服务机器人可以完成打扫房间、收拾餐具和清洗衣物等工作。韩国最大的移动运营商SK电信也研发了一款名为Mostitech的安保机器人，该机器人通过手机向主人报告家中出现的不速之客、火灾、煤气泄漏等危险情况。除了携带煤气传感器、热量传感器外，该机器人上还携带着小型照相机、运动探测器，并能拍摄任何移动的物体，并将图像信息和报警信息发送到主人手机中。   
       助老助残机器人方面，美国麻省理工学院设计的SmartCane助行机器人是款用于盲人在比较平坦地形上行走的步行机器人:爱尔兰的Shane MacNamara等开发了一款名为PAM-AID助行机器人，旨在帮助那些体力和视力不好的患者行走，帮助使用者躲避障碍。韩国理工大学研发的WAR助行机器人则主要用于帮助老年人户外行走，不仅具有辅助支撑、定位导航、识别使用者的行走意图等功能，还带有辅助升降机构，能够减少老年人在站立时膝盖的负载。

我国在服务机器人领域的研发比较晚，其中一项有代表性的是沈阳新松机器人股份公司研制的“新松展示机器人”。该机器人可以进行自主运动，信息发布，安全监控，才艺表演等功能。通过人机交互媒介(语音或者触屏)，用户可以与机器人进行人机互动。非常适合于政府办事大厅，体育场所，科技馆等场所。新松的第一代智能机器人诞生于2006， 经过多年发展新松机器人在结构设计，实时操作系统内核等核心技术取得了重大突破，在功能方面，新松机器人都集成了语音识别，语音合成系统，机器人的人机交互功能比较完善，整体机器人控制驱动，传感器数据采集均实现了自主研发，主要面向大众市场。上海交通大学研制的“交龙”智能轮椅和“交龙"导游机器人，在上海世博会为游客提供为期半年的服务。"交龙"智能轮椅搭载激光测距雷达和视觉等传感器，自动生成环境地图，并可在人员流动的动态环境中完成大范围的自主导航。其快捷的避障和路径规划能力使轮椅具有高度的安全性和机动性。“交龙”导游机器人的外形比较亲切，机器人自身携带有CCD视觉传感器能识别周围的游客，主动的与游客打招呼并进行语音交互，还具有移动定位和导航的功能。2010年，哈尔滨工业大学研制助老服务机器人采用视觉定位和激光定位相结合的办法来解决行动困难和视觉障碍人群的出行问题，不仅可以完成倒水、取药、提醒老人吃药的功能，还可以在监测到煤气泄漏、入室盗窃等突发事件时，通过多种方式向主人及社区安防报警。

物流机器人：

目前，我国物流业正努力从劳动密集型向技术密集型转变，由传统模式向现代化、智能化升级，伴随而来的是各种先进技术和装备的应用和普及。当下，具备搬运、码垛、分拣等功能的[智能机器人](https://www.iyiou.com/t/zhinengjiqiren/)，已成为物流行业当中的一大热点。

**在近五年乃至十年来，中国的机器人如雨后春笋般蓬勃发展，背后主要有两点主要原因：一是近五年来中国的人口红利已经消失，二是高质量、高附加值的需求。**而随着电子商务高速发展带来物流业务量大幅攀升，以及土地、人力成本的快速上涨，智能化的物流装备在节省仓库面积、提高物流效率等方面的优势日渐突出，因此越来越受到企业青睐，其中机器人就是一个典型代表。

**实际上，应用于物流中的机器人发展到今天，大致可分为三代：第一代物流机器人主要是以传送带及相关机械为主的设备，为机器人原型，实现从人工化向自动化的转变。**

如果在特殊的节点，比如双十一这样堪称春运的节日里，即使增加成倍的快递员也无法承担运送如此体量的包裹，所以往往这个时候，我们收到快递的时间比平时晚，甚至是晚上几倍。然而如果我们能让机器人来帮忙的话，应该能分担一些物流工作，提高订单处理效率。比如亚马逊2012年就已开始采用机器人Kiva开展仓储物流业务，现在国内外已经有越来越多的企业开始使用物流机器人

参考材料

《轮式自主移动机器人》上海交通大学出版社 曹其新 张蕾编著

《自动化仪器与仪表》（期刊）

地平线HorizonRobotic知乎官方账号文章《SLAM第一篇：基础知识》

《非完整轮式移动机器人轨迹跟踪控制研究》 谢咚咚 长春工业大学硕士研究生论文

《轮式移动机器人路径规划研究》 徐梁 西南交通大学硕士研究生论文

《浅谈国内外九大智能物流机器人》电子发烧友网

百度百科

360百科