

Development and Trend of Unmanned Rotorcraft

Tianhang Zhang, Jinping Bai

School of Aeronautics & Astronautics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu
Email: simayichen@sina.com

Received: Nov. 1st, 2012; revised: Dec. 2nd, 2012; accepted: Dec. 13th, 2012

Abstract: With the rapid development of the unmanned rotorcraft, more and more attention has been paid on it in many field. In this paper, the general classification, technical composition, applications and development situation of unmanned rotorcraft is introduced. And the development trend of unmanned rotorcraft in the future is also predicted.

Keywords: Unmanned Rotorcraft; Ground Control Station; Task Load; Development

旋翼式无人机的发展和趋势

张天航, 白金平

电子科技大学航空航天学院, 成都
Email: simayichen@sina.com

收稿日期: 2012 年 11 月 1 日; 修回日期: 2012 年 12 月 2 日; 录用日期: 2012 年 12 月 13 日

摘 要: 旋翼式无人机的高速发展已经受到了各个领域的高度重视, 本文介绍了旋翼式无人机的大体分类、技术组成、应用领域、发展现状, 并预测了旋翼式无人机未来的发展趋势。

关键词: 旋翼式无人机; 地面站; 任务载荷; 发展

1. 引言

无人机是指可重复使用的无人驾驶飞行器(UAV, Unmanned Aerial Vehicle), 有相应的航电系统、传感器系统、通信系统、飞行控制系统等, 具有自主飞行和独立完成某项任务的功能, 也有人称之为空中机器人。相对于有人驾驶飞行器, 无人机具有造价低廉, 适用于多种复杂任务环境、可降低人员伤亡等优点。英国早在 1917 年就研制成功了世界上第一架无人机, 到 20 世纪 80 年代左右, 无人机的发展逐渐得到重视。随着无人机在几次局部战争中大放异彩, 其在各个领域中的应用价值也体现出来。目前, 世界上很多国家都展开了无人机的研究和制造。

旋翼式无人机是无人机的一个主要分类, 依靠一个或者多个旋翼提供机体的升力和动力。美国在 20 世纪 50 年代就开始了无人直升机的研制工作。随着

无人机在各个领域中的深入发展, 旋翼式无人机以其独特的空中悬停能力、较固定翼式无人机更优良的低空低速特性、对起降场地的低要求、极佳的机动灵活性以及高可靠性得到了越来越多的青睐, 被广泛运用于军民各个行业。

整个旋翼式无人机系统是一个综合了空气动力学、导航制导、无线通信、电子信息、智能控制、系统软件等多项技术的复杂系统。

2. 旋翼式无人机系统

2.1. 旋翼式无人机的发展

世界上第一架具有实用性的直升机是俄籍美国人埃格·西科斯基制造的“VS-300”, 它于 1939 年 9 月 14 日完成首飞, 确立了旋翼式飞机的主流布局——单旋翼带尾桨。

20 世纪 70 年代, 联邦德国的迪特尔·施吕特使用贝尔—希拉混控系统旋翼头结构、单旋翼带尾桨布局, 设计了世界上第一台遥控直升机, 1980 年韦斯特·艾宾浩斯就使用有效载荷为 3 kg 的该系列遥控直升机进行了摄影测量^[1]。这可以视为现代旋翼式无人机的开端。

随着集成电路技术和微机电技术(MEMS, Micro Electronic Mechanical System)的发展, 将有人机上的电子设备移植到无人机上以实现无人机的多功能化、智能化成为可能, 例如导航设备、无线通信设备、传感器等一系列电子设备加入到了旋翼式无人机系统之中。硬件上的发展也带动旋翼式无人机系统软件的发展, 先进的数据总线结构、飞行控制算法等也被相继应用在了旋翼式无人机系统之上。

现今, 各国军方、科研机构、企业、业余爱好者都有大量人员在从事旋翼式无人机方面的研究。

2.2. 旋翼式无人机的分类

旋翼式无人机根据其旋翼的机械结构可分为不

同种类: 单旋翼无人机、双旋翼无人机、碟形无人机。无人机大部分是从有人机发展而来的, 有人机的发展经验为无人机在机械结构、气动布局等方面的打下良好的基础(图 1)。

无人直升机的主流是单旋翼尾桨式无人直升机, 其流线型好、机动灵活、技术成熟。其由一副旋翼提供气动力, 包括机体悬停和爬升的升力以及机体朝各个方向运动的驱动力。根据机体的大小选择合适的发动机功率以及桨叶大小、数量。旋翼绕旋翼轴旋转, 其桨叶的工作原理类似于固定翼。旋翼旋转会产生反作用力矩, 使旋翼机机体向旋翼旋转的反方向运动。单旋翼尾桨式采用一定长度的机尾搭配尾桨产生拉力来平衡反作用力。

共轴式双旋翼无人直升机也是一个较大的分支, 相对于单旋翼尾桨式无人直升机, 其在同一个旋翼轴上装有两副旋翼, 两副旋翼的旋转方向相反, 彼此抵消相互的力矩。所以, 无需尾桨的共轴式旋翼机结构紧凑、占地面积更小、动力系统利用效率更高, 但是共轴双旋翼系统结构较为复杂、高速性能较差。

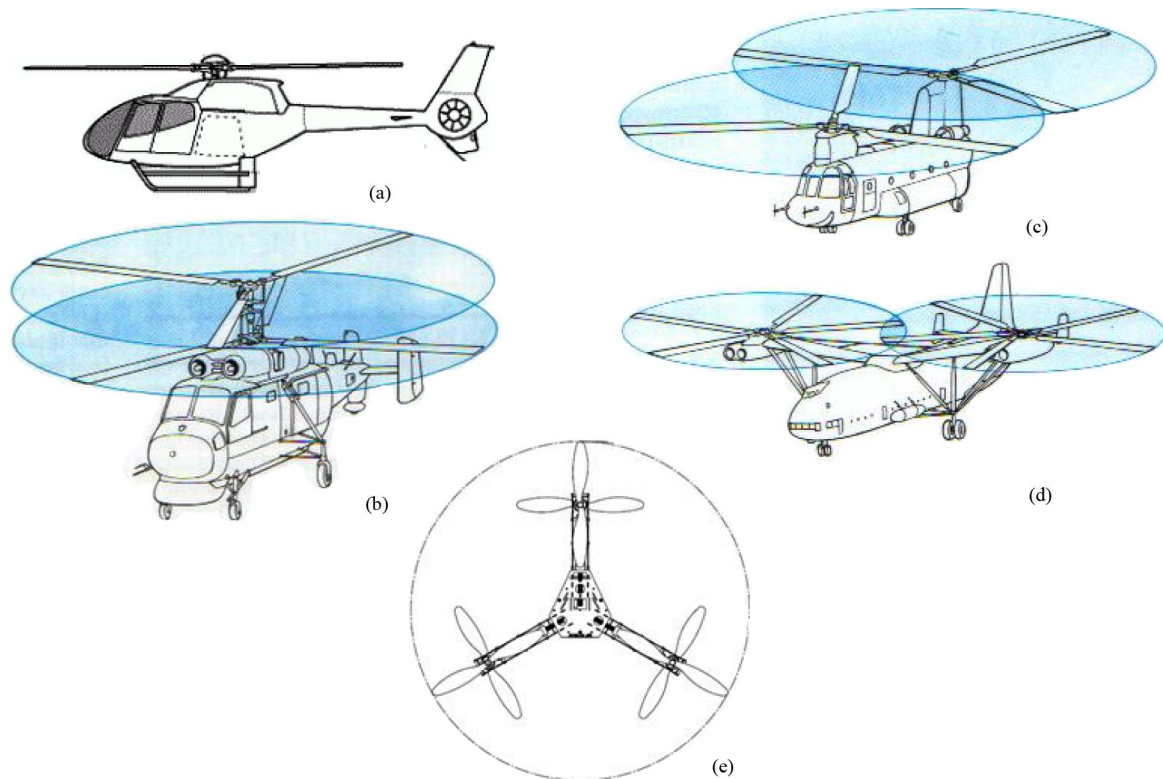


Figure 1. Unmanned rotorcraft classification: (a) Single rotor with tail rotor; (b) Coaxial twin-rotor; (c) Tandem rotor; (d) Paralleling rotor; (e) Multi rotor

图 1. 旋翼式无人机系统构成: (a) 单旋翼尾桨式; (b) 共轴双旋翼式; (c) 纵列双旋翼式; (d) 横列双旋翼式; (e) 多旋翼式

纵列式双旋翼无人机、横列式双旋翼无人机、倾斜旋翼式无人机都是采用的两根旋翼轴，每根旋翼轴安装一副旋翼。纵列式是沿机体前后排列两个旋转方向相反的旋翼，横列式的两副旋翼则沿机体左右方向排列。这些布局多用于大型旋翼机，机体运动时重心变化范围较大，稳定性不足。其中，倾转旋翼式无人机的旋翼轴不是固定的，可以 90 度转动，同时兼有固定翼无人机和旋翼式无人机的优点，颇受青睐，但是其过渡状态复杂的气动、气弹问题，所造成的飞行控制问题，一直是航空领域最具挑战的关键技术之一^[2]。

碟形无人飞行器，多指多轴无人飞行器，是近年来一股在旋翼式无人机研究领域异军突起的新力量。多轴无人飞行器一般是指有三根及以上旋翼轴的无人飞行器，通过合理计算各个旋翼轴之间的相对位置和距离，使多个旋翼产生的反作用力矩达到平衡，稳定无人机。多轴无人飞行器的每个旋翼轴的结构都比较简单，而且多个旋翼可以提供更大的升力，故该类型无人旋翼机具有气动效率高、体积小、重量轻、结构紧凑、安全性好、机动性很强等优点，可完成多种复杂环境下的任务^[3]。

2.3. 旋翼式无人机系统的构成

整个旋翼式无人机系统是由旋翼式无人机飞行平台、任务载荷、无线通信链路、地面站系统组成。如图 2 所示。

旋翼式无人机飞行平台就是无人机本身及其上搭载的航电系统、飞行控制处理器等，其主要作用就是作为一个运输工具搭载相应的设备来完成给定的任务。无人机可以接收地面站的遥控实现被控飞行，

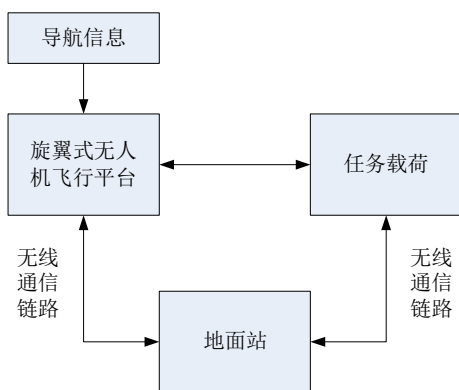


Figure 2. Unmanned rotorcraft system structure
图 2. 旋翼式无人机系统构成

也可以实现完全自主飞行。在被控飞行时，无人机可以将机载传感器所采集到的数据、导航定位系统所接收到的导航信息经过一定处理通过无线通信链路发送给地面站，以供地面站的技术人员作为控制参考；在自主飞行时，相应的数据将被传送到无人机的机载飞行控制中枢处理器，由预设的算法对这些数据进行处理，然后生成控制指令控制无人机自主飞行。无人机的导航信息一般由组合导航系统提供。无人机的性能和通信距离则决定了无人机所能执行的任务种类。

任务载荷就是无人机为完成相应任务所搭载的设备，例如用于执行侦察任务的摄像装置、用于执行测量任务的传感器等。针对不同的任务，其任务载荷也不同，任务载荷作为一个独立于无人机的子系统，可以加载于不同的无人机上。

无线通信链路实现的是无人机和地面站之间的无线通信。大部分无人机和地面站都有由射频(RF, Radio Frequency)接收机、射频发射机、调制解调器、天线组成的通信部分，同各自的数据终端相连接。通信链路的组成包括发送地面站对无人机及机上设备、任务载荷的控制指令的上行链路和无人机向地面站发送无人机、机上设备、任务载荷的状态信息的下行链路。根据实际需要的数据传输量来选择合适的带宽。

地面站是整个无人机系统的控制中枢。其用一台或多台计算机为地面站技术人员提供无人机飞行控制、任务载荷操作、地面站操作的图形化界面。其可以为技术人员显示无人机飞行任务规划、无人机航线及位置、无人机的飞行状态数据、任务载荷的工作状态信息等并将技术人员的控制指令发送给无人机和任务载荷。地面站之间可以组建机群网络相互通信，也可以同其他网络实现数据交互^[4]。

2.4. 旋翼式无人机系统主要组成技术

2.4.1. 无线通信技术

无人机和地面站之间的数据交互是整个无人机系统的重中之重，地面站对无人机的控制和任务载荷返回任务信息都需要通过无线通信来完成。当前用于无人机的无线通信技术主要有无线数传电台、通用分组无线服务(GPRS, General Packet Radio Service)、卫星中继等，可以采用其中一种或几种组合的方式实现

无线通信。

大部分的无人机都有无线通信的能力,此种通信方法的实现较为简单。旋翼式无人机和地面站均载有可兼容的无线数传电台模块,当两个无线数传电台工作在相同的工作信道和频率时,就实现了无人机和地面站两者之间的单信道点对点通信,采用多信道、动态信道分配技术则可以做到大容量组网通信。还可以对信号进行频移键控(FSK, Frequency shift keying)调制或最小频移键控调制,利用载波的频率变化来传递信息,以提高信号的抗噪声和抗衰减能力。无线数传通信距离可以达到几十至上百公里,可以传输测量数据、数字化语音、动态图像等,具有数据传输稳定,传输速率较快,发射启动快,收发转换快,可连续发射,功耗低等优点。一般无线数传电台还具有 DSP、前向纠错、尾噪抑制等技术,并有可以和计算机或其他设备连接的通用接口。中小型、低成本的无人机多采用此种通信方式。

GPRS 也是一种无线通信技术,多个用户共享一个相同的传输信道,每个用户只有在传输数据的时候才会占用信道。使用 GPRS 通信方式数据传输速度快、永远在线,还可以稳定地传送大容量、高质量的音频与视频文件。GPRS 的优点主要体现在大量用户的数据交换场合,而且需要无线通信网络的硬件支持,一般只作为无人机系统的辅助通信方式。

卫星中继方式是利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波实现两个或多个点之间的通信,利用“无缝”的全球覆盖卫星网络来实现远程控制,电波覆盖面积大,通信距离远,传输频带宽,通信稳定性好、质量高、容量大,但是需要一定数量的通信卫星的支持,并有一定的传输时间延迟。多为大型洲际军用无人机所采用。

2.4.2. 导航技术

确定无人机的实时位置是无人机飞行控制的核心。目前无人机的导航定位基本上采用全球定位系统(GPS, Global Positioning System)或者惯性导航系统(INS, Inertial Navigation System)的方式。

GPS 定位方式是测量出被测物体与已知位置的 GPS 卫星之间的距离,综合多个卫星的数据计算出被测物体的具体位置。GPS 导航可覆盖全球,实时定位,长期精度高,可以提供详细的时间、位置信息且使用

方便、成本低廉,只需要搭载一个 GPS 定位模块就可以。GPS 的民用导航精度为 5~10 米,军用导航精度为 1~2 米。

GPS 提供的数据仍有一定的误差,包括 GPS 卫星轨道误差、电离层与对流层带来的误差、多路径效应等,使用差分技术可以很好的处理这些误差。目前广泛运用的有伪距差分 and 位置差分,可以达到分米级的导航定位效果,实时载波相位差分则可以将精度提高到厘米级。

惯性导航是依据牛顿惯性原理,利用惯性元件测量运载载体本身的加速度,经过积分和运算得到速度和位置,从而达到对运载载体导航定位的目的。无人机一般使用三个加速度计和三个陀螺仪来测量无人机在三个轴上的加速度和角速度。测量时,需要加速度计和陀螺仪安装三个轴严格正交,但是实际产品存在一定误差,同时还有元件的温漂和零漂,尽管可以使用更高精度的元件,但是成本也会随之增加,所以事先还需要对惯性测量元件进行标定以减小误差,标定方法有实验室标定和现场标定等。

惯性元件测得的加速度和角速度数据经过运动方程解算、正交化、姿态矩阵计算、比力坐标变换、地速计算、姿态速率更新等步骤处理后可计算出无人机的位置数据。惯性导航的短期精度高、稳定性好且不受外界电磁干扰的影响,但是误差会随时间的增加而累积。

采用 GPS/INS 组合制导的方式可以充分发挥两者各自优势并取长补短,利用 GPS 的长期稳定性与较高精度,来弥补 INS 的误差随时间传播或增大的缺点,利用 INS 的短期高精度来弥补 GPS 接收机在受干扰时误差增大或遮挡时丢失信号等缺点,使得整个组合制导系统达到最优化,具有很高的效费比^[5]。组合方式有松组合和紧组合。松组合导航系统中,各传感器之间不互相修正与辅助,直接利用各传感器的信息,通过滤波器得到组合导航各参数的最优,因此有精度局限性。紧组合则是各个传感器之间进行相互辅助、相互修正,从而减小各个传感器各自的系统误差和量测误差,提高精度,还可以通过最优估计解算出惯性导航系统中的平台漂移角、陀螺仪和加速度计的误差参数等信息。但是,紧组合导航工作模式要求研究者完全了解 GPS 与 INS 的导航信息,并能够对其软件解算

过程与硬件部分进行修正与改动,实现难度较大^[6]。

此外,组合导航系统中还有利用多普勒雷达高精度的地速信息的 INS/多普勒组合导航系统、利用天体位置的 INS/天文导航系统等,具有抗干扰能力强、精度高等特点,得到了一定的关注和研究。

视觉导航技术是近年来新兴的导航技术,使用了计算机视觉、图像处理等方面的相关技术。利用拍摄装置采集旋翼式无人机周围的环境,对拍摄的图像进行处理,解析出图像中的相关信息。此种方法基本不受外界干扰,和 GPS/INS 具有完全不同的特征,可以很好的同 GPS/INS 的互补,其导航效果主要取决于使用的图像处理算法^[7]。

2.4.3. 传感器技术和数据融合技术

无人机不仅要在执行特定任务时记录相应数据的变化,还要能感知机体周围环境变化、无人机自身的飞行状态和无人机内部各个系统的运行状态,这些都离不开传感器。一架旋翼式无人机上搭载有大量的传感器,将不同位置的多只同类或不同类的传感器所提供的局部信息整合,进行数据互补、消除冗余等操作,为技术人员做决策提供加工过的数据,可以降低系统成本、提高系统精度、增加系统可靠性。

多传感器系统在数据处理问题上存在着一些比较严重的问题如:导航信息量大,计算负担过重,实时性欠佳等。为了解决此类问题,需要用到数据融合技术。数据融合的常用方法一般分为人工智能法和随机法。人工智能方法有专家系统、神经网络、模糊逻辑理论;随机法则产生式规则、卡尔曼滤波、贝叶斯估计、D-S 证据推理方法理论、加权平均法。

在多传感器数据融合技术初期,主要使用 D-S 证据推理与贝叶斯估计。其中,贝叶斯估计具有潜在的概率不稳定性,D-S 理论也具有潜在的时间权重和任务度之间的不合理。神经网络法是试图用生物的神经系统来模拟多传感器系统中对大量信息处理的一种新模型,硬件负担较大。应用范围最广的是卡尔曼滤波法。

卡尔曼滤波采用的状态空间法在时域特性,用状态方程描述复杂多维信号的动力学特征,避开了在频域内对信号功率谱做分解带来的麻烦,滤波器设计简单易行,采用递推算算法,实时观测信息经提炼被浓缩在估计值中,不必存储时间过程中的所有量测,是目

前数据融合中较有效方法。卡尔曼滤波又有集中式卡尔曼滤波和联邦式卡尔曼滤波。前者将各子系统的观测数据输入到数据融合中心集中处理,当状态维数过高时,计算负担过重,实时性较差,而且容错性不足。联邦卡尔曼滤波技术是基于分散化滤波设计的,灵活性好、容错性好、计算量小,已经有众多的理论和实际研究。

此外,自适应卡尔曼滤波作为一种具有抑制滤波器发散作用的滤波方法,也得到了关注,其误差随着滤波次增加而累积的缺点使其还需要更进一步的优化^[8]。

2.4.4. 软件技术

在无人机系统的设计,无论是无人机还是地面站,都是和软件技术分不开的。

无人机机载系统的软件主要是实时操作系统、飞行控制程序。目前大多数的无人机都采用单片机系统控制,其操作系统可以采用 Vxwork、QNX、Lynx、WinCE 和 μ C/OS-II 等,支持多线程实时操作,实现对无人机所以硬件设备的控制。飞行控制算法是无人机自主飞行的核心,其实现的是对无人机飞行数据的整合处理和对无人机飞行状态的控制。

在无人机飞行控制算法设计中,PID 控制器以其结构简单、鲁棒性好、易于整定等优点广泛地被采用。经典 PID 对于单输入单输出线性系统的控制效果较好,对非线性对变量系统的处理则不尽如人意。随着智能控制的发展,将智能控制和常规 PID 控制融合在一起的新方法不断出现,形成了多种智能 PID 控制。例如基于专家系统的 PID 控制、基于模糊控制的 PID 控制、基于神经网络的 PID 控制等。而最近出现的一系列非线性控制方法也在一定角度上体现了其优越性,反馈线性化能较好满足非常规控制要求;反步控制控制器收敛速度快、误差较小;滑模变结构控制响应速度快、鲁棒性好;非线性 H_∞ 控制可以将有限功率谱的干扰对误差的影响降到最小; μ 综合鲁棒控制同时考虑了系统鲁棒稳定性、鲁棒性能及系统的动态性能,设计方法物理概念清晰,系统结构直观^[9]。

地面站软件主要包括前台操作界面和后台数据处理程序。前台操作界面为技术人员操控无人机提供功能强大的、友好的人机界面,大部分还集成了地理信息系统(GIS, Geographic Information System),具有

强大的空间符合、运算、查询、分析能力。后台数据处理主要进行和无人机之间的数据交互、单个地面站同外部网络之间的通信、数据库操作等。这部分的软件主要运行在当前主流操作系统上，可以用例如 C++/MFC 来开发，具有较好的通用性、移植性。

2.5. 当今具有代表性的旋翼式无人机

2.5.1. 奥地利 CAMCOPTER 无人直升机

CAMCOPTER 是奥地利西贝尔公司开发的系列无人直升机。其最新的 S-100 无人直升机是一款高度灵活的全自主无人飞行系统，可执行战术侦察、炮火支援、重点及移动目标跟踪定位等任务，并配备装有红外摄像机/可见光摄像机/激光测距仪的万向接头。

S-100 的最大起飞重量为 200 kg，有效载荷 50 kg，还提供外挂功能，续航时间 4~6 小时，最大飞行速度 240 km/h，标准巡航速度 185 km/h，其性能在同类型产品中相当突出。S-100 可直接降落在有直升机甲板的舰船上，而不需要额外的回收设施。目前，除民用领域外，这款无人机已被奥地利陆军以及德国、西班牙、法国、巴基斯坦和印度海军购买，并投入使用(图 3)。

2.5.2. 波音 A160T “蜂鸟” 无人直升机

波音公司开发的这款无人直升机采用了“最佳转速旋翼”系统，可以根据实际飞行状态的需要调整发动机功率，改变旋翼转速，从而减少油耗，降低噪音。该型无人机航程高达 4600 km，续航时间为 24~40 小时，全机重量 2950 kg，有效载荷 135 kg，可以搭载多种雷达和武器系统。A160T 无论是起飞重量还是巡航能力，都大大超越了现有的无人直升机的标准，是旋翼式无人机领域发展的重大的突破。

2.5.3. 加拿大“哨兵”共轴双旋翼无人机

邦巴迪尔公司，CL-327 采用共轴双旋翼、四脚起落架布局、花生型机体外形，由上部动力组件、中部旋翼组件和下部有效载荷组件组成。该机旋翼直径 4 m，最大起飞重量 350 kg。目前 CL-327 的飞行高度已超过 5500 m，巡航速度达到 180 km/h，续航时间为 6 小时，有效载荷达到了 100 kg。其飞行噪音低，发动机的喷口向上排气，加上其球形的外部结构，在战场上具有一定的隐形能力。而省去了尾桨及其传动系统，使其结构紧凑，体积小，易于运输。

2.5.4. 美国“鹰眼”倾转旋翼无人机

美国贝尔直升机公司研制的“鹰眼”无人机是一种典型的倾转旋翼式无人直升机，既具备直升机垂直起降的特性，又具有固定翼飞机的快速水平飞行性能。最大速度可达 370 km/h，巡航速度为 111 km/h，实用升限约 6100 m，作战半径达 185~370 km，有效载荷为 136 kg，续航时间 3~5 小时。

2.5.5. 美国 Cypher 无人机

Cypher 是美国西科斯基公司研制的碟形无人飞行器，采用共轴双桨涵道式布局，两副旋翼反向旋转，以抵消反扭矩，机体扁平，无人机的飞行姿态控制是通过螺旋桨的周期变距装置来实现的。其综合了一系列先进技术，如复合材料技术、无轴承旋翼、电传飞控系统和先进的电子设备等。其改进型为 Cypher II，总重量达 100 kg，最高飞行速度为 230 km/h，可以载重 20 kg，续航能力约 2 小时^[10]。

2.5.6. 德国 MD4 四旋翼无人飞行器

德国 microdrones GmbH 是全球领先的垂直起降微型无人机系统开发商。MD4 是其开发的四旋翼微型无人飞行器系统。最新的 MD4-1000 四旋翼无人飞行器最大起飞重量为 5.55 kg，最大有效载荷 1.2 kg，巡航速度 54 km/h，滞空时间 15~60 分钟，机体完全采用碳纤维材料制造，重量更轻，强度更高。MD4 体积小，重量轻，携带组装方便，能搭载多种电子设备，现已遍及警察、消防、军队、媒体、考古、环境保护等多个行业。

3. 旋翼式无人机的应用及发展趋势

3.1. 旋翼式无人机的应用

现今，无人机被广泛应用于军民领域的许多行业中，例如渗透侦查、超视距作战、地质勘探、抢险救灾、气象探测、交通管理、农业种植、工业生产、体育运动、科学研究等。

旋翼式无人机和固定翼无人机都有各自的特性，两类无人机在不同的领域有不同的表现，在某些场合下，旋翼式无人机较固定翼无人机更为适用。

3.1.1. 海军舰载无人机

海军部队因为舰只空间有限，对无人机体积、无



Figure 3. The representation of rotorcraft: (1) S-100; (2) A-160T; (3) CL-327; (4) Cypher; (5) Eagle eye; (6) MD-4

图 3. 代表性的旋翼式无人机: (1) S-100; (2) A-160T; (3) 哨兵; (4) Cypher; (5) 鹰眼; (6) MD-4

人机起降甲板距离等有较为严格的要求，而结构紧凑、可垂直起降的旋翼式无人机则正好满足了这些要求。舰载无人机多执行中/近距离搜索/侦查、通信中继、火炮校正、战况评估等任务，也有的舰载无人机有提供火力支援的任务，旋翼式无人机可以搭载不同的任务载荷模块来完成相应任务。旋翼式无人机只需要一块相应大小的甲板就可以实现起降，起降无需滑行，也无需弹射装置，而且，旋翼式无人机的体积相对较小，对机库的要求较低，所以可以很方便地配备在目前大部分中小型舰只上。与固定翼无人机相比较而言，旋翼式无人机的悬停功能则可以更好的完成海上打捞、搜救、定点侦查等任务^[11,12]。

3.1.2 输电线路巡视

输电线路会因为自然或人为的因素而产生老化和破损，而输电线路的状况则关系到电力系统的安全运行，所以，输电线路的日常巡检是供电企业的主要任务之一。而采用人工攀爬的检查手段受自然条件制

约且效率低下，危险性大。旋翼式无人机的低空低速性能优秀，飞行稳定，能准确的沿着输电线路方向巡查，检查到异常情况时可以变换位置、靠近悬停以多角度仔细观察。旋翼式无人机的巡检速度快、质量高、无盲区，使输电线路巡检效率得到大幅度提高^[13,14]。

3.1.3 目标跟踪、航拍

在侦查、搜救、交通管制等领域都需要用到目标跟踪技术，可以采用无人机从空中对目标进行跟踪。由于被跟踪目标的运动状态是不确定的，所以对无人机的飞行灵活性有较高的要求。旋翼式无人机在飞行中可以随时加减速、升降、变向、悬停甚至倒车，可以适应被跟踪目标的多种运动状态，其飞行灵活性是固定翼无人机所不可比拟的。而且，旋翼式无人机不需要像固定翼无人机一样需要一定面积的机翼来提供升力，所以，采用微机电系统技术的旋翼式无人机体积可以大大减小，更加方便进行目标跟踪。

采用旋翼式无人机进行航拍的话，可以让无人机保持同目标相同的运动状态，使无人机同目标的位置相对固定，保证了航拍镜头的连贯性。而且旋翼式无人机的飞行的灵活性可以满足几乎所有角度的航拍任务。

3.2. 旋翼式无人机的发展趋势

旋翼式无人机的发展已经取得了可喜的成果，但是仍然有一些难题需要研究者们去解决。未来的旋翼式无人机需要变得更加智能，并向高空、高速、长航程、高载荷、能源多样化等多方向发展。

3.2.1. 高速旋翼式无人机

速度一直是衡量飞行器性能的指标，但也是旋翼式飞行器的固有弱点。改变旋翼式无人机传统的气动布局已被证明是提高旋翼式无人机航速的有效方法。倾转旋翼技术的研究已经取得了部分成果，发展前景十分乐观。而美欧也开始了复合旋翼技术的研究，相信会成为未来高速旋翼式无人机的发展方向之一。

3.2.2. 大型旋翼式无人机

现有的旋翼式无人机多是中小型无人机，而很多任务需要载荷更大、滞空时间更长、航程更远的无人机来完成，长航时、高航程无人直升机不必考虑飞行员的生理限制问题，可在侦察、通信中继、边境巡逻

等军民任务方面发挥更大的作用。很多国家都开始了对大型无人直升机的研究和开发,并有了一定的进展。而随着飞行控制算法的改进,无线通信技术的发展以及动力系统的提升,可以飞行数十小时、上千公里,搭载大重量载荷的旋翼式无人机将会逐渐出现。

3.2.3. 微型化旋翼式无人机

微型无人机通常指基准尺寸(长度和翼展)小于 15 cm 的无人机,这种无人机很难用雷达或红外传感器探测到,而且飞行噪音小。微型无人机在执行情报、监视、侦察和电子战任务等方面拥有极大的优势,而且机型的缩小也带来了机动能力和战场生存能力的提高。随着纳米技术、微型传感器技术、微电波技术的进步,微型无人机将会越来越小^[15]。

3.2.4. 多用途智能化旋翼式无人机

目前的旋翼式无人直升机缺少应对突发情况的能力,只能执行预定的任务和接收地面站的控制,功能单一,智能化程度较低。因此,随着电子技术、信息技术的飞速发展,旋翼式无人机需要能根据飞行控制算法自主判断当前状态,快速进行危机决断,选择飞行动作。目前的无人机多是单架执行单一任务,很难满足日益增长的任务需求,所以,旋翼式无人机还需要可以搭载功能更多更全的电子设备,实现旋翼式无人机的多用途化以及多机集群的任务协作。在未来信息化社会的大背景下,高智能化的旋翼式无人直升机将逐步走入人们的生活。

4. 结束语

旋翼式无人机是一个融合了多种学科的有成熟技术又在不断发展的综合性产品,拥有机动灵活,可悬停飞行,起降方便等诸多优点。作为一个空中平台,

通过搭载有效载荷广泛地在各个领域充当不同的角色。随着计算机、通信、信息融合和人工智能等技术的飞速发展,制约旋翼式无人机发展的技术难题将会被逐一解决,旋翼式无人机将成为更加聪明和可靠的工具,并有望取代有人旋翼机。

参考文献 (References)

- [1] H. Eisenbeiss. A mini unmanned aerial vehicle: System overview and image acquisition. International Workshop on Processing and Visualization Using High-Resolution Imagery, 2004.
- [2] 唐正飞. 旋翼飞行器及其系统发展研究[R]. 2010~2011 航空科学技术学科发展报告, 2011: 33-40.
- [3] 岳基隆, 张庆杰, 朱华勇. 微小型四旋翼无人机研究进展及关键技术浅析[J]. 电光与控制, 2010, 17(10): 46-51.
- [4] 余佳佳, 白金平, 张剑锋. 空中机器人的发展现状和趋势[J]. 计算机应用研究, 2011, 28: 9-11.
- [5] 百度百科. GPS/INS 组合制导[URL], 2011. <http://baike.baidu.com/view/5382007.htm>
- [6] 汪坤. 无人机组合导航系统数据融合算法研究与软件实现[D]. 电子科技大学, 2011.
- [7] J. L. Wang, M. Garratt, A. Lambert, et al. Integration of GPS/INS/VISION sensors to navigate unmanned aerial vehicles. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, 37: 963-970.
- [8] 李一波, 李振, 张晓东. 无人机飞行控制方法研究现状与发展[J]. 飞行力学, 2011, 9(4): 1-5.
- [9] 王宏强. 旋翼/涵道风扇式无人直升机飞行控制若干问题研究[D]. 南京航空航天大学, 2009.
- [10] 屈超. 碟形无人机动态特性分析及结构优化设计[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.
- [11] 苏鑫鑫, 王永寿. 世界舰载 ISR 无人机发展概况[J]. 飞航导弹, 2009, 12: 50-56.
- [12] 赵涛. 舰载无人机的发展[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(4): 21-24.
- [13] 蒋才明, 唐洪良, 陈贵等. 基于 Google Earth 的输电线路巡视无人机地面站监控系统[J]. 浙江电力, 2012, 2: 5-8.
- [14] 郭轶敏, 张劲. 电力无人机 40 分钟巡查输电线路 5000 米(图)[URL], 2012. http://news.china.com.cn/live/2012-07/30/content_15401238.htm
- [15] 淳于江民, 张珩. 微型无人直升机技术研究现状与展望[J]. 机器人技术与应用, 2004, 6: 6-11.