

解密多旋翼发展进程

随着大疆等厂商引发的无人机热潮，多旋翼这个几近沉寂的飞行技术被再度引爆，受到越来越多相关行业的关注。多旋翼为何会在等待数十年之后才迅速蹿红？多旋翼在未来会促进行业向何种方向变革？对于接连发生的无人机安全事件，该如何避免类似状况再次发生？这些问题的确值得我们仔细研究。

□文 / 全权

常见飞行器通常被分为固定翼、直升机和多旋翼（四旋翼最为主流）。在2010年之前，固定翼和直升机无论在航拍还是航模运动领域，基本上占有绝对主流的地位。然而，在之后的几年中，因优良的操控性能，多旋翼迅速成为航拍和航模运动领域的新星，但这仍然需要专业人员调试或装配飞机。2012年底，中国大疆公司推出四旋翼一体机——小精灵 Phantom。因该产品极大地降低了航拍的难度和成本，获得了广大的消费群体，成为迄今为止最热销的产品。之后短短两年间，围绕着多旋翼

飞行器相关创意、技术、产品、应用和投资等新闻层出不穷。目前，多旋翼已经成为小型无人机或航模的主流。比如在2015年刚闭幕的中国国际模型博览会和农业展览会上，我们随处可见多旋翼的身影。随着大疆产品的走热、各种相关技术的不断进步、开源飞控社区的推动、专业人才的不断加入，以及资本的投入等等因素，多旋翼技术得到迅猛发展。

对于目前多旋翼产品，一般分半自主控制方式和全自主控制方式。半自主控制方式是指自动驾驶仪的控制算法能够保持多旋翼飞行器的姿态稳定（或定点）等，但飞行器还是需要通过人员遥控操纵。在这种控制方式下，多旋翼属于航模。全自主控制方式是指自动驾驶仪的控制算法能够完成多旋翼飞行器航路点到航路点的位置控制以及自动起降等。在这种控制方式下，多旋翼属于无人机，而地面人员此时进行任务级的规划。作为无人机，多旋翼飞行器可以在无人驾驶的条件下完成复杂空中飞行任务和搭载各种负载任务，可以被看作是“空中机器人”。

表 1 无人机与航模的区别

	无人机	航模
操控方式	可自动驾驶	需遥控操纵
用途	军事用途 / 民用特种用途	接近于玩具
组成	复杂	简单



缘何青睐多旋翼

我们以目前电动的固定翼、直升机和多

旋翼为例比较它们的用户体验：

在操控性方面，多旋翼的操控是最简单的。它不需要跑道便可以垂直起降，起飞后可在空中悬停。它的操控原理简单，操控器四个遥感操作对应飞行器的前后、左右、上下和偏航方向的运动。在自动驾驶仪方面，多旋翼自驾仪控制方法简单，控制器参数调节也很简单。相对而言，学习固定翼和直升机的飞行不是简单的事情。固定翼飞行场地要求开阔，而直升机飞行过程中会产生通道间耦合，自驾仪控制器设计困难，控制器调节也很困难。

在可靠性方面，多旋翼也是表现最出色的。若仅考虑机械的可靠性，多旋翼没有活动部件，它的可靠性基本上取决于无刷电机的可靠性，因此可靠性较高。相比较而言，固定翼和直升机有活动的机械连接部件，飞行过程中会产生磨损，导致可靠性下降。而且多旋翼能够悬停，飞行范围受控，相对固定翼更安全。

在勤务性方面，多旋翼的勤务性是最高的。因其结构简单，若电机、电子调速器、电池、桨和机架损坏，很容易替换。而固定翼和直升机零件比较多，安装也需要技巧，相对比较麻烦。

在续航性能方面，多旋翼的表现明显弱于其他两款，其能量转换效率低下。

在承载性能方面，多旋翼也是三者中最差的。

对于这三种机型，操控性与飞机结构和飞行原理相关，是很难改变的。在可靠性和勤务性方面，多旋翼始终具备优势。随着电池能量密度的不断提升、材料的轻型化和机载

表 2 三种飞行器用户体验对照表

用户体验		固定翼	直升机	多旋翼
刚性体验	操控性	*	*	***
	可靠性	***	*	***
	勤务性	**	*	***
可根据任务进行取舍	续航性	***	**	*
	承载性	***	**	*

设备的不断小型化，多旋翼的优势将进一步凸显。因此，在大众市场，“刚性”体验最终让人们选择了多旋翼。

然而，多旋翼也有自身的发展瓶颈。它的运动和简单结构都依赖于螺旋桨及时的速度改变，以调整力和力矩，该方式不宜推广到更大尺寸的多旋翼。第一，桨叶尺寸越大，越难迅速改变其速度。正是因为如此，直升机主要是靠改变桨距而不是速度来改变升力。第二，在大载重下，桨的刚性需要进一步提高。螺旋桨的上下振动会导致刚性大的桨很容易折断，这与我们平时来回折铁丝便可将铁丝折断同理。因此，桨叶的柔性是很重要的，它可以减少桨叶来回旋转对桨叶根部的影响。正因为如此，为了减少桨叶的疲劳，直升机采用了一个容许桨叶在旋转过程中上下运动的铰链。如果要提供大载重，多旋翼也需要增加活动部件或加入涵道和整流片。这相当于一个多旋翼含有多个直升机结构。这样多旋翼的可靠性和维护性就会急剧下降，优势也就不那么明显了。当然，另一种增加多旋翼载重能力的可行方案便是增加桨叶数量，增至 18 个或 32 个桨。但该方式会极大地降低可靠性、维护性和续航性。种种原因使人们最终选择了微小型多旋翼。

多旋翼爆红的成因

沉寂期：1990 年以前 [1]

早在 1907 年，法国 C.Richet 教授指导

全权 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院
博士 副教授

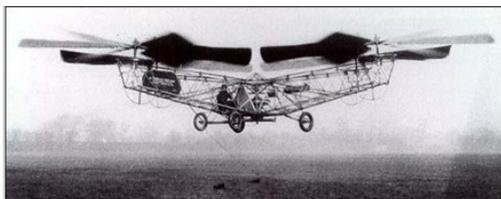
[1] 年代的划分部分参考《电子新蓝海：小型无人机行业的爆发》，广发证券，2015 年。



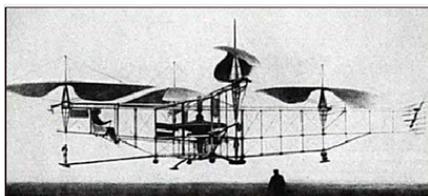
图 1 早期的多旋翼



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Breguet 兄弟进行了他们的旋翼式直升机的飞行试验,如图 1a,这是有记录以来最早的构型。第一架成功飞行的垂直起降型四旋翼飞行器出现在 20 世纪 20 年代,但那时几乎没有人会用到它。1920 年, E.Oemichen 设计了第一个四旋翼飞行器的原型,但是第一次尝试空运时失败了。

之后在 1921 年 B.G.De 在美国俄亥俄州西南部城市代顿的美国空军部建造了另一架如图 1c 的大型四旋翼直升机,这架四旋翼飞机除飞行员外可承载 3 人,原本期望的飞行高度是 100 米,但是最终只飞到 5 米的高度。E.Oemichen 的飞机在经过重新设计之后(如图 1b 所示),于 1924 年实现了起飞并创造了当时直升机领域的世界纪录,该直升机首次实现了 14 分钟的飞行时间。E.Oemichen 和 B.G.De 设计的四旋翼飞行器都是靠垂直于主旋翼的螺旋桨来推进,因此它们都不是真正的四旋翼飞行器。

早期四旋翼飞行器的设计受困于极差的发动机性能,飞行高度仅仅能达到几米,因此在接下来的 30 年里,四旋翼飞行器的设计没有取得多少进步。直到 1956 年,

M.K.Adman 设计的第一架真正的四旋翼飞行器 Convertawings Model “A” (如图 1d) 试飞取得巨大成功,这架飞机重达 1 吨,依靠两个 90 马力的发动机实现悬停和机动,对飞机的控制不再需要垂直于主旋翼的螺旋桨,而是通过改变主旋翼的推力来实现。然而,由于操作这架飞机的工作量繁重,且飞机在速度、载重量、飞行范围、续航性等方面无法与传统的飞行器竞争,因此人们对此失去了进一步研究的兴趣,该研究被迫停止。

在 20 世纪 50 年代,美国陆军继续测试各种垂直起降方案。Curtiss-Wright 是被邀请参与研制了 VZ-7 和杠杆燃气涡轮机的几家公司之一,杠杆燃气涡轮机的出现提高了 VZ-7 的功率与重量比。因此,VZ-7 被称作“Flying Jeep”,如图 1(e) 所示,其有效载重量为 250 千克,靠 425 马力的杠杆燃气涡轮发动机驱动。VZ-7 的测试在 1959 年至 1960 年期间得到实现。虽然它相对稳定,但是它未能达到军方对高度和速度的要求,该计划并没有得到更进一步的推行。在 1990 年以前,惯性导航体积重量过大,动力系统载荷也不够,因此当时多旋翼设计得很大。正

如前面分析的，大尺寸的多旋翼并没有那么大优势，与多旋翼相比，固定翼和直升机更适合发展大尺寸。在此之后的30年中，四旋翼飞行器的研发没有取得太大的进展，几近沉寂。

复苏期：1990年至2005年

20世纪90年代之后，随着微机电系统（MEMS，Micro-Electro-Mechanical System）研究的成熟，重量只有几克的MEMS惯性导航系统被开发运用，使制作多旋翼飞行器的自动控制器成为现实。此外，由于四旋翼飞行器的概念与军事试验渐行渐远，它开始以独特的方式通过遥控玩具市场进入消费领域。

虽然MEMS惯性导航系统已被广泛应用，但是MEMS传感器数据噪音很大，不能直接读取并使用，于是人们又花费大量的时间研究去除噪声的各种数学算法。这些算法以及自动控制器本身通常需要运算速度较快的单片机，可当时的单片机运算速度有限，不足以满足需求。接着科研人员又花费若干年理解多旋翼飞行器的非线性系统结构，并为其建模、设计控制算法、实现控制方案。因此，直到2005年左右，真正稳定的多旋翼无人机自动控制器才被制作出来。

起步期：2005年至2010年

在生产制造方面，德国Microdrones GmbH于2005年成立，2006年推出的md4-200四旋翼（如图2a）系统开创了电动四旋翼在专业领域应用的先河，2010年推出的md4-1000四旋翼无人机系统，在全球专业无人机市场取得成功。另外，德国人H.Buss和I.Busker在2006年主导了一个四轴开源项目，从飞控到电调等全部开源，推出了四轴飞行器最具参考的自驾仪Mikrokopter。

图2 早期的四旋翼产品



2007年，配备Mikrokopter的四旋翼像“空中的钉子”一般停留在空中。很快他们又进一步增加了组件，甚至使它半自主飞行。美国Spectrolutions公司在2004年推出Dragonflyer IV四旋翼（如图2b），并随后在2006年推出了搭载SAVS（稳定航拍视频系统）的版本。

在学术方面，2005年之后四旋翼飞行器继续快速发展，更多的学术研究人员开始研究多旋翼，并搭建自己的四旋翼。之前一直被各种技术瓶颈限制住的多旋翼飞行器系统瞬间被炒得火热，大家惊喜地发现居然有这样一种小巧、稳定、可垂直起降、机械结构简单的飞行器的存在。一时间研究者蜂拥而至，纷纷开始多旋翼飞行器的研发和使用。而国内的爱护者也纷纷研究，并开设论坛。虽然多旋翼的算法易懂，但组装一架多旋翼却不是一件容易的事情。在早期研究阶段，科研人员把很多时间都花在了飞行器的组装

调试环节。然而，有能力开发工艺的人往往缺乏对飞控的深入了解，一般只是复现国外的技术，谈不上进一步对系统进行改进。当时既掌握飞控技术又精通多旋翼工艺的经常是那些原来从事固定翼或直升机飞控的公司。德国 Microdrones 虽然较早地推出产品，但是工业级的四旋翼的价格对于普通消费者来说简直是遥不可及。除此之外，消费级的 Draganflyer 四旋翼之所以没有推广是因为其操控性及娱乐性不强（智能手机或平板电脑还尚未普及）、二次开发能力弱以及销售渠道窄（当时电商网络处于初步发展阶段）。

复兴期：2010 年至 2013 年

经过 6 年努力（2004 年至 2010 年），法国 Parrot 公司于 2010 年推出消费级的 AR. Drone 四旋翼玩具，从而开启了多旋翼消费的新时代。AR. Drone 四旋翼在玩具市场非常成功，它的技术和理念也十分领先。第一，它采用光流技术，能够测量飞行器速度，使得 AR. Drone 四旋翼（图 3a）能够在室内悬停。第二，可以做到一键起飞，操控性得到极大提升。第三，它采用手机、平板电脑或笔记本电脑控制，视频能够直接回传至电脑，娱乐感较强。第四，整个飞行器为一体机，并带有防护装置，比较安全。第五，AR. Drone 开放了 API 接口，供科研人员开发应用。AR. Drone 的成功也引发了一些自驾仪研发公司的思考。两年后，大疆推出的小精灵 Phantom 一体机（图 3b）正是借鉴了其设计理念。伴随着苹果在 iPhone 上大量应用加速计、陀螺仪、地磁传感器等，MEMS 惯性传感器从 2011 年开始大规模兴起，6 轴、9 轴的惯性传感器也逐渐取代了单个传感器，成本和功耗进一步降低，成本仅为几美元。另外 GPS 芯片仅重 0.3 克，价格不到 5 美元。

图 3 四旋翼一体机产品



(a) AR. Drone 1.0



(b) Phantom

WiFi 等通信芯片被用于控制和传输图像信息，通信传输速度和质量已经可以充分满足几百米的传输需求。同时，电池能量密度不断增加，使无人机在保持较轻的重量下，续航时间达到 15–30 分钟，基本满足日常的应用需求。近年来移动终端同样促进了锂电池、高像素摄像头性能的急剧提升和成本下降。这些都促进了多旋翼更进一步发展。

与此同时，学术界也开始高度关注多旋翼技术。2012 年 2 月，宾夕法尼亚大学的 V.Kumar 教授在 TED 大会 [2] 上做出了四旋翼飞行器发展历史上里程碑式的演讲，展示了四旋翼的灵活性以及编队协作能力。这一场充满数学公式的演讲大受欢迎，它让世界看到了多旋翼的内在潜能。2012 年，美国工程师协会的机器人和自动化杂志（Robotics & Automation Magazine, IEEE）出版空中机器人和四旋翼（Aerial Robotics and the Quadrotor）专刊，总结了阶段性成果，展示了当时最先进的技术。在这期间，之前不具

[2]

TED（指 technology, entertainment, design 在英语中的缩写，即技术、娱乐、设计）是美国的一家私有非营利机构

表 3 多旋翼主要开源项目一览表

开源项目 (Open-Source Projects)	网址 (Web site URL)
Arducopter	http://ardupilot.com
Openpilot	http://www.openpilot.org/
Paparazzi	http://paparazziuav.org
Pixhawk	https://pixhawk.ethz.ch/
Mikrokopter	http://www.mikrokopter.de
KKmulticopter	http://www.kkmulticopter.kr/
Multiwii	http://www.multiwii.com/
Aeroquad	http://www.aeroquadstore.com/
Crazyflie	https://www.bitcraze.io/category/crazyflie/
CrazePony	http://www.crazepony.com/
圆点博士	http://www.etootle.com/
Autoquad	http://autoquad.org/
MegaPirate	http://megapiratex.com/index.php
Elerobot	http://elerobotics.com/
MegaPirateNG	http://code.google.com/p/megapirateng
Taulabs	http://forum.taulabs.org/
ARDrone API(开放 SDK)	https://projects.ardrone.org/embedded/ardrone-api/index.html
3DR DRONEKIT(开放 SDK)	http://www.dronekit.io/
DJI DEVELOPER(开放 SDK)	http://dev.dji.com/cn
EHANG GHOST SDK(开放 SDK)	http://dev.ehang.com/

备多旋翼控制功能的开源自驾仪增加了多旋翼这一功能,同时也有新的开源自驾仪不断加入,这极大地降低了初学者的门槛,为多旋翼产业发展装上了翅膀。

爆发期: 2013 年至今

2012 年初,大疆推出小精灵 Phantom 一体机。Phantom 与 AR.Drone 一样控制简便,初学者很快便可上手。同时,价格也能被普通消费者接受。相比 AR.Drone 四旋翼飞行器,Phantom 具备一定的抗风性能、定位功能和载重能力,还可搭载小型相机。当时利用 Gopro 运动相机拍摄极限运动已经成为欧美年轻人竞相追逐的时尚潮流,因此 Phantom 一体机一经推出便迅速走红。

连线杂志主编 C.Anderson 于 2012 年年底担任 3D Robotics 公司 CEO,该公司于 2013 年 8 月推出 Iris 遥控四旋翼飞行器,于 2014 年推出 X8+ 四旋翼飞行器,并很快于 2015 年推出 Solo 四旋翼飞行器。

此时,学术界对于多旋翼的研究更偏向智能化、群体化。2013 年,苏黎世联邦理工学院的 R.D'Andrea 教授在 TEDGlobal 的机器人实验室展示了四旋翼的惊人运动机能。纵观学术界的发展,以“四旋翼 (quadrotor)”和“多旋翼 (multirotor)”为关键词的文献在近年成井喷趋势。这些研究往往具备前瞻性,将推动多旋翼产业未来的发展。

新技术促产业快速变革

多旋翼的性能会因其他技术的进步而进



步，其相对固定翼和直升机的优势也会进一步凸显。

动力技术

① 新型电池。2015 年，来自加拿大蒙特利尔的 EnergyOr 技术有限公司采用燃料电池的四旋翼进行了 2 小时 12 分钟续航飞行。2015 年 4 月 6 日，科学权威期刊《自然》网络版刊登了一篇报道，一种锂电池仅需 60 秒便能让手机电力“满血复活”。此外，石墨烯、铝空气、纳米点这三项电池技术将

成为未来电池世界的三大奇兵。这些新的电池技术有着十分迫切的需求，首先会被应用到手机和电动汽车，随后可配备多旋翼。

② 混合动力。2015 年，美国初创公司 Top Flight Technologies 开发出混合动力六旋翼无人机。它仅需要 1 加仑（约合 3.78 升）汽油便可以飞行两个半小时（可飞行约 160 公里），最高负重达 20 磅（约合 9 公斤）。

③ 地面供电。它采用地面供电，通过电缆将电能源源不断输送给多旋翼，例如

表 4 近期发布的多旋翼飞行器产品一览表

飞机型号	公司	发布时间	国家	特点
Allerion 25-T	UAV Solutions	2013.8	美国	航时 12 小时（未证实）
Spiri	Patrick Edwards-Daugherty	2013.8	加拿大	基于 Ubuntu 的可编程无人机
Stingray500	Curtis Young Blood	2013.12	美国	全球首款量产的四轴可变桨距飞行器
AR.Drone 2.0	Parrot	2013.12	法国	智能终端控制、无 GPS 保持悬停
AirDog	Helico Aerospace Industries	2014.6	拉脱维亚	可折叠、无需智能手机进行控制，可跟随使用者全天候待命拍摄
Rolling Spider	Parrot	2014.7	法国	体积小而轻，配备了一个“车轮”，可以在地上跑、爬墙等工作
IRIS+	3D Robotics	2014.9	美国	一键 3D 扫描建模，自动跟踪、自动轨迹飞行拍摄
nixie	Fly nexie	2014.11	美国	世界上第一款可穿戴无人机（概念阶段）
GHOST 1.0	EHANG	2014.11	中国	纯手机控制，自动跟随
Mind4	AirMind	2014.11	中国	世界上首款基于安卓系统的无人机
inspire 1	DJI	2014.11	中国	变形收起起落架
Bebop	Parrot	2014.12	法国	Bebop 是基于 AR.Drone 全面升级的版本
Vertex VTOL	ComQuestVentures	2015.1	波多黎各	将多旋翼与固定翼飞行器的各种优势进行有机组合
Skydio	Skydio	2015.1	美国	利用普通摄像头，实现自主导航和冲突避免能力（尚在原型阶段）
Steadidrone Flare	Steadidrone	2015.1	捷克	高强度的碳纤维机身、防水功能，本身还支持折叠
Airborg H61500	Top Flight Technologies	2015.3	美国	混合动力
Splash Drone	Urban Drones	2015.3	美国	防水设计，可以停留在水面上
SOLO	3D Robotics	2015.4	美国	集最先进的技术于一身，提高航拍体验
Phantom 3	DJI	2015.4	中国	集成了高清图传、视觉定位、4K 摄像机等先进技术
XPlanet	XAIRCRAFT	2015.4	中国	智能规划航线、智能喷洒系统、智能电池管理等
Phenox2	Ryo Konomura、Kensho Miyoshi	2015.4	日本	可编程式无人机，体积小、重量轻，可在手掌上起飞降落
CyPhy LVL1	CyPhy Works	2015.4	美国	水平飞行拍摄时机身不会倾斜
Lily	Lily	2015.5	美国	可手抛起飞、自动跟随、防水

Skysapience 公司的 Hoverlite。

④无线充电。来自德国柏林的初创公司 SkySense 在无人机户外充电方面提供了一种解决方案，他们研发出一块可以为无人机进行无线充电的平板。SkySense 的最大特点是可以进行远程控制，无人机的“降落—充电—起飞”全过程可以独立实现，不需要人为进行现场干预和辅助。如果能够缩短充电时间，那么无线充电技术将会极大地帮助多旋翼进行长途飞行。

导航技术

定位是导航中的关键技术，目前该领域发展迅速。

① GPS 载波相位定位。来自美国的 SwiftNavigation 公司基于该项技术开发的 Piksi 是一个低功耗、高性能的具备 RTK 功能的厘米级的 GPS 接收器。它的小型化、高更新率和低能耗的特点使得它非常适合集成到自动驾驶飞行器和便携的测量设备里。由日本东京海洋大学开发的 RTKLIB 开源项目 (<http://www.rtklib.com/>) 也在积极推动 RTK 技术发展。

②多信息源定位。英国军方 BAE 最近公布了他们研发的名为 NAVSOP (Navigation via Signals of Opportunity) 技术。该技术将利用包括 TV、收音机、WiFi 等信息进行定位，弥补 GPS 的不足。

③ UWB (Ultra Wideband, 超宽带) 无线定位。UWB 信号具有低成本、抗多径干扰、穿透能力强的优势，因此适用于静止或者移动物体以及人的定位跟踪，提供十分精确的定位精度，静态精度可达 10 厘米。通过与惯性导航传感器融合，UWB 可以提供更高的精度、更强的鲁棒性。

对于多旋翼无人机，在飞行过程中，快

速且准确地获取自身速度能有效地提高多旋翼控制的稳定性（提高阻尼），从而达到更好的悬停和操控效果，因此测速工作起到了十分重要的作用。比较精确的测速方案是通过“视觉（光流）+ 超声波 + 惯导”的融合。Ar.Drone 是最早采用该项技术的多旋翼飞行器，它极大地提升了飞行器的可操控性。PX4 自驾仪开源项目提供了开源的光流传感器 PX4Flow。该传感器可以帮助多旋翼在无 GPS 情况下实现精确悬停。

为了使多旋翼完成更好的飞行，避障技术无疑能够为其提供更加稳定的导航性能。

①深度相机避障技术。它的原理是先对场景投影结构光，然后分析红外传感器接收的反光得到深度信息。微软在 2010 年推出了深度相机 Kinect。然而 Kinect 体积还是较大，并且在两米之外才能准确地识别用户手势。2014 年，芯片厂商英特尔推出 RealSense 传感器，体积更小，使用距离更短。在 2015 年 CES 美国消费电子展上，英特尔把 RealSense 技术也应用到了无人机上，以用于感知周围环境，进而自主避障。

②声呐系统避障技术。Panoptes 公司拟推出 Bumper4 避障系统。它由指向多个方向的超声波传感器组成，通过测量多个方向的距离来判断障碍。

③“视觉+忆阻器”避障技术。美国“Bio Inspired”公司期望利用视觉和忆阻器（具有短期记忆效果的电阻器）使系统具备识别和短期记忆功能，从而使无人机拥有避障的能力。

④双目视觉避障技术。美国的 Skydio 公司采用两个普通的摄像头充当无人机的“眼睛”并研发出识别障碍软件，从而使多旋翼无人机能够具备识别障碍的能力，进而



实现自我导航。

⑤ 微小型雷达。Echodyne 公司利用一台四轴无人机展示了它的小型电子扫描雷达。它可追踪地面上的某个人，或是在飞行中躲避障碍物，不过目前它仍然处于原型阶段。他们试图将这款雷达的尺寸缩小到只有一台 iPhone6 Plus 大小，且重量不超过 1 磅。

无人机通常利用被跟踪者身上放置的 GPS 装置进行定位和跟踪。这种方式会在某种程度上影响用户体验。除此之外，在没有 GPS 信号的情况下，该方式就会失效。而且，对于非自愿携带 GPS 设备的用户，该方式也是行不通的。

新的技术完全可以从视觉和雷达角度出发。视觉跟踪技术方面，3D Robotics 公司推出开源飞控应用 Tower，它能够使飞行器跟随用户，并将用户保持在摄像头中心。OpenCV 开源软件也同样有很多跟踪算法供飞行器开发。此外，采用小型电子扫描雷达也能够实现新式的跟踪模式。

交互技术

① 手势控制技术。在 CES 2014 的展会上，工作人员演示了利用 MYO 手势控制臂带来控制 AR.Drone 2.0 四旋翼。用户只要将臂带戴在其中一只手上，并以两只手指击响便可启动并控制该飞行器。智能手机、手环、手表、戒指等内置惯性传感器的设备也可以识别操作者的手势，用于控制多旋翼。

② 脑机接口。它是指在人脑与计算机等外部设备之间建立直接的连接通路。通过对于脑电信息的分析解读，将其进一步转化为相应的动作，就像是在用“意念”操控物体。多家机构对该技术也展开了研究。布朗大学与犹他州 Blackrock Microsystems 公司的研究员将此无线装置商业化，他们将其

粘附在人类头骨上，并通过无线电发送由人脑植入设备收集的意识命令；Emotiv 公司的 EPOC 可以检测 8 种行为现象，识别出 7 种表情，从而使残障人士具备控制飞行器的能力；浙江大学 CCNT 实验室的研究人员演示了 FlyingBuddy2 系统——即用大脑控制四旋翼无人飞行器；葡萄牙里斯本的无人机公司 Tekever 推出了一种依靠脑电波操控的无人飞机。

通信技术

该项技术有助于信息共享，适用于交通管理或自身监控等，比如将数据备份到云端进行云计算等。

① 4G/5G 通信技术。2013 年 6 月 17 日，北京 4G 联盟联合无人机联盟组织召开了 4G 联盟与无人机联盟交流研讨会，旨在加强北京 4G 联盟和无人机联盟之间技术交流，寻找无人机机载载荷与 4G 设备仪器的聚焦，促进北京市信息产业发展。2015 年，中国移动开发 4G “超级空战队”设备，能支持航拍影像即拍即传。

② Wifi 通信技术。2013 年，德国的卡尔斯鲁厄理工学院开发出了一项新的无线广域网技术，打破了最快的 WiFi 网络速度纪录，它可以让 1 公里以外的用户每秒钟下载 40GB 大小的数据。由于这种设备的传输距离比普通 WiFi 路由器的覆盖范围要广得多，因此这种设备很适合无人机航拍图传或光纤布放不方便的农村地区应用。

芯片技术

① 在 2015 年 CES 上，高通和英特尔展示了功能更为丰富的多轴飞行器。例如，高通在 CES 上展示的 Snapdragon Cargo 无人机是基于高通 Snapdragon 芯片开发出来的飞行控制器。它具备无线通信、传感器

集成和空间定位等功能。英特尔 CEO Brian Krzanich 也亲自在 CES 上演示了他们的无人机，采用了四核的英特尔凌动 (Atom) 处理器的 PCI-express 定制卡。此外，活跃在机器人市场的欧洲处理器厂商 XMOS 也表示已经进入无人机领域。

② 3D Robotics 发表声明与英特尔共同合作开发 Edison 芯片，这是一种新型微型处理芯片。虽然它只有一个硬币的大小，却具有个人电脑一样的处理能力。

③ 目前，包括 IBM 在内的多家科技公司都在模拟大脑，开发神经元芯片。而一旦“神经形态”芯片被应用于无人机，自主反应、自动识别将会变得轻而易举。

④ 未来飞行器上的 MEMS 产品会向集成化方向发展，例如三轴加速度与三轴陀螺仪结合而成的集成产品。手机芯片公司推出无线多合一芯片后，又推出了手机市场的定位与导航芯片。新一代定位芯片，将满足可穿戴与无人机等差异化需求。不仅如此，新芯片内部还会直接集成控制算法。

⑤ 为了让机器人应用能够更好地感知环境，高通研究院正在开发一款机器视觉研究软件开发工具包 (SDK)，其中包含至关重要的计算机视觉技术，比如：视觉惯性测程、视觉同步定位和绘图立体相机景深。对于可穿戴设备和无人机等新兴领域的定位需求，他们需要更准确、更小尺寸或是更快速的定位，甚至室内导航功能，同时这些领域的需求并不要求集成其他无线功能，这给传统的定位芯片厂家又带来了新的商机。

平台技术

① “Dronecode” 无人机开源系统。2014 年 10 月，著名计算机开源系统公司 Linux 推出了名为“Dronecode”的无人机

开源系统合作项目，将 3D Robotics、英特尔、高通、百度等科技巨头纳入项目组，旨在为无人机开发者提供所需要的资源、工具和技术支持，加快无人机和机器人领域的发展。

② Ubuntu 15.04 操作系统。Ubuntu 15.04 的物联网版本是 Ubuntu 目前最小且最安全的版本，它十分精简，适合开发者、科技专业人士使用，能够在无人机等领域中使用。

③ Airware 企业级无人机系统。Airware 公司旨在通过标准化的无人机软件系统，帮助企业迅速、高效地完成商用无人飞行器的部署及管理。该系统已于 2015 年 4 月 16 日正式发布，通过硬件与软件相结合，Airware 成功地实现了在单个软件平台上统一管理多个不同型号、不同品牌无人机的目标。目前，Airware 产品已获得两家合作伙伴的采纳，分别为通用电气（同时也是 Airware 的投资者）和 Infinigy。

④ 一家名为 Percepto 的创业团队在 Indiegogo 上发起了一个同名开源项目，它是一个可以安装在现有无人机之上的计算机视觉组件，目标是搭建一个集硬件、驱动、算法、安全、机身控制于一体的平台，让更多的开发者在此平台上为无人机开发应用。

空管技术

① 2014 年，Airware 计划在 NASA 加州基地针对不同类型的无人机（四旋翼、直升机、固定翼飞机）展开一系列的飞行和实验室测试，最快可能会在今年开始该项目。测试第一阶段的目标是理解不同的飞行器对空管系统的响应方式。

② 初创公司 SkyWard 正在研发无人机交通控制系统，这套系统使数千无人机在城市上空飞行而不会互相碰撞。Skyward 正



在跟 FAA 和全球三大无人机制造商（大疆、3D Robotics、Parrot）合作以证明大量的无人机可以在拥挤空域安全地共存。

③ NASA 同空间技术公司 Exelis 已经联手组成团队开发无人机空中交通管制系统的原型产品。

技术碰撞产生新火花

在多旋翼的潜在新技术发展进程中，各个技术是相互耦合依存的，比如芯片、传感器和算法等等。这些技术将构成无人机（多旋翼）的生态环境，这种情况下无人机（多旋翼）的发展可能被其中某项技术的发展引领，存在着各种可能性，很多是我们目前无法想象到的。同样，在无人机（多旋翼）发展带动的技术也会促进相关行业技术的发展，解决各种实际问题。

风险问题何解

不同产品可容忍的最低可靠性指标是不一样的，风险也会不一样。比如，对于个人操作系统，死机并不会对用户带来太多的损失，重启电脑即可。然而，如果多旋翼坠机，那么损失会很大，进而造成一系列影响。

首先是人身安全问题。虽然多旋翼正向着轻量化方向发展，但在搭载了各种设备之后，其自身重量必然大幅增加，很可能砸伤甚至砸死人。

其次是财产安全。无人机不同于航模，它搭载着各种精密昂贵的传感器设备，它们有的价值百万元甚至更高。面对如此珍贵的“测绘装备”，多旋翼的操控人员更需要过硬的技术和心理素质。

最后是道德和舆论风险。多旋翼砸伤砸死人、公共安全或隐私等问题很可能引起媒体的大量报道，这无疑对多旋翼的发展形成

较大阻力。目前，我们已经能够看到风险上升的苗头。2015年1月29日，无人机闯入了白宫，紧接着在2015年4月24日，另一架无人机又在日本首相官邸坠落。

那么，如何才能有效地降低风险呢？对于多旋翼生产和设计厂商，有效地执行以下五点对策会在很大程度上减轻飞行器的风险。

第一，提高飞行器自身的可靠性。硬件方面，购买质量有保证的元器件。软件方面，需要进行大量的测试和考虑安全实效保护措施。这需要花费大量的人力和物力。因此，对于掌握飞控方面核心技术和具备开发能力，十分重要。

第二，减少飞行器下降带来的冲击。减轻重量是最有效的方法，这会随着设备的小型化和材料的轻型化实现。另外一方面，多旋翼装载降落伞也是一种选择。

第三，为飞机编写ID号（飞机编号）。这就像车辆需要有车牌号一样，每架多旋翼也需要有个ID号。这样可有效减少不法人员对多旋翼飞行器的滥用。

第四，设置禁飞区。只要不在人口密集区飞行，坠机对人类的伤害就不会很大。但在人口密集区域，坠机的负面影响便会大大增加。因为，除非特批，无人机在人口密集区域不应飞行。此外，在人口稀少地带，操作人员可以采用运营商联动的方式，利用短信群发功能通知周边人员，以提高安全系数。

第五，防欺骗和入侵。多旋翼在飞行过程中可能被盗或发生数据泄漏，进而引发安全事故。例如在2012年，德克萨斯大学某一研究团队告知美国国会，他们可以利用商店买来的GPS设备入侵价值8万美元的无人机系统内部。为了防止类似情况发生，多旋翼需要更安全的设计，包括通讯链路加密、防

病毒设计等等。

对于多旋翼运营厂商，要注意以下三点。

第一，培养合格的多旋翼飞控手。在敏感区域飞行或飞行器重量超过一定限制时，需要持证上岗。第二，办理保险。未来购买多旋翼飞行器应该像买汽车一样缴纳强制险以减少自身风险，尤其当多旋翼搭载了十分昂贵的设备时。第三，限制飞行器飞行范围。

“多旋翼+”开启飞行新时代

多旋翼本身就是类似“互联网+”的平台，它与各行业结合，可实现多种应用（见下表）。

多旋翼未来何去何从

从事多旋翼开发，无外乎从需求、方案、技术三个角度入手。

需求创新不仅需要用户对需求的把握，还要综合把握方案和技术的可行性。需求创新又会带来新的问题和特色，这样会立刻形成产品和方案的差异性。新的问题引发新的设计、新的技术开发与集成，从而形成门槛。

方案创新需要广阔的知识面和对专业技术可行性的把握，它会降低技术的难度。

技术创新需要本领域很强的专业知识，其难度在于需要对多旋翼的某种性能进行较大改

善。行业每个细分领域都会带来新需求和问题。多旋翼与其他设备组合，不断形成新的应用。新的应用场景势必带来新的问题、新的技术。同时，应该对用户进行细分。这可以挖掘另外的新需求。

相关标准的推出同样也会扩大需求。国内外相关政策不断完善，行业也将变得更加规范。这些标准势必会给用户吃下定心丸，刺激用户购买欲望，从而会进一步扩大需求。

目前，具有广大消费群体的市场需求是被普遍看好的，比如玩具、教育、可穿戴四旋翼以及农业无人机等热门领域。多旋翼需要可靠的品质，这就意味着生产商需要源源不断的研发投入。因此，安全风险可控和具备广阔的消费群体的市场可以帮助厂家赚取合理的利润，进一步帮助产品提升质量。

分类	原理	实例
多旋翼自身	像积木一样组装多旋翼飞行器。	Kickstarter 众筹了一款通过乐高玩具实现多旋翼飞行器的项目。
多旋翼 + 照相机	侦察交通流量、拍摄风景图片以及探测前进道路上的障碍物。	Renault 汽车公司在新德里车展上推出了“KWID 概念”，该车配置了一款内置的四轴飞行器，由车内的人通过平板电脑控制。
多旋翼 + 农药	为农民提供智能高效的喷洒植保服务，帮助更多农民增产增收。	极飞农业无人机的亮相，标志着极飞科技将无人机技术运用到农业生产中，掀起中国农业向智能化、精准化、数字化迈进的技术革命浪潮。
多旋翼 + 货物	无人机派送快件，提高物流效率。	亚马逊公司在此方面投入了极大的精力和热情，进行了多轮飞行器的测试。
多旋翼 + 测绘仪器	具有广泛的工业应用，如采矿、考古学、施工，和各种军事功能。	法国公司无人机影像以这个创新的方式来快速准确地生成地形三维模型。他们革命性地利用 3D 打印技术将无人机拍摄的三维图像生成 3D 模型。
多旋翼 + 通信平台	多旋翼可以载着通信平台，短时间内将一定区域的通信进行恢复。	
多旋翼 + 光源	多旋翼和光涂鸦艺术创作结合，提高舞台剧的故事性。	视觉创意工作室 FICTION、加拿大太阳剧团。
多旋翼 + 读卡器	利用无人机结合 RFID 技术在仓库飞行并盘点存货。	德国公司 Fraunhofer 目前正在开发一套全新的库存管理系统。