

【武器装备】

# 临近空间高超声速飞行器跟踪技术

关欣,赵静,何友

(海军航空工程学院 信息融合技术研究所,山东 烟台 264001)

**摘要:**介绍了临近空间及临近空间飞行器的特点,分析了临近空间高超声速飞行器的运动特性,提出了关于临近空间高超声速飞行器跟踪技术的几点思考。从跟踪传感器及跟踪算法两方面考虑,为跟踪技术研究提出几点可行性建议。

**关键词:**临近空间;高超声速飞行器;跟踪技术

**中图分类号:**TN820.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2011)08-0004-03

## Track Technology of Hypersonic Aircraft in Near Space

GUAN Xin, ZHAO Jing, HE You

(Institute of Information Fusion Technology, Navy Aviation Engineering Academy, Yantai 264001, China)

**Abstract:** The paper introduced the features of near space and its aircraft. It analyzed the movement characteristic of hypersonic aircraft in near space, and proposed some thought about track technology of hypersonic aircraft in near space. From the consideration of two aspects in track of sensor and algorithm, it proposes some feasible suggestions for track technology research.

**Key words:** near space; hypersonic aircraft; track technology

近年来,临近空间成为军事领域的研究热点。随着 X-43、X-51 等临近空间高超声速飞行器的相继出现,各国已经加快了研究临近空间高超声速飞行器的步伐。临近空间高超声速飞行器具有“飞行速度快”、“巡航高度高”、“突防能力强”的作战特点<sup>[1]</sup>,可在 2 h 内对全球任一目标进行快速精确打击,这就给我国的安全体系构成了巨大的威胁。因此,我们在研发临近空间高超声速飞行器的同时必须同步进行临近空间高超声速飞行器的跟踪技术研究,只有这样才能防患于未然。

## 1 临近空间及临近空间飞行器

### 1.1 临近空间

临近空间<sup>[2-3]</sup>(near space)是指距地面 20~100 km 的空域,包括大气平流层区域(指距地面 18~55 km 的空域)、大气中间层区域(指距地面 55~85 km 的空域)和小部分增温层区域(指距地面 85~800 km 的空域),纵跨非电离层和电离层(60 km 以下为非电离层,60~1 000 km 为电离层),其绝大部分成分为均质大气(90 km 以下的大气,上面的是非均

质大气),是一块非常重要和有利用价值的空域。临近空间处于现有飞机的最高飞行高度和卫星的最低轨道高度之间,由于其重要的开发应用价值而在国际上引起广泛关注。

相比 20 km 以下的天空和 100 km 以上的太空,目前的临近空间显得分外“冷清”。长期以来,因上有卫星、下有飞机,20~100 km 的临近空间成了一个相对独立的“和平地带”,各国军队均未给予太多重视。但近年来,以美军为代表的西方发达国家军队仿佛一夜之间突然发现了这块既不属于航空范畴也不属于航天范畴的“新大陆”,并强烈认为,临近空间对于情报收集、侦察监视、通信保障以及对空对地作战等具有特殊和广阔的应用前景,可以作为一个新的作战空间来填补航空和航天空间之间的空白,势必将在未来电子战、信息战领域发挥巨大的军事应用潜力。

### 1.2 临近空间飞行器

临近空间飞行器<sup>[4]</sup>是指工作于临近空间并利用临近空间独有资源和特点来执行一定任务的一类飞行器。临近空间飞行器的划分方法有很多种,这里按照飞行的速度可以分为高速和低速临近空间飞行器。低马赫数的飞行器主要用于情报收集、侦察监视、通信保障,如升力式、浮力式、升浮一

收稿日期:2011-06-16

基金项目:全国优秀博士论文作者专项资金资助项目(200443)

作者简介:关欣(1978—),女,博士,副教授,硕士生导师,主要从事多传感器信息融合、目标跟踪研究。

体混合模式等低速飞行器,包括了各类飞艇及充气气球等;而高马赫数的飞行器主要用于远程机动作战和精确打击,包括高超声速的巡航飞行器和巡航弹、通用航空飞行器(CAV)等。目前,高马赫数飞行器是各国争相研究的热点,美国的X-43、X-51均属于此类飞行器。

## 2 临近空间高超声速飞行器的运动特性

临近空间高超声速飞行器的运动轨道简化为3个阶段:助推段、巡航段和攻击段,其中,巡航段又包括爬升段、平飞加速段和等速巡航段。这类飞行器主要依靠各类发动机提供动力,发动机产生强大的喷焰羽流,这种信号特征给跟踪提供了重要的线索和依据。高超声速飞行器在进入临近空间后,一般采用跳跃飞行轨道,这种方案已经扩展到了军事领域,并在国际上引起了广泛的关注。

由于临近空间高超声速飞行器所特有的这种飞行特性,它能够在很短的时间内完成加速,往往在巡航段开始几百秒的时间内速度就可达到6~7 Ma,这是十分惊人的。以X-51为例,它由一架B-52H轰炸机携带飞至太平洋上空15.24 km的高空,然后从吊臂释放,助推级点火工作约30 s,将飞行器推至18.29 km的高空并达4.5 Ma;在助推级燃料燃尽后,助推级与中间级和巡航级分离,中间级分离后,巡航级在无动力状态下滑翔数秒后,超然冲压发动机开始进入高超声速试验阶段,巡航级的发动机点火后工作300 s,使飞行器爬升到大约24 km的高度,且速度达到了惊人的7 Ma;发动机熄火后,飞行器在500 s的下降阶段内进行机动飞行,最后降落在太平洋。

当然,如此快的速度也给跟踪技术提出了更高的要求。要完成高精度跟踪的首要条件就是我们必须根据已知的飞行阶段,结合实例,潜心研究分析建立合乎实际的临近空间高超声速飞行器各个阶段的运动模型,这样才能为跟踪打下一个良好的基础。

## 3 临近空间高超声速飞行器跟踪技术

临近空间高超声速飞行器具有高速度、高机动的特点,跟踪非常困难。通过阅读大量的文献资料可以总结出,单一的从算法或者是跟踪传感器上进行改进创新是远远不够的,只有把两者结合起来,才能起到较好的效果<sup>[5]</sup>。

### 3.1 跟踪传感器的改进

飞行器在大气层内作高超声速飞行时,与大气强烈作用,在其周围会形成等离子体包覆流场,它能够使电磁波产生折射、反射及散射,同时吸收电磁波能量,因此选择正确的跟踪传感器及对现有设备进行优化显得分外重要。以下就雷达探测提出几点建议:

1) 选取合适的跟踪传感器。由于临近空间高超声速飞行器是在高达20~100 km的空域飞行,所以要求跟踪传感器的探测高度要达到要求。另外,飞行器进行高超声速飞行时,在飞行器的周围会形成等离子体,这些等离子体会对电

磁波产生折射、反射和吸收。等离子体的频率几乎覆盖了300 MHz~300 GHz范围内的所有微波频段,这就使飞行器具有了一定的隐身效果。因此,需要对现有跟踪传感器进行比对分析,从而选取适合完成临近空间高超声速飞行器跟踪的传感器。

2) 提出跟踪传感器可行的改进措施。由于高超声速飞行器具有“高”、“快”、“小”的特点,基本上相当于一个隐身的目标,因此对跟踪传感器的跟踪精度提出了更高的要求。为了提高跟踪传感器的精度,通过阅读相关资料,本文提出一些可行性的措施,主要的思路如下:① 将跟踪传感器探测频率向两端扩展。因为等离子体的频率几乎覆盖了300 MHz~300 GHz范围内的所有微波频段,只有将探测频率向两端延伸,发展超视距雷达和激光雷达,才能有效探测到临近空间高超声速飞行器<sup>[6]</sup>。② 增大波束方位扫描角。相控阵雷达由于其卓越的性能也将被运用在高超声速飞行器跟踪中,然而固定式的相控阵扫描天线的扫描范围不超过 $\pm 60^\circ$ ,因此不能满足全方位扫描需求,为了增大扫描范围,可以采取两个措施:第一,采用多面阵,这不是不可能的,因为美国及俄罗斯已经拥有了这样的相控阵雷达;第二,将平面阵天线装在机械转动台上,这样就会使雷达探测目标时具有更大的灵活性。③ 增大天线功率孔径积。增大功率孔径积的途径:一是增大发射机的平均功率。现役对空情报雷达的平均功率在数千瓦的量级。根据微波电真空器件的水平,雷达发射机的功率至少还可以提高一个数量级,国外对情报雷达的功率已达数十千瓦。二是增大天线有效孔径面积。从理论角度考虑,增大天线孔径,则波束变窄,进而增加搜索时间,降低搜索数据率。

3) 可采用雷达组网探测。由多频段、多体制的雷达组成的雷达探测网,采用数据融合技术进行网内信息融合处理,这样可以大大的增强信息利用率和对空探测能力<sup>[7]</sup>。另外,由于雷达网的频率覆盖范围非常广,可以削弱临近空间高超声速飞行器在飞行时产生的等离子体对电磁波的影响,且整体表现出良好的抗干扰性能,是多种探测手段的有机结合,必将在临近空间高超声速飞行器的跟踪中发挥重要作用。

### 3.2 跟踪算法的改进

现有的目标跟踪算法不胜枚举,但是由于我国乃至整个世界在这个领域都处于技术攻关的起步阶段,就算是有的国家已经掌握了成熟的临近空间高超声速飞行器跟踪算法也不会公开发布,因此,我们可以参考的文献以及符合这类飞行器的跟踪算法少之又少,这就给我们的研究带来了前所未有的困难和挑战。以下是跟踪技术算法研究的几点建议:

1) 建立合乎实际的临近空间高超声速飞行器的运动模型。根据已有的临近空间高超声速飞行器可知,其运动轨道大致可分为5个阶段:助推段、爬升段、平飞加速段、等速巡航段和俯冲攻击段,而运行轨道的各个阶段具有不同的目标特性,所以首先应对各个阶段的目标特性进行研究和分析,从而选择符合实际的恰当的可以准确反映临近空间高超声速飞行器运动特性的运动模型来对其整个飞行段进行建模,

这是能够准确跟踪此类飞行器的一个重要方面。

2) 提出符合临近空间高超声速飞行器飞行特点的新的跟踪算法。虽然目标跟踪的算法不胜枚举,但是基于临近空间高超声速飞行器“高速度”、“高机动”的目标跟踪算法并不多,尤其我国乃至整个世界在临近空间高超声速飞行器的跟踪方面基本处于的空白阶段,就算美国等发达军事强国已经掌握了成熟的高超声速飞行器跟踪算法,由于其密级之高,也不可能被我们查阅及参考,所以,目前学术界还没有任何参考文献是以临近空间高超声速飞行器为背景来探讨及研究跟踪技术的,这就给临近空间高超声速的目标跟踪研究带来了巨大的挑战。因此,要提出专门针对临近空间高超声速飞行器的目标跟踪算法就需要阅读大量的国内外经典目标跟踪技术文献,以此来寻求理论依据,分析各种目标跟踪算法的优缺点,加之对临近空间高超声速飞行器飞行特性进行相关研究,根据其特点完成算法之间的融合,并通过反复验证,以此提出符合临近空间高超声速飞行器飞行特点的新的跟踪算法。

3) 对已有跟踪算法进行改进。现有的用于高速、高机动目标的跟踪算法性能都有待进一步的提高,目前学术界普遍认为,对于机动目标的跟踪,最好选取的算法是交互式多模型算法(IMM 算法)<sup>[8]</sup>,因为它是采用不同的运动模型来匹配目标各个时期不同的运动状态,适应了目标高机动的特点,而当前对机动目标跟踪的算法研究也主要集中于此,因此,IMM 算法的研究和改进是重点也是难点。初步设想的做法是:

首先,通过重新拟合 IMM 算法中的马尔可夫概率矩阵而使模型间的相互转换概率更趋于实际,以适合临近空间高超声速飞行器高机动的飞行特点<sup>[9]</sup>。

其次,在 IMM 算法中对权重进行改进,通过重新计算输入输出两步交互中的权系数,使得跟踪的准确性得到提高。

第三,在运动模型中增大目标状态的维数<sup>[10]</sup>,因为临近空间高超声速飞行器具有高机动性能且机动复杂,在这种情况下加速度不可能是绝对精确的常数,会有轻微的变化,因此通过增大目标状态维数的方法可以提高跟踪的精度,减少跟踪误差。

最后,改变每一个运动模型的可调白噪声,用此种方法的目的是通过观察目标新息的变化来探测机动的产生与结束,来调整滤波器的增益。

4) 合理编程,减少系统跟踪时间。不论何种跟踪算法都要进行迭代运算,耗时在所难免,为了缩短跟踪时间,提高跟踪效率,合理的编程也是必不可少的,因此,去除程序中冗

余指令也是十分必要的,这里主要是将原本串行的运算并行处理,将程序反复进行调试和修改,在保证跟踪精度的前提下,努力提高跟踪效率。

## 4 结束语

本文不仅从跟踪算法单方面进行研究分析,而且提出了对跟踪传感器的改进方案。该方案从两方面着手,不是停留在仿真的平台,而是站在了理论创新结合现实应用的高度,并且通过分析临近空间高超声速飞行器的运动特性,使建立的运动模型更加合乎实际,这样才更具可行性和应用价值。

## 参考文献:

- [1] 王艳奎. 临近空间飞行器应用前景及发展分析[J]. 国防科技, 2009, 30(2): 20-24.
- [2] 李怡勇, 李智. 临近空间飞行器发展与应用分析[J]. 装备指挥技术学院学报, 2008, 19(2): 61-65.
- [3] 段锋. 临近空间飞行器现状与发展[J]. 航空科学技术, 2007(6): 22-25.
- [4] Anthony Colozza Initial feasibility Assessment of a High Altitude Long Endurance Airship [R], NASA CR-2003-212724. 2003, 12.
- [5] 何友, 修建娟, 张晶炜, 等. 雷达数据处理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [6] 何友, 王国宏, 关欣. 信息融合理论及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [7] 何友, 王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [8] 许江湖, 陈康, 嵇成新. 目标跟踪中的多模型估计算法综述[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2002(5): 26-30.
- [9] 梁彦, 贾宇岗, 潘泉, 等. 具有参数自适应的交互多模型算法[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(5): 653-656.
- [10] Johnston L A, Krishnamurthy V. An improvement to the interacting multiple model (IMM) algorithm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2001, 49(12): 2909-2923.

(责任编辑 刘 舸)