

综合视景在直升机头盔显示系统上的应用

文 ◆ 中国直升机设计研究所 冯笑宇

引言

随着航空领域技术的迅速发展，直升机作为一种多用途和高机动性的空中装备，在现代战场航空领域中扮演着越来越重要的角色。直升机具有垂直起降和悬停能力，能够在复杂地形和恶劣天气条件下执行各种任务，包括侦察、攻击、救援、运输等。然而，直升机飞行员在复杂的飞行环境中做出快速而准确的决策时面临着诸多挑战^[1]。因此，提高飞行员的态势感知能力，成为提升直升机执行任务能力的关键。直升机的飞行安全和任务执行效率依赖于先进的航电系统，其中头盔显示系统（Helmet-Mounted Display, HMD）是实现飞行员快速获取作战信息和环境数据的关键设备。综合视景技术（Synthetic Vision System, SVS）为飞行员提供了不受气象和光学限制的视觉环境，能够显著提高飞行员的态势感知和操作决策能力。

1 概论

直升机低空飞行过程中飞行员对外部视觉环境依赖较大，当出现不良目视环境时，面临巨大的安全隐患。旋翼飞机自身引起的不良目视

环境包括 Brownout（灰视）和 Whiteout（白视），旋翼飞机在沙尘、雪地上起飞、悬停或着陆时，由于旋翼旋转激起风沙和雪而导致的不良目视环境。气象上的不良目视环境包括烟雾、风沙、夜晚等（见图1）^[2]。直升机在不良目视环境下飞行是一项极具挑战的任务。

现有的头盔显示系统是一种基于光学投影技术的可穿戴设备^[3]。然而，现有的头盔显示系统只能显示部分必要的飞行数据和导航信息，无法提供全面的地形数据。导致飞行员不能全面了解周围环境，难以对直升机飞行路径上的威胁障碍进行有效识别和规避，任务执行率较低^[4]。

为了解决上述问题，综合视景技术与头盔显示系统相结合变得尤为重要。该技术通过将多源信息融合，能够实时在飞行员视野中呈现出三维地理信息，提供全面和精准的飞行指导与辅助，因此综合视景技术的发展为创建下一代头盔显示系统提供了新的方向^[5]。

2 发展现状

2.1 综合视景技术发展

综合视景技术起源于上世

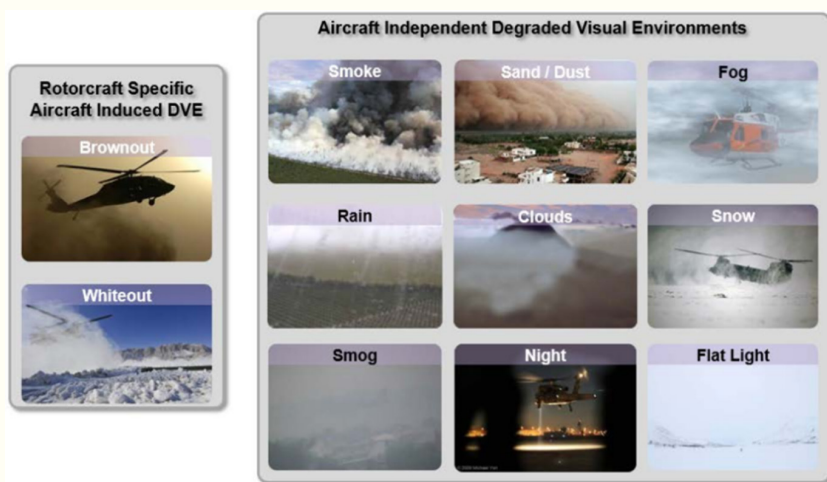


图1 不良目视环境分类

【作者简介】冯笑宇（1992—），男，江西乐平人，硕士研究生，工程师，研究方向：航电系统、导航等。

纪，经过数十年的发展，目前美国、欧洲、以色列等国家和地区在这项技术上都有显著的进展。美国在 2005 年开展了对综合视景相关技术的研究和试验，并陆续开展了相关项目和产品研制，并在阿帕奇武装直升机等平台上应用验证^[6]。德国研制的 Sferion 综合视景系统和以色列研制的 BrightNite 综合视景系统^[7]，均与头盔显示系统互联，有效提升了直升机不良目视下的环境感知和威胁规避提示能力^[8]。

此外，国外机载数字地图的发展在数据理解析和流程管理、地图数据保障体系和设备通用化等方面开展了大量研究和应用，拥有完善的地图数据源处理、解析、流程管理能力，完善的地图数据保障体系^[9]。

2.2 头盔显示系统的发展

综合头盔显示系统产品起源于近距离格斗的头盔瞄准具^[10]，其中头盔瞄准具典型产品有“苏-27”头盔瞄准具，仅显示“十字+光环”组合的瞄准符号^[11,12]，第二代增加了可显示飞行、攻击符号的小视场单目头盔显示器^[13]。以“阿帕奇 AH-64”装备的综合头盔显示瞄准系统（IHADSS）（见图 2）为代表，能够显示飞行、瞄准字符信息和增强视景图



图 2 综合头盔显示瞄准系统（IHADSS）

像，单目显示视场 $40^\circ \times 30^\circ$ ，显示分辨率不小于 1024×768 像素。

第三代可叠加机载传感器图像提供给飞行员态势感知信息的双目头盔显示器^[14,15]，典型产品有为科曼奇直升机研制的综合头盔显示瞄准系统（HIDSS），可显示飞行、瞄准字符信息和增强视景图像。双目显示视场 $52^\circ \times 30^\circ$ ，显示分辨率不小于 1280×1024 像素^[16]。第四代为基于综合视景的超大视场的双目头盔显示器，以 Elbit 公司针对阿帕奇研发的新一代 JedEye 头盔显示系统为代表^[17]（见图 3），双目视场 $80^\circ \times 40^\circ$ ，显示分辨率为 2250×1200 像素，该系统能够根据综合视景系统处理后的数据生成三维虚拟符号，显示叠加机载光电传感器图像的增强视景，显示叠加地理信息的合成视景，显示综合视景，具备支撑路径导航、地形与障碍感知、引导着陆等能力^[18,19]。

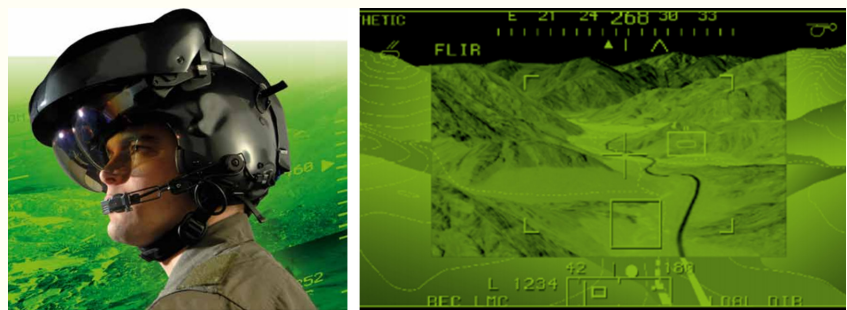


图 3 JedEye 头盔显示器

从直升机头盔显示器的装备状态和技术特点来看，直升机头盔显示器主要向双目超大视场、高分辨率的轻型头盔方向发展，应用方面从简单的瞄准符号显示向增强视景显示、合成视景显示、综合视景显示发展^[20]。

3 综合视景在头盔显示系统中应用

头盔显示器由头盔显示组件、传感器组件和电子箱组件组成。综合视景模块以软件或者板卡形式集成在电子箱组件内，使新一代的头盔显示系统能够实时呈现三维地理信息。

3.1 工作原理

综合视景处理模块通过总线与机载设备交互，获取载机信息，并对地理信息进行处理，然后叠加机载低空障碍探测规避信息，融合光电图像，生成综合视景画面，输出到头盔显示组件中显示，以直观的方式为飞行员提供外部环境和威胁信息，实现三维可视化导航。

3.2 综合视景模块设计

3.2.1 硬件组成

综合视景处理模块硬件一般由图形处理单元、数据处理单元、视频处理单元、接口单元、电源模块等模块组成。采用分层架构设计，包括数据服务层、业务服务层、应用服务层。其中，应用服务层包括地理信息处理、综合视景生成等功能。业务服务层包括视频管理服务、显示渲染服务、导航数据服务，为上层应用服务提供业务处理支撑。数据服务层包括地理信息数据存储、数据解析、数据管理，为上层软件提供数据支撑服务。综合视景模块核心为应用服务层的地理信息处理和综合视景生成功能。

3.2.2 地理信息处理

地理信息处理模块主要完成地理信息存储和服务以及基础地理信息的增量更新功能。通过综合视景处理系统提供的大容量数据存储卡，实现机载格式的二维矢量数据、影像数据和高程数据以及实景重建数据存储。通过导航信息和显示控制指令为综合视景生成模块提供地理信息数据服务。将地面信息站处理后的待更新三维高程数据（DEM）、矢量地图（DLG）等基础地理信息数据加载至大容量存储卡，对存储卡内待更新区域基础地理信息的图幅号，查找需要更新区域的图幅号，将相对应图符的基础地理信息数据进行更新替换，实现基础地理信息的增量更新。

3.2.3 综合视景生成

综合视景生成包括外部交联系统信息处理、综合视景处理和可视化引导画面生成3部分。综合视景生成模块接收导航系统、低空障碍探测规避系统、通信系统、机载光电等信息，解析处理后分发给相关的服务组件。接收导航系统产生的位置、高度、姿态、速度等飞行信息，并进行海拔高度、气压高度、无线电高度的融合处理以及升降速度的滤波处理。接收机载传感器探测地形和障碍物信息，并与三维数字地图的地形和障碍物信息进行关联和确认，将融合后的障碍物信息发送给相关的应用软件。接收头盔系统的姿态信息，并将综合视景视频及状态信息发送至头盔系统显示。

综合视景生成模块以二维矢量地图数据、影像数据、三维地形数据、地名数据及导航数据等为基础数据源，实现二维/三维数字地图生成。并通过与机载传感器数据交互获取导航信息、低空障碍物探测信息、光电图像目标信息等，实现三维数字地图与低空障碍探测规避系统数据和光电图像数据的匹配融合。

根据显示控制命令、导航信息和多源传感器数据匹配融合信息，生成辅助导航或者着陆引导画面，送头盔显示器上进行显示。依据航路规划、地理信息、导航定位、障碍物探测等数据，生成飞行管道及飞行指

引符号，并结合实时航向、姿态、速度、高度等符号，生成辅助导航画面信息。依据着陆点、地理信息、导航定位、障碍物探测等数据，构建虚拟着陆场，并结合实时航向、姿态、速度、高度等符号，生成虚拟着陆场信息。依据不同任务及视景模式对显示画面进行调度，生成逻辑控制指令，实现画面切换。

4 综合视景在头盔上显示画面

通过试验室模拟仿真，得到直升机起飞前、巡航飞行阶段、低空任务飞行阶段和着陆阶段的综合视景画面。

4.1 起飞前画面

飞行员通过综合视景处理系统的航路预览功能在数字地图画面上查看飞行区域和路径。在目视条件良好的情况下，飞行员选择目视飞行进行直升机的起飞操作。在不良目视条件的起飞过程中，飞行员根据综合视景处理系统提供包括虚拟着陆场、关键飞行参数和三维地形网格的综合视景画面完成直升机的安全和高效

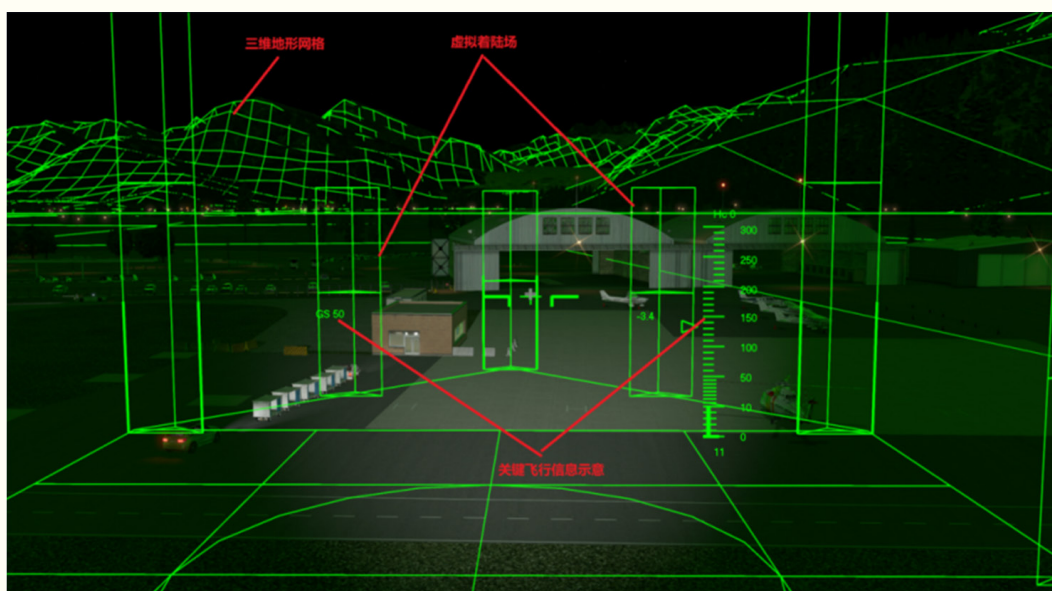


图4 起飞阶段头盔画面

起飞，起飞阶段头盔画面如图 4 所示。

4.2 巡航飞行阶段画面

综合视景系统在头盔显示器上显示关键飞行参数、飞行导引符号、飞行管道等信息，提高飞行引导可视化能力，巡航飞行阶段头盔画面如图 5 所示。

4.3 低空任务飞行阶段画面

在良好的目视条件下，头盔显示系统提供透视模式，在头盔显示器上叠加关键飞行参数、障碍物信息，提供必要的飞行信

息。同时，提供地形和障碍物威胁告警和规避提示，提高低空可视化导航的能力，保障飞行安全。在不良目视情况下，头盔显示系统提供基于光电图像、地理信息、雷达探测信息综合生成综合视景画面，叠加飞行管道、飞行指引、威胁告警、关键飞行参数等信息，在头盔显示器进行显示。头盔显示低空飞行引导示意图如图 6 所示。

4.4 着陆阶段画面

头盔显示系统根据载机的导航信息、三维数字地图、光电图像等信息以及地面规划的着陆场，实现包括三维着陆场信息的综合视景画面，叠加关键飞行参数，在头盔显示器进行视景显示。辅助飞行员完成不良目视条件下安全着陆，着陆阶段示意图如图 7 所示。

结语

综合视景技术的发展为直升机头盔显示系统的应用带来了新的机遇

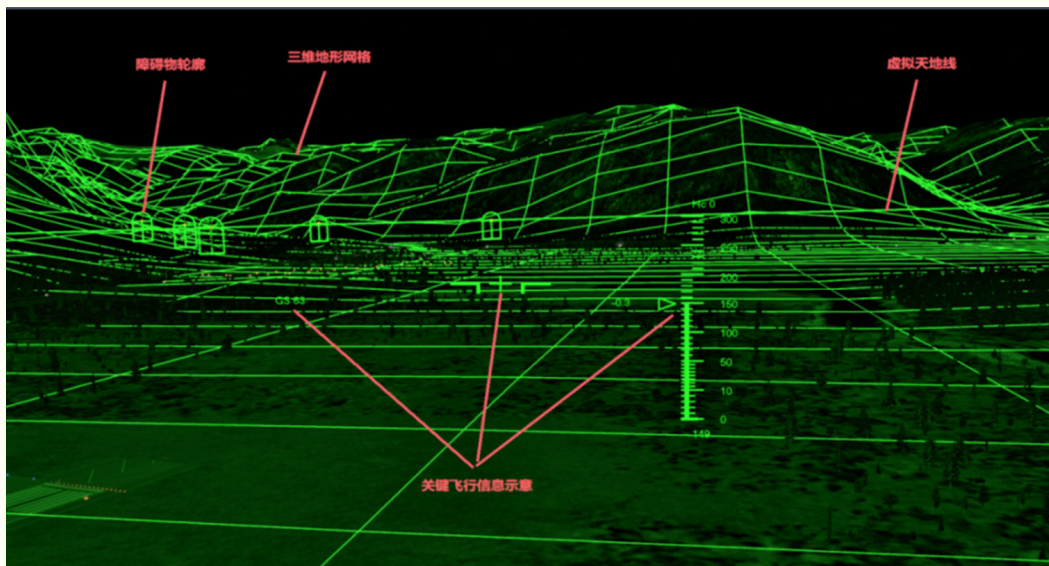


图 5 巡航飞行阶段头盔画面

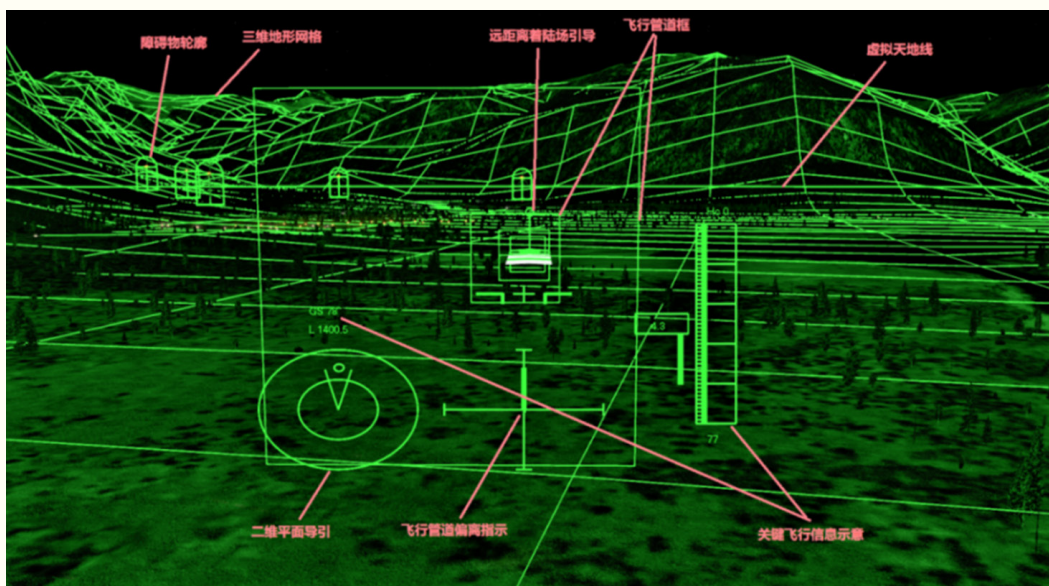


图 6 头盔显示低空飞行引导示意图

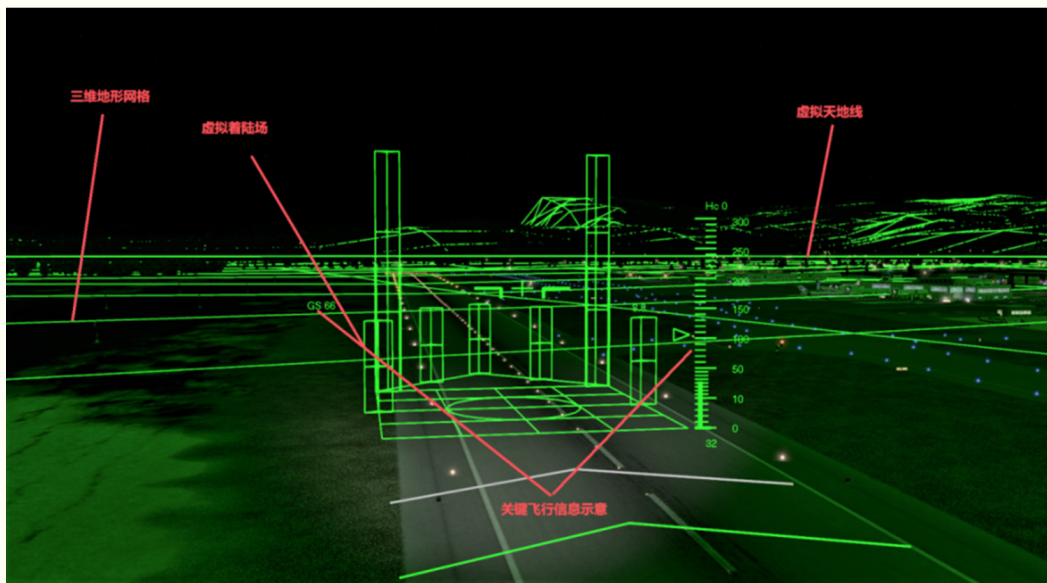


图7 着陆阶段示意图

和挑战。随着技术的进一步完善和应用场景扩大,综合视景技术有望在航空领域发挥更加重要的作用,未来综合视景技术将不断完善和创新,为飞行员提供更精准、更全面的环境感知支持,进一步提升飞行安全性和任务执行效率。^[8]

引用

- [1] 闫占军.机载光波导平视显示技术研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院重庆绿色智能技术研究院),2020.
- [2] 李聪聪.三维复杂环境协同感知与可视化[D].西安:西安电子科技大学,2020.
- [3] 姜博文.无人直升机飞行控制实时仿真技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2020.
- [4] 张超.退化视觉环境三维复杂场景感知及其可视化技术[D].西安:西安电子科技大学,2019.
- [5] 刘泽群.无人直升机飞行控制及视景仿真实现[D].南昌:南昌航空大学,2019.
- [6] 李进.某型直升机飞行训练模拟器总体方案研究[D].南京:南京航空航天大学,2019.
- [7] 冯聪.无人机集群编队交互式仿真平台的设计与实现[D].天津:天津大学,2018.
- [8] 范浩硕.动态三维场景异源传感器融合感知[D].西安:西安电子科技大学,2018.
- [9] 陈伟斌.增强半虚拟现实飞行座舱中的目标跟踪定位技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2018.
- [10] 叶亚洲.动态三维复杂场景感知及其增强合成视景技术[D].西安:西安电子科技大学,2018.
- [11] 朱卓,李季波,马承启.机载红外夜视技术及其发展趋势[J].真空电子技术,2023(6):90-95.
- [12] 诸葛卉.头盔显示瞄准系统现状与展望[J].军事文摘,2022(13):40-45.
- [13] 徐胜,汪洋,白乐荣.基于仿真的直升机训练效能综述[J].直升机技术,2020(3):58-62.
- [14] 王旭峰.基于智能化需求的机载座舱显示控制标准研究[J].航空标准化与质量,2020(2):3-7+39.
- [15] 黄文莉.国外军用飞行模拟器的产业进展[J].集成电路应用,2020,37(3):28-30.
- [16] 程岳,李亚晖,韩伟,等.机载飞行视景系统技术研究[J].航空计算技术,2020,50(1):130-134.
- [17] 淦元柳,吴一超,李富栋.国外武装直升机机载光电技术现状及发展趋势[J].舰船电子工程,2014,34(3):12-15+29.
- [18] 《军事飞行训练国际交流会议·2012》综述[J].教练机,2012(4):3-36.
- [19] 自动化技术、计算机技术[J].中国无线电电子学文摘,2010,26(5):165-245.
- [20] 刘红漫,郭涛.具有夜视功能的头盔显示器[J].红外与激光工程,2007(S2):583-588.