

文章编号 1004-924X(2015)增-0799-08

## 用于无人机地面站的三维场景增强感知方法

张佳明\*, 刘贵喜, 姚李阳, 方兰兰, 李 斯  
(西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**面向无人直升机的低空飞行、着陆和悬停,提出了一种用于无人机地面站的三维场景增强感知方法。针对复杂的低空环境,为三维场景的地形数据构建了多层次调用准则,以此增加三维场景的局部细节。然后,为障碍物数据库中的障碍物设计了三维保形符号,实现了对障碍物的增强感知;引入动态感知思想,设计了垂直剖面显示、路径指示以及能够实时提示飞行安全的保护符。最后,提出增强合成视景,实现了三维场景增强感知系统。选择低空进场和近地侦查两种应用进行了实验。结果表明,利用本文方法为地面站的三维场景显示提供增强感知,三维场景显示画面的帧率至少可达32 Hz。本文方法能够有效地简化三维场景的数据,降低场景信息的理解难度,提高障碍物的识别速度,有效地提升无人机操控人员的态势感知。

**关键词:**态势感知;无人机地面站;三维场景;增强感知;三维保形符号

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152313.0799

## Enhanced sensing method for 3D scene in UAV ground station

ZHANG Jia-ming\*, LIU Gui-xi, Yao Li-yang, Fang Lan-lan, LI Si

(School of Mechano-electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

\* Corresponding author, E-mail: jmz\_xd@163.com

**Abstract:** For low-flying, landing and hovering of a Unmanned Aerial Vehicle(UAV), a method of 3D scene enhanced sensing method for an UAV ground station was proposed. In consideration of a complex low flying environment, a multi-level calling guideline was established for the terrain data of the 3D scene, and then the local details of the 3D scene were increased. Then, a 3D conformal symbol of the obstacle from the database was designed, the enhanced sensing of the obstacle was achieved. A dynamic perception idea was introduced, and the vertical profile display, route presentation as well as the protection symbol were designed for flight safety in real time. Finally, enhanced synthetic vision was proposed, and the 3D scene enhanced sensing system was implemented. The low-altitude approach and near ground investigation were selected as experiments. Results show that the proposed method can provide the enhanced sensing for 3D scene display of the UAV ground station and the frame of scene display is at least 32 Hz. This method simplifies the data from the 3D scene, reduces the difficulty of understanding the scene information, improves recognition speed, and effectively promotes situational awareness of the UAV control personnel.

**Key words:** situational awareness; Unmanned Aerial Vehicle(UAV) ground station; three-dimensional scene; enhanced sensing; three-dimensional conformal symbol

收稿日期:2015-06-02;修订日期:2015-06-30.

基金项目:国防预研基金资助项目(No. Y420150401XX);国家部委十二五科技计划资助项目(No. Y31011040315);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. NSIY191414)

## 1 引言

无人直升机以其灵活、机动的特点,越来越多地在各类应用中发挥重要作用。美国较为著名的“火力侦察兵”已经在 2014 年 8 月成功进行了舰载实验,即将列装并投入使用。无人直升机的飞行高度较低,而低空环境较为复杂,尤其在低能见度情况下,如何保障无人机的安全飞行和任务执行成为了一项巨大挑战<sup>[1]</sup>。

现有无人机的自主化级别普遍较低,因此对于无人机的操控还主要依赖于无人机地面站。而当前的地面站一般用于操控中、高空飞行的无人机,且只能为操控人员显示简单的飞行信息和二维地图等信息<sup>[2]</sup>,由于这些技术手段不能为操控人员提供丰富的场景信息和态势感知能力,故其无法为无人直升机的低空飞行提供有力的支持。因此,如何提供丰富的三维场景信息并增强操控人员对场景的感知能力成为解决这一难题的关键。

地面站的三维场景显示可以由硬件平台对地形数据进行处理、渲染得到,良好的地形数据结构是三维场景显示效果的基础。Wiesemann 等人<sup>[3]</sup>采用小波变换方法对地形数据进行了分解和重建,实现了地形数据的多分辨率显示。多分辨率思想使三维场景在显示效果上有多个不同的级别可供选择<sup>[4]</sup>,然而,一旦确定了细节层次,地形数据的分辨率就会被固定<sup>[5-6]</sup>,即所有区域都会显示相同的细节层次,这种情况显然不适用于灵活多变的无人机三维场景的显示应用。

在场景内容显示方面,德国宇航中心(DLR)在 2008 年启动了“辅助低空飞行”(ALL-Flight)项目<sup>[7]</sup>,其中重点研究了保形符号在低空飞行中的应用。保形符号是真实物体的简化模型,它与实际的障碍物具有相似的外形和特征,且所需的绘制数据较少,而且通过简单的骨架和色彩能够逼真地模拟真实物体,因此能够用其来替代三维场景中的障碍物,达到简化数据、增强感知的效果。但德国宇航中心的方法是专门针对载人直升机的,它是通过在传感器图像上叠加保形符号,因而与地面站的应用方式不尽相同。

本文结合地形数据的多层次调用准则、三维保形符号、动态感知、增强合成视景等设计理念,

提出了一种用于无人机地面站的三维场景增强感知方法。本方法不局限于无人直升机,通过调整地形的调用准则,可以灵活用于其他无人机平台。

## 2 三维场景增强感知系统

本文所描述的三维场景增强感知方法用于无人机地面站的场景显示和处理,图 1 给出了三维场景增强感知系统的结构框图,主要包括以下部分:

(1)地形数据库。无人机地面站的三维场景显示主要依赖于地形数据库,而地形数据库的构建一般利用数字地形高程数据(Digital Terrain Elevation Data,DTED)产生数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)。由于 DEM 能够以数字化的形式表示地表每个位置的海拔高度,因此,利用 DEM 数据可以为三维场景的显示与增强感知提供可靠的数据来源。

(2)障碍数据库。无人机地面站中的障碍数据库主要用于存储地表障碍物信息,这些障碍包括风车、输电杆塔、电线、林地、房屋等特征明显的地面目标<sup>[8]</sup>,其数据通常源于预先测算或机载传感器实测,包括了障碍物的空间位置和大小等属性。

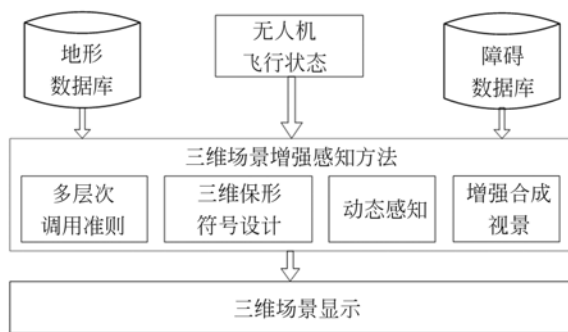


图 1 三维场景增强感知系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of 3D scene enhanced sensing system

(3)无人机飞行状态。无人机的飞行状态一般通过通信卫星传输到地面站,飞行状态主要包括飞行状态信息与传感器图像信息,操控人员借助这两类信息,实时对无人机所处的态势进行评估,进而完成对无人机的操控。

(4)三维场景增强感知方法。基于上述 3 种

数据源,增强感知方法得以应用。根据无人机地面站的任务需求,多层次调用准则利用多尺度构建和感兴趣区域选择,增强三维场景的局部显示效果;三维保形符号设计是根据障碍物的种类,设计对应的三维虚拟符号,其外形和尺寸与实际障碍物相似;动态感知是根据无人机的飞行状态,多角度呈现无人机与地形间的关系,同时突出显示操控人员在飞行过程中最为关心的内容;增强合成视景则通过机载红外传感器实时获取飞机前方的红外图像,将红外图像和数据库图像进行融合,从而解决低能见度情况下可视情况不佳的问题,并突出场景中的目标,实现增强感知。

(5)三维场景显示。经过增强感知方法处理得到三维场景数据,然后利用 OpenGL 底层图形处理接口,在无人机地面站图形硬件平台上渲染出三维地形场景,并输出到显示设备,从而实现三维场景的显示。

### 3 三维场景增强感知方法

#### 3.1 多层次调用准则

地形数据是三维场景显示的基础。地形数据的细节层次决定了其显示质量,使用过高细节层次的地形数据会使硬件平台的渲染性能急剧下降,具体反应在实时性和显示效率上,而无人机地面站恰恰对这两方面的要求都很高。显然,在损失速度和效率的情况下,单纯地追求显示效果是不切实际的。因此,本文提出地形数据的多层次调用准则。它提供了一种选择性渲染方案,重点关注无人机任务区域,以此达到提升局部区域显示分辨率的目的。

首先,要对原始地形数据进行分解。Stollnitz 等人给出了小波分解在计算机图形学方面的综述<sup>[9]</sup>,其优异的实用性能为地形数据分解提供帮助。本文针对无人机地面站地形数据优化这一应用,借助小波分解思想进行地形分解。

设原始地形数据由均匀排列、大小相同的格点组成,其维度为  $m \times n$ ,格点间距为  $r$ ,每个格点包含一个地形数据元素,其二维中心坐标为  $(x, y)$ ,其海拔高度为  $S(x, y)$ ,因而原始地形数据就可以由数据集  $h = S(x, y)$  表示。

如图 2 所示,地形数据的分解按照先行后列的顺序,经过多次重复的递归操作。每经历一次

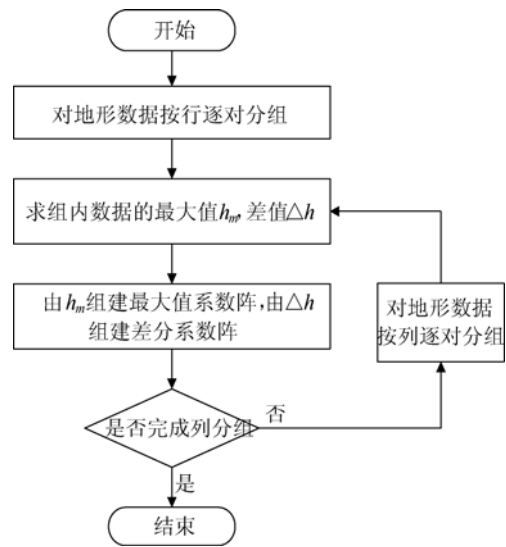


图 2 地形数据分解流程图

Fig. 2 Flow chart of terrain data decomposing

递归分解,就得到一组新的地形数据,用  $h = S_e(x, y)$  表示,其中  $e$  表示细节层次。

图中所述的最大值系数和差分系数为地形数据的分解结果,分别记为  $a_i^j$  和  $b_i^j$ ,它们满足式(1)和(2):

$$a_i^j = \max(a_{2i}^{j+1}, a_{2i+1}^{j+1}), \quad (1)$$

$$b_i^j = a_{2i}^{j+1} - a_{2i+1}^{j+1}, \quad (2)$$

其中:  $j = \text{lb}n$ ,  $i = 0, \dots, 2^{j-1}$ ,  $i$  为索引序号,  $j$  为递归次数。根据最大值系数和差分系数就可以获得指定细节层次的地形数据<sup>[9]</sup>。

然后,确定多层次调用准则,其思想主要包括两个方面:多尺度构建和感兴趣区域选择。

多尺度构建是对海拔高度变化较多的区域使用细节层次较高的地形数据,而对地形平坦的区域使用细节层次较低的地形数据。对于第  $e$  层地形数据,其数据格点的中心坐标为  $(x, y)$ ,海拔高度值为  $S_e(x, y)$ ,有局部高度差函数  $\varphi_e(x, y)$  满足式(3):

$$\varphi_e(x, y) = \max_{u \in P_e, v \in Q_e} |S_{e-1}(u, v)| - \min_{u \in P_e, v \in Q_e} |S_{e-1}(u, v)|, \quad (3)$$

其中:

$$P_e = \{x \pm r_e/4\}, Q_e = \{y \pm r_e/4\}, \quad (4)$$

根据显示需求,给定一个高度差阈值  $\gamma$ ,从原始地形数据开始依次计算  $\varphi_e(x, y)$ ,判断两者的大小关系,确定是否继续比较。最后,取所有符合

阈值要求的地形数据作为新的数据集合,记为  $T(x, y)$ 。这样就完成了地形数据的多尺度构建。

感兴趣区域选择则重点关注无人机飞行前方和航路方向上的地形信息,实时性较强。无人机的运动状态可以通过机载传感器实时获取,这里将无人机的飞行状态用矢量表示,记作  $\mathbf{X}(t)$ ,满足下式:

$$\mathbf{X}(t) = [x(t), y(t), z(t)]^T, \quad (5)$$

其中:  $x(t), y(t), z(t)$  表示飞机当前时刻相对于世界坐标系的坐标点。取  $t_0$  时刻的无人机位置,记为  $(x_0, y_0, z_0)$ ,有式(6):

$$W = \{(x', y', z') \mid (x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 + (z' - z_0)^2 \leq R^2\}, \quad (6)$$

其中  $R$  为动态半径,  $W$  为感兴趣区域。

由此得到飞行过程中的感兴趣区域,对于该区域内包含的地形数据,采用最高分辨率级别的地形数据进行描述。通过选择高度差阈值  $\gamma$  和动态半径  $R$ ,操控人员可以灵活制定多层次调用准则。多层次调用准则的使用可以有效提升三维场景的显示质量,优化显示效果,进而发挥增强感知的作用。

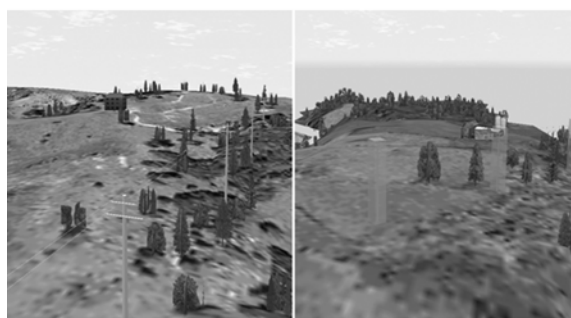
### 3.2 三维保形符号设计

三维保形符号用于障碍物识别,其应用旨在增强操控人员对飞机前方环境的感知能力,因此三维符号的设计偏向于形象、简单、容易理解,对逼真度要求不高<sup>[10]</sup>。

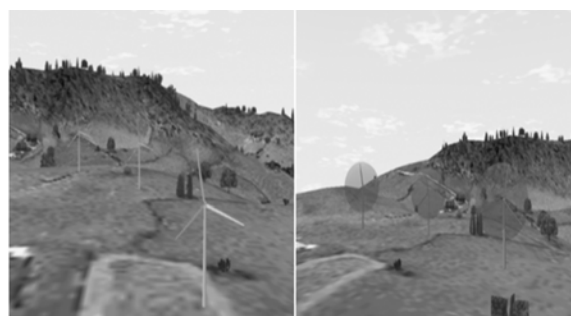
三维保形符号的设计对象则重点关注那些妨碍无人机低空飞行的障碍物,包括输电电杆、电线、风车等。

首先,对障碍数据库中的主要障碍物进行分类,参考每一种障碍物的几何特征,为该物体绘制三维几何模型。它能够反应物体的骨架特征。然后对该模型进行着色,使之更加形象、趋于真实,进而实现保形效果。实际应用中,根据障碍物数据库中障碍物的位置和大小,调用保形符号进行显示,OpenGL 语言为这一过程的实现提供了便利。

图 3 显示出了关于电杆和风车的保形符号设计实例。其中,图 3(a)的左图展示了使用单色模式绘制的三维保形符号。由于一般无法准确获取电线的相对位置和连接情况,这里指示性地标识了电线相对于电杆的位置;而右图则利用了安全



(a)电杆的单色和安全框模式  
(a) Monochrome and security framework mode for pole



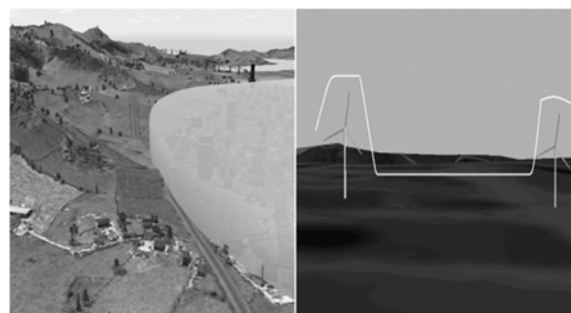
(b)风车的单色和保护框模式  
(b) Monochrome and protective frame mode for windmill

图 3 电杆和风车的保形符号设计

Fig. 3 Design of conformal symbols for pole and windmill

框思想,将电杆与外界分割,指示出电杆的涉及范围。

图 3(b)给出了两种关于风车的保形符号,风车的扇叶比较危险,因此利用一个球形符号作为保护框,提示风车的转动范围。



(a)威胁区域指示  
(a) Indication of threat region

(b)安全线提示  
(b) Cue of secure line

图 4 威胁区域和安全线

Fig. 4 Threat region and secure line

无人机执行任务阶段,需要躲避敌方雷达的探测。通常可将雷达的作用范围近似看作一个半

球形区域,图 4(a)给出了威胁区域的三维保形设计,它为飞行员提供了禁飞区指示。图 4(b)则给出了安全线概念,它将三维场景进行分割,指示了地形与障碍物的边界,进而指示了安全的空域。

此外,三维保形符号还可以用来构建地标。图 5 给出了无人直升机的三维着陆地标,包含了定位和高度符号,它能够无人机的着陆提供参考,辅助操控人员进行安全的着陆。

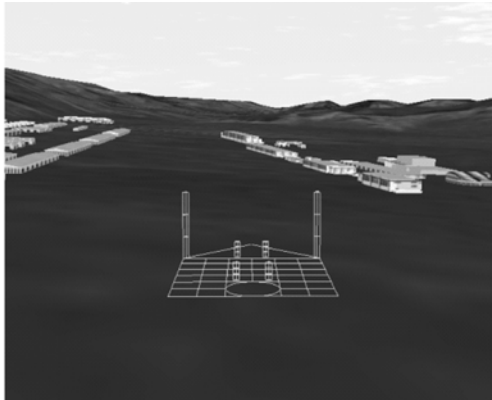


图 5 无人直升机三维着陆地标

Fig. 5 3D landing landmark of unmanned helicopter

三维保形符号还可以用于简化场景信息、突出场景目标并提供特殊标识,诸如山体轮廓线、文字注释等<sup>[11]</sup>。图 6(彩图见期刊电子版)给出了城市区域的三维场景显示效果,其中右图利用三维保形符号结合数字标识的方式为操控人员提供综合感知,其中过高的建筑用红色进行表示,起警示作用。

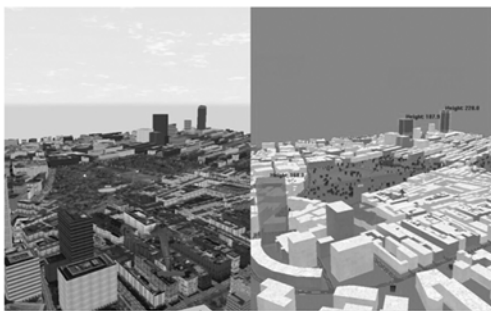


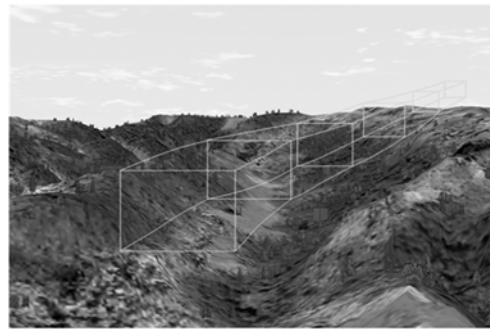
图 6 城市区域三维场景显示对比图

Fig. 6 Comparison charts of 3D scene display for city area

### 3.3 动态感知

对无人机的操控是一项实时性要求很高的工作,无人机地面站的三维场景一般变化较快,常常需要操控人员快速准确地做出判断和决策。据

此,本文提出动态感知思想,它利用无人机地面站接收到的无人机飞行状态信息和回传图像信息,实时为操控人员提供关键信息的展示和决策支持。其中,路径指示是一项重要手段。它根据无人机的路径规划信息,预先获取一系列无人机的路径点,再实时绘制空中路径,无人机操控人员只要按照路径提示进行操作,即可保证飞行安全。图 7(a)为路径指示示意图。



(a)路径指示

(a)Route presentation



(b)防撞符号

(b)Collision avoidance symbols

图 7 路径指示和防撞符号

Fig. 7 Route presentation and collision avoidance symbols

图 7(b)则给出了防撞符号的设计方案,图中无人直升机处在防撞符号的中心。地面站的三维场景采用全局视角进行显示,并为无人机添加一个“保护罩”,它是一个透明的球形符号,能够实时执行碰撞检测。当“保护罩”触碰到地面或障碍物时,其显示状态立刻变为红色,同时触发警告设备,提醒操控人员立刻进行规避。防撞符号能够增强操控人员对异常状态的识别能力,从而达到增强感知的效果。

无人机的飞行高度也可以作为增强感知的重

要信息来源。由式(5)可知无人机的实时空间位置为  $\mathbf{X}(t)$ 。其中,无人机的海拔高度为  $z(t)$ 。而所取的地形数据为:

$$l = T(x, y). \quad (7)$$

将  $x(t), y(t)$  带入上式,则由式(5)和式(7)可得地形高度为  $l(t)$ 。然后,根据无人机的海拔高度  $z(t)$  和地形高度  $l(t)$ ,可以实时绘制垂直剖面显示<sup>[12]</sup>。它能够展示无人机在垂直方向与地形间的关系,如图 8 所示。其中“FA”表示无人机的飞行海拔高度,“TA”表示无人机所处位置下方的地形海拔高度。通过可视化符号和数字量同步的为操控人员提供对地形的感知。

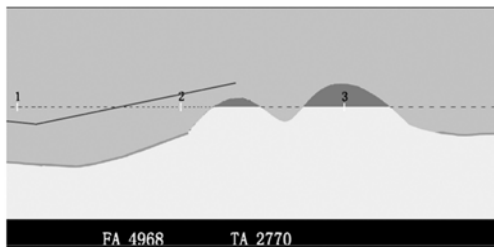


图 8 垂直剖面显示

Fig. 8 Vertical profile display

### 3.4 增强合成视景

地形数据库为地面站三维场景的显示提供有力支持,然而,对于地形数据不完备的任务区域,显示效果会极大的受损<sup>[13]</sup>。为此,可以利用机载传感器为无人机地面站提供真实的图像信息,特别是在低能见度情况下,利用红外雷达或激光雷达获取的图像可以有效辅助地形数据库,完成场景的显示和优化<sup>[14]</sup>。最后,对地形数据库图像和传感器回传图像进行融合,即可得到增强合成视景显示画面。

## 4 实验及结果

### 4.1 实验设计

本文选取了两种实际应用进行实验测试。利用不同的任务环境和地形场景展示本方法的优越性。

测试一为无人机低空进场实验,即无人机回场着陆过程。测试环境为邻山区域,威胁无人机进场的主要障碍有电杆、房屋、风车和人员密集区(需要规避)。

测试二为无人机近地侦查实验,即贴地飞行并执行对地侦查任务。测试环境为丘陵区域,威胁无人机安全飞行的障碍物有高层建筑、复杂山体。此外,任务区域地形数据库不完善。

### 4.2 实验结果

针对上述两种测试的实际情况,为本文方法制定了不同的解决方案。

如图 9 所示,测试一采用分层着色方案进行地形的显示处理,同时使用了三维保形符号、威胁区域指示、垂直剖面显示等增强感知元素。借助本文方法,最终无人机安全地完成了进场与着陆操作。三维场景输出画面的帧率达到了 35 Hz,显示效果流畅、清晰。

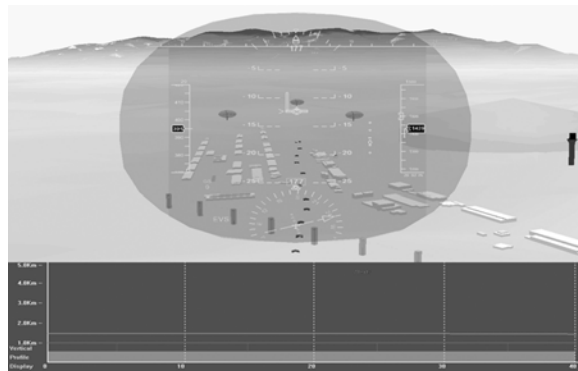


图 9 增强感知测试一

Fig. 9 Test 1 of enhanced sensing

测试结果表明,使用三维保形符号能够有效展示障碍物的位置和大小,同时其外形能够辅助操控人员较快地识别障碍物类型。垂直剖面显示则实时反应了无人机海拔高度与地平面之间的关系,能有效避免无人机碰撞到地面。威胁区域指示则很好地划定了威胁区域的界限,能提示操控人员远离该区域。因而,本文方法可以有效提升操控人员对障碍物的感知速度,简化了场景数据。

如图 10 所示,测试二采用增强合成视景为地面站的场景显示提供辅助和增强。该测试环境中地面建筑比较多,且天气情况较差,能见度较低。利用机载传感器提供的红外传感图像、可见光图像及地面站的地形数据库的图像进行融合,得到经过增强的三维场景。图 10 右下角还展示了无人直升机的空间位置,进一步为操控人员提供关于无人机的全局态势。最终无人机没有触碰到障碍物并回传了侦查图像,顺利完成了任务。三

维场景输出画面的帧率达到了 32 Hz, 显示效果较好。



图 10 增强感知测试二

Fig. 10 Test 2 of enhanced sensing

测试结果表明, 本文方法同样适用于地形数据不完善、天气情况较差的应用, 它能够降低操作人员的工作量, 也能使无人机在未知区域执行任务成为可能。

#### 参考文献:

- [1] SAVAGE J, GOODRICH S, OTT C, *et al.*. Three-dimensional landing zone joint capability technology demonstration[C]. *20th Conference on Degraded Visual Environments-Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions*, Baltimore, MD, 2014.
- [2] ROY P. Enhanced synthetic vision systems and multi-sensor data fusion to improve operational capabilities of small tactical UAV[C]. *AIAA Conference and Exhibit*, 2007: 7-10.
- [3] WIESEMANN T, SCHIEFELE J, KUBBAT W. Multi-resolution terrain depiction on an embedded 2D/3D synthetic vision system[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2005, 9(6): 517-524.
- [4] CROSS J, SCHNEIDER J, CARIANI P. MMW radar enhanced vision systems: the Helicopter Autonomous Landing System (HALS) and Radar-Enhanced Vision System (REVS) are rotary and fixed wing enhanced flight vision systems that enable safe flight operations in degraded visual environments[C]. *SPIE Defense, Security, and Sensing. International Society for Optics and Photonics*, 2013: 87370G-87370G-13.
- [5] 吴俊, 汪源源, 陈悦, 等. 基于同质区域自动选取的各向异性扩散超声图像去噪[J]. *光学精密工程*, 2014, 22(5): 1312-1321.
- [6] WU J, WANG Y Y, CHEN Y, *et al.*. Speckle reduction of ultrasound images with anisotropic diffusion based on homogeneous region automatic selection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(5): 1312-1321. (in Chinese)
- [7] 蒋刚毅, 杨小祥, 彭宗举, 等. 高效视频编码的快速编码单元深度遍历选择和早期编码单元裁剪[J]. *光学精密工程*, 2014, 22(5): 1322-1330.
- [8] JIANG G Y, YANG X X, PENG Z J, *et al.*. Fast CU depth range selection and early CU pruning for HEVC [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(5): 1322-1330. (in Chinese)
- [9] DOEHLER H U, SCHMERWITZ S, LUEKEN T. Visual-conformal display format for helicopter guidance[C]. *20th Conference on Degraded Visual Environments-Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions*, Baltimore, MD, 2014: 90870J-90870J-12.
- [10] 王源源, 黄大庆. 无人机侦察图像压缩[J]. *光学精密工程*, 2014, 22(5): 1363-1370.
- [11] WANG Y Y, HUANG D Q. Compression for UAV reconnaissance images [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(5): 1363-1370. (in Chinese)
- [12] STOLLNITZ E J, DEROSE T D, SALESIN D H.

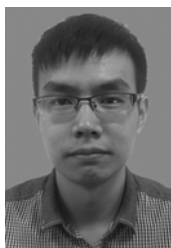
## 5 结 论

本文提出了针对无人机地面站的三维场景增强感知方法, 重点面向无人直升机的低空飞行、着陆、悬停等应用。考虑到低空环境较为复杂, 该方法集多层次调用准则、三维保形符号设计、动态感知、增强合成视景等技术手段, 综合而全面地实现了对三维场景的增强感知处理。本文选取低空近场和近地侦查两个具体应用进行实验。实验结果表明, 利用本文方法为地面站的三维场景显示提供增强感知, 操控人员能够快速识别场景中的障碍物, 同时保证无人机能够在复杂环境下, 安全地执行着陆、低空飞行、低空侦查等高难度任务。本文方法能够有力地提升操控人员的态势感知能力, 有效地减轻操控人员的工作量和精神负担, 保证安全飞行和任务执行。

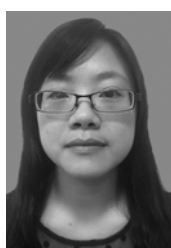
*Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications* [M]. Monterey: Morgan Kaufmann, 1996.

- [10] 林义闯,吕乃光,姜小平,等. 用于弱纹理场景三维重建的机器人视觉系统[J]. 光学精密工程, 2015, 23(2): 540-549.
- LIN Y M, LV N G, LOU X P, *et al.*. Robot vision for 3D reconstruction in low texture environment [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(2): 540-549. (in Chinese)
- [11] MÜNSTERER T, SCHAFHITZEL T, STROBEL M, *et al.*. Sensor-enhanced 3D conformal cueing for safe and reliable HC operation in DVE in all flight phases[C]. *20th Conference on Degraded Visual Environments-Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions, Baltimore, MD, 2014*: 90870I-90870I-11.
- [12] EBRECHT L, SCHMERWITZ S. Integration of a 3D perspective view in the navigation display-featuring pilot's mental model[C]. *20th Conference on Degraded Visual Environments-Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions, Baltimore, MD, 2015*: 94710C-94710C-8.
- [13] KNABL P M, PEINECKE N. Designing an obstacle display for helicopter operations in degraded visual environment[C]. *Conference on Human Vision and Electronic Imaging X VIII*, 2013:865111-10.
- [14] BAIRD N, CRISAFULLI M. Data fusion for a degraded visual environment solution [C]. *20th Conference on Degraded Visual Environments-Enhanced, Synthetic, and External Vision Solutions, Baltimore, MO, 2015*:947108-947108-9.

#### 作者简介:



张佳明(1990—),男,宁夏银川人,2013年于西安电子科技大学获得学士学位,主要从事增强合成视景、多传感器融合、三维感知及计算机视觉等方面的研究。E-mail:jmz\_xd@163.com

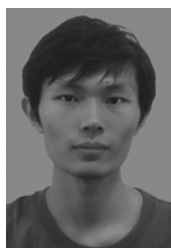


方兰兰(1990—),女,硕士研究生,江西南昌人,2013年于西安电子科技大学获得学士学位,主要研究方向为地形数据库管理、图像匹配与配准、图像处理 and 计算机视觉等。E-mail:dingdonglan@126.com

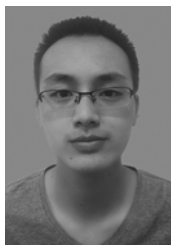
#### 导师简介:



刘贵喜(1966—),男,山东莱阳人,博士,教授,博士生导师,2001年于西安电子科技大学获得博士学位,主要研究方向为目标跟踪、计算机视觉、信息融合与组合导航、增强与合成视景等。E-mail:gqliu@xidian.edu.cn



李斯(1991—),男,湖北荆州人,硕士研究生,2014年于西安电子科技大学获得学士学位,主要研究方向为视觉多目标跟踪、图像处理和计算机视觉。E-mail: lisi\_xdu@126.com



姚李阳(1991—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,2013年于西安电子科技大学获得学士学位,主要研究方向为三维场景感知,增强合成视景,多传感器图像处理等。E-mail:davidyao3672868@qq.com