

文章编号: 2095-4980(2019)04-0589-05

## 一种双频双馈无人机干扰天线的设计与实现

谢 飞<sup>1</sup>, 于 鹏<sup>1</sup>, 刘伯栋<sup>1</sup>, 姬岩龙<sup>2</sup>

(1.中国洛阳电子装备试验中心, 河南 济源 459000; 2.中国电子科技集团公司 第二十二研究所, 河南 新乡 453000)

**摘 要:** 针对民用无人机(UAV)对军事目标等重点要害部位的安全威胁问题需要无人机干扰天线的现状, 设计实现了一种改进的双频双馈八木天线。分析了民用无人机特点, 提出干扰天线技术指标, 对主要形状尺寸进行计算; 通过 HFSS 仿真软件仿真得到双频双馈八木天线的具体参数; 最后实际制作了该型天线并进行实测。仿真和实测结果表明, 设计的天线具有增益高、质量轻、小型化的特点, 能够满足无人机干扰天线的要求。

**关键词:** 八木天线; 无人机; 干扰天线

**中图分类号:** TN97

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201904.0589

## Design and implementation of a dual-band dual-feed UAV interference antenna

XIE Fei<sup>1</sup>, YU Peng<sup>1</sup>, LIU Bodong<sup>1</sup>, JI Yanlong<sup>2</sup>

(1.Luoyang Electronic Equipment Test Center, Jiyuan Henan 459000, China;

2.The 22nd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Xinxiang Henan 453000, China)

**Abstract:** An improved dual-band dual-feed Yagi antenna is designed and implemented to deal with the security threat of civil Unmanned Aerial Vehicle(UAV) to military targets and other key parts, which requires UAV interference antenna. Firstly, according to the technical characteristics of the civil UAV, the technical indicators of interference antenna are presented, the specific form of the antenna is selected, and the main shape sizes are calculated. Then, the specific parameters of dual-band dual-feed Yagi antenna are obtained by HFSS simulation software. Finally, the antenna is fabricated and measured. Simulation and experimental results show that the designed antenna has the characteristics of high gain, light weight and miniaturization, and can meet the requirements of UAV interference antenna.

**Keywords:** Yagi antenna; Unmanned Aerial Vehicle; interference antenna

无人机(UAV)是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机。从技术角度可分为无人固定翼飞机、无人垂直起降机、无人飞艇、无人直升机、无人多旋翼飞行器、无人伞翼机等。民用无人机目前在航拍、农业、植物保护、快递运输等行业发挥重要作用, 然而, 民用无人机对军事目标等重点要害部位的安全威胁不容小视。2013 年 11 月, 中国民用航空局下发《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》。根据规定, 仅 116 kg 以上的无人机和 4 600 m<sup>3</sup> 以上的飞艇在融合空域飞行由民航局管理, 其余情况, 均由行业协会和操作手自行负责。由此带来的问题是大量民用小型无人机可以在低空进行任意的飞行, 这对类似部队驻地这样的保密场所的安全保密工作带来了重大挑战。2017 年 5 月, 民航局下发《民用无人驾驶航空器实名登记管理规定》。规定所有起飞质量在 250 g 以上的民用无人机均需要进行实名登记。这虽然在明确责任等方面有了一定效果, 但对军队等保密场所的秘密安全作用有限。本文通过研究常用无人机的工作方式, 设计用于干扰民用无人机的高增益双频双馈小型天线, 为无人机干扰机的天线设计提供一种新思路。

### 1 民用无人机信号特征

民用无人机辐射和接收的信号通常包括控制信号、图传信号和导航信号。控制信号和图传信号通常工作在 ISM 频段, 考虑到便携性、穿透性等多方面因素, 多使用 2.4 GHz 频段, 少数使用 5 GHz 作为控制。部分军用无人机控制信号选择工作在 UHF 频段, 如市场占有率很高的某品牌无人机使用的是 2.404~2.480 GHz 频段, 导航

信号通常使用 GPS 的 L1 频段, 即 1 575.42 MHz。

无人机的控制逻辑是使用控制信道和 GPS 同时保证无人机的飞行安全。若控制信号失效, GPS 信号会帮助系统自动返航到其设定区域; 若 GPS 信号失效, 控制信号可以继续控制飞机, 平稳飞行; 若两者都无效, 无人机会在当前的位置原地降落。因此, 对于无人机实施干扰需要同时干扰其控制信道和 GPS 信道, 这样能够使无人机得到有效控制。同时为了较高的干通比, 天线需要较好的增益, 至少大于 6 dB; 波束不能太窄, 否则对准目标比较困难, 设计波束可在 40°左右。

## 2 无人机干扰天线设计

### 2.1 天线结构选择

当前双频天线设计方法多样, 由这个频率的要求可以选择螺旋天线、八木天线、喇叭天线、微带天线等, 特别是微带天线, 很多研究人员都开展了相关天线设计, 设计出的天线具有体积小、质量轻、剖面低等特点, 而且便于设计特定的极化和双、多频等<sup>[1-4]</sup>, 但微带天线增益较低, 功率容量小, 无法用于干扰机中; 另一种平面结构天线——印刷天线, 也可方便实现双频, 与微带天线相同, 但无法用于干扰机中<sup>[5-6]</sup>。准八木天线当前广受关注, 文献[7-8]改进了八木天线馈电部分, 使得八木天线实现了双频工作。这些种类的天线都是单输入双频工作状态, 与干扰机所需的双输入双输出天线有所区别。近年来, 对八木天线应用在 WIFI 频段的研究不少, 证明在该频段内八木天线有较好的适用性<sup>[9-12]</sup>, 同时对提高增益和扩展带宽的研究工作也取得一定进展: 有的研究者将超材料单元用于八木天线, 改善天线的带宽或增益<sup>[13]</sup>; 也有研究者利用谐振结构提高八木天线增益<sup>[14-15]</sup>。

为实现前文所述的干扰功能, 无人机干扰天线应该满足以下设计技术指标:

- 1) 频率: 1 570~1 580 MHz, 2 400~2 500 MHz;
- 2) 增益: GPS 频段大于 6 dB, WIFI 频段大于 9 dB;
- 3) 电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR): 小于 2;
- 4) 3 dB 波束宽度: 40°;
- 5) 双馈电输入, 双信号输出, 相互不干扰。

本文选择改进的八木天线实现所需要的技术指标。八木天线具有结构简单、馈电方便、制作简单等优点, 广泛用于米波和分米波波段的通信、雷达等无线电设备中, 但通常其频带较窄, 分数带宽小于 5%。对于本文的应用, 最多 100 MHz, 分数带宽为 4%左右, 可以使用八木天线来设计。

### 2.2 天线结构设计

八木天线比较成熟, 通过天线工程手册等可以大致算出天线阵子数量、阵子长度、间隔等参数。本文采用双馈实现 2 个频段的信号辐射, WIFI 频段辐射增益要求较高, 需保证引向振子的数目。若将 2 个八木天线以完整的形式放置在一起, 相互间会有影响。而若将 GPS 部分比较长的振子置于 WIFI 八木天线的后面, 即可减少引向单元的数量, 同时相互影响很小。因此, 实际设计天线的结构如图 1 所示。图 1 中黑色线条为天线阵子, 灰色部分为馈电点。后面较长的 3 根振子为 GPS 频率天线的反射器、有源振子和引向器。另外的部分为 WIFI 频段的反射器、有源振子和引向器。高频端振子亦可作低频端引向作用。

八木天线拥有比较经典的设计方法, 其增益表达式为:

$$G \approx 10L / \lambda \quad (1)$$

式中:  $L$  为天线总长度;  $\lambda$  为天线工作波长。由此可以由增益获得天线的长度。而振子之间的间距  $d$  取值范围如式(2)所示:

$$d = (0.15 \sim 0.4) \lambda \quad (2)$$

由此可以获得天线的振子数量、每个振子的长度、间隔等主要技术参数, 再经过仿真软件优化计算, 可得到天线最佳性能的具体尺寸。经过设计得到天线的各项参数如表 1 所示。

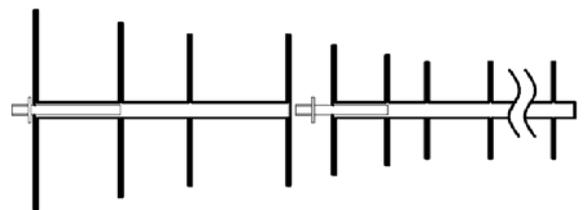


Fig.1 Structure diagram of the antenna

图 1 天线结构示意图

表 1 天线实际尺寸表

Table 1 Actual antenna sizes

item	value	item	value
number of WIFI reflectors	1	number of GPS reflectors	1
number of WIFI	14	number of GPS directors	1
WIFI feeder length	$0.48\lambda_{\text{wifi}}$	GPS feeder length	$0.467\lambda_{\text{GPS}}$
length	$0.55\lambda_{\text{wifi}}$	GPS reflector length	$0.536\lambda_{\text{GPS}}$
WIFI directors length	$0.414\lambda_{\text{wifi}}$	GPS director length	$0.404\lambda_{\text{GPS}}$
WIFI reflector distance	$0.228\lambda_{\text{wifi}}$	GPS reflector distance	$0.226\lambda_{\text{GPS}}$
first WIFI director distance	$0.161\lambda_{\text{wifi}}$	GPS director distance	$0.184\lambda_{\text{GPS}}$
other WIFI directors distance	$0.27\lambda_{\text{wifi}}$		

### 2.3 天线仿真设计

经过 HFSS 建模仿真得到天线的 VSWR 曲线如图 2 所示, 增益曲线如图 3 所示, 水平方向图如图 4 所示。可以看出, 天线在 1.55~1.60 GHz, 2.4~2.5 GHz 范围内 VSWR 均低于 1.5, 满足双频电压驻波比的要求, 增益均大于 12 dB, 天线水平面的 3 dB 波束宽度在 2.4 GHz 约为 40°, 符合无人机干扰天线设计要求。

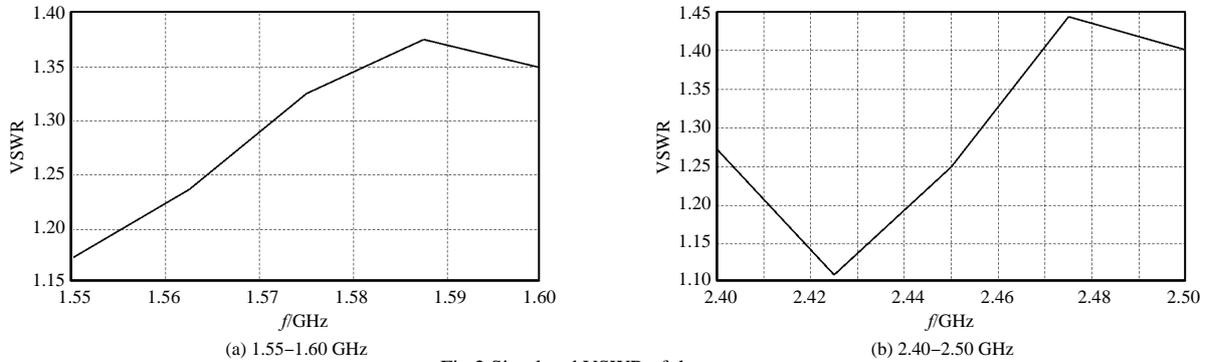


Fig.2 Simulated VSWR of the antenna  
图 2 天线 VSWR 仿真结果

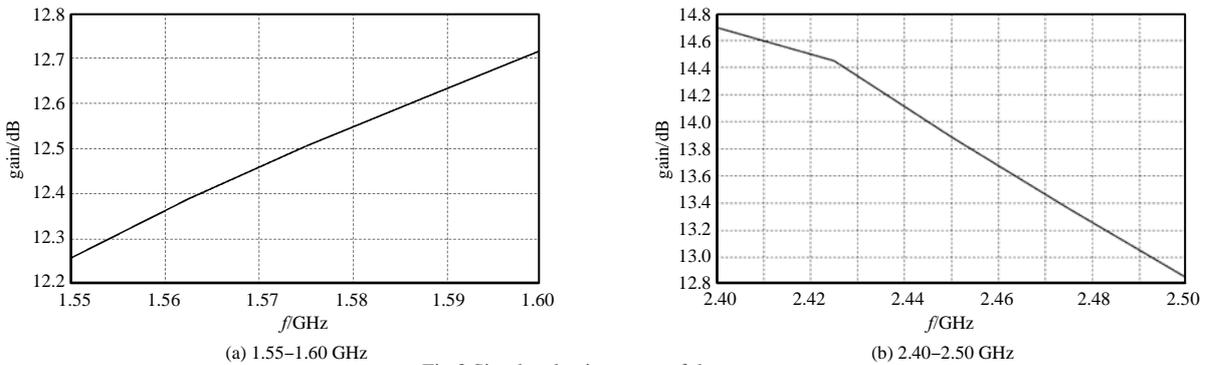


Fig.3 Simulated gain curves of the antenna  
图 3 天线增益仿真曲线

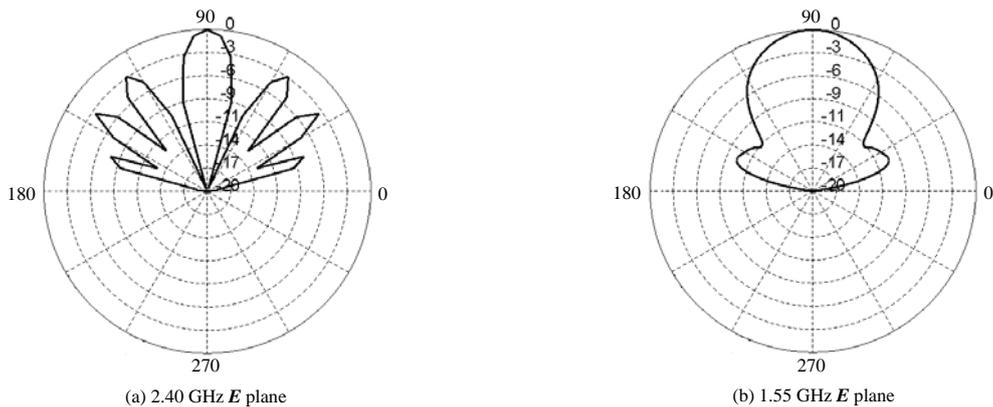


Fig.4 Simulated horizontal pattern of the antenna  
图 4 天线仿真水平面方向图

### 3 无人机干扰天线实现

经过加工实际制作的天线照片如图 5 所示, 使用 Agilent N9923A 矢量网络分析仪测试天线的 VSWR 曲线如图 6 所示, 使用对比法在室外空旷场地测得天线增益曲线如图 7 所示。从图 6 可以看出, 天线在 1.55~1.60 GHz 的 VSWR 整体小于 1.7; 2.40~2.48 GHz 内整体小于 1.6。从图 7 可以看出, 天线在 2.4 GHz 附近的增益约为 10 dB。实际测试结果与仿真结果接近, 能够作为无人机干扰天线使用, 同时具有高增益、质量轻、小型化的特点, 具有较好的应用价值。

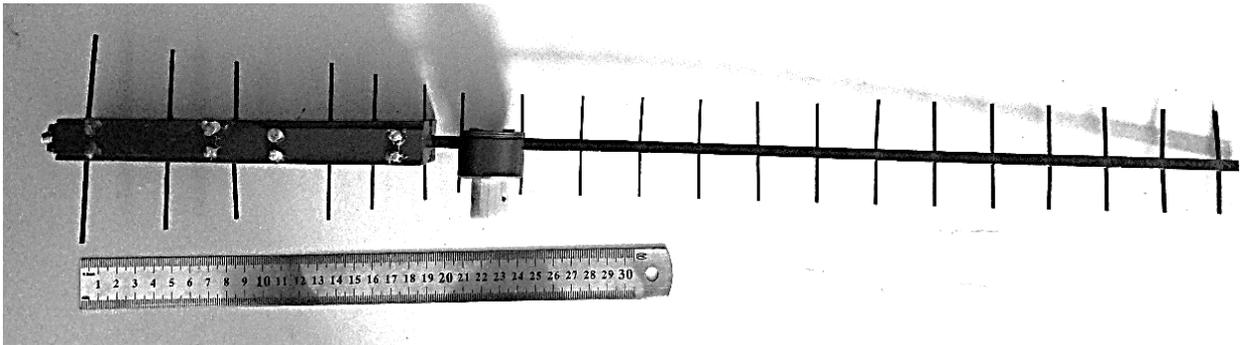


Fig.5 Picture of fabricated antenna  
图 5 实际制作天线实拍图

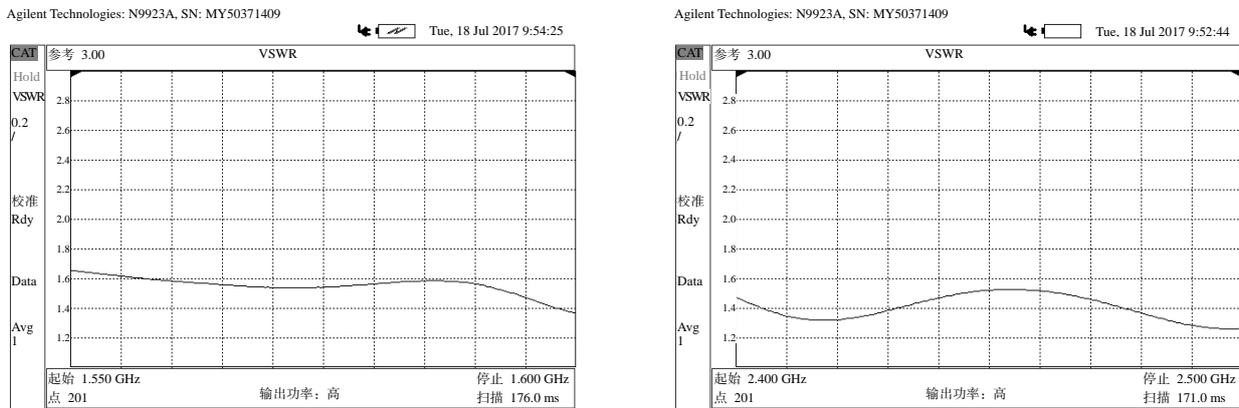


Fig.6 Measured VSWR of the antenna  
图 6 天线实测 VSWR 图

#### 4 结论

针对当前民用无人机大量发展、而便携式无人机干扰设备不足的问题,提出一种 2.4 GHz 无人机干扰天线的设计方法。采用双频双馈八木天线的方式,使用仿真获得了天线的尺寸要求,然后实际加工并进行了测试验证。实测结果表明:所设计的天线增益达到 10 dB,电压驻波比小于 1.7,能够满足无人机干扰天线的应用需要,具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 郑龙,王光明,胡帅江,等. 用于 WiFi 频段的新型双频天线设计[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2012,13(6):40-44. (ZHENG Long,WANG Guangming,HU Shuaijiang,et al. Design of a new dual band antenna for WiFi band[J]. Journal of the Air Force Engineering University(Natural Science Edition), 2012,13(6):40-44.)
- [2] 郑龙,王光明,胡帅江,等. 一种新型双频天线的设计[J]. 现代雷达, 2013,35(2):45-48. (ZHENG Long,WANG Guangming,HU Shuaijiang,et al. Design of a new dual-band antenna[J]. Modern Radar, 2013,35(2):45-48.)
- [3] GORBACHEV A P,TARASENKO N V. The modified dual-frequency quasi-Yagi antenna[C]// 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies & Electron Devices(EDM). Novosibirsk,Russia:IEEE, 2014: 161-163.
- [4] 张学辉,赵雯,刘学观. 用于 WLAN 的双频天线的设计与实现[J]. 通信技术, 2010,43(7):41-42,45. (ZHANG Xuehui, ZHAO Wen,LIU Xueguan. Design and implementation of dual-band antenna for WLAN[J]. Communications Technology, 2010,43(7):41-42,45.)

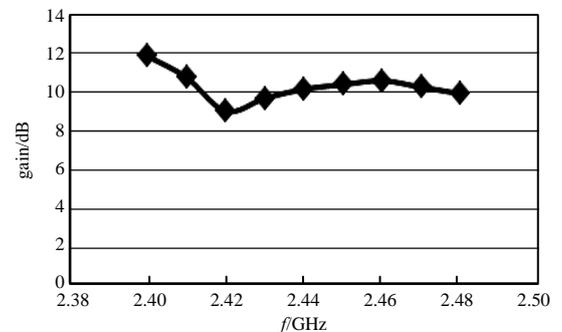


Fig 7 Measured gain of the antenna  
图 7 天线实测增益图

- [5] 袁渊,张福顺,徐志. 双频共口径双馈天线的研制[J]. 现代电子技术, 2007(2):157-158. (YUAN Yuan,ZHANG Fushun, XU Zhi. Development of a dual-frequency co-channel double-fed antenna[J]. Modern Electronics Technique, 2007(2): 157-158.)
- [6] 刘一,姜涛. 一种物联网用双频天线的设计[J]. 广东技术师范学院学报, 2014,35(11):68-70. (LIU Yi,JIANG Tao. A novel miniaturized dual-band antenna for Internet of Things[J]. Journal of Guangdong Polytechnic Normal University, 2014,35(11):68-70.)
- [7] GAGNON N. Dual-band pattern-reconfigurable Yagi-Uda antenna[C]// IEEE Radio and Wireless Symposium(RWS). [S.l.]: IEEE, 2015:89-91.
- [8] 龚龙燕,张阳,赵广雷. 一种用于 WLAN/WiMAX 的宽带双频天线[J]. 现代电子技术, 2015,38(21):80-82. (GONG Longyan,ZHANG Yang,ZHAO Guanglei. A wideband dual-band antenna for WLAN/WiMAX[J]. Modern Electronics Technique, 2015,38(21):80-82.)
- [9] 徐凯. 一款 WiFi 频段八木天线的设计与实现[J]. 物联网技术, 2016(1):44-46. (XU Kai. A WiFi band Yagi antenna design and implementation[J]. Internet of Things Technology, 2016(1):44-46.)
- [10] 张宁,王建. 一种 S 波段宽带单极八木天线[J]. 现代雷达, 2015(5):61-64. (ZHANG Ning,WANG Jian. An S-band broadband monopole Yagi antenna[J]. Modern Radar, 2015(5):61-64.)
- [11] CHUN Yingkang,SHU Lin,LI Wenjing,et al. A wideband printed directional antenna array with impedance regulating load[J]. International Journal of Antennas and Propagation, 2014(23):1-6.
- [12] 谢鹏,王光明,李海鹏. 加载谐振环的新型宽带准八木天线设计[J]. 微波学报, 2017(2):17-21. (XIE Peng,WANG Guangming,LI Haipeng. Design of a novel wideband quasi-Yagi antenna with resonant ring[J]. Journal of Microwaves, 2017(2):17-21.)
- [13] QIN P Y,DING C,GUO Y J. A high-gain beam-steering quasi-Yagi antenna[C]// IEEE International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP). Nagoya,Japan:IEEE, 2012:122-125.
- [14] JIN H Y,HUANG Y J,WEN G J,et al. Gain enhancement for wide bandwidth endfire antenna with I-Shaped Resonator(ISR) structures[J]. Electronics Letters, 2013,49(12):736-737.
- [15] CAO W,ZHANG B,LIU A,et al. Gain enhancement for broadband periodic endfire antenna by using split-ring resonator structures[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012,60(7):3513-3516.

#### 作者简介:



谢飞(1983-),男,合肥市人,硕士,工程师,主要研究方向为通信对抗.email:xiefei2314@126.com.

于鹏(1977-),男,河南省洛阳市人,硕士,高级工程师,主要研究方向为电子对抗.

刘伯栋(1977-),男,河北省辛集市人,硕士,高级工程师,主要研究方向为电子对抗.

姬岩龙(1988-),男,河南省新乡市人,硕士,工程师,主要研究方向为电波传播理论与天线技术.