(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110213010 B
(45)授权公告日 2020.07.07

(21)申请号 201910350637.6

(22)申请日 2019.04.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110213010 A

(43)申请公布日 2019.09.06

(73)专利权人 浙江大学
地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72)发明人 徐一皓 黄庆荣 唐珂 张宗煜 史治国 陈积明

(74)专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司 33200
代理人 刘静 邱启旺

(51)Int.Cl.
H04K 3/00(2006.01)
G06N 20/00(2019.01)
G06N 3/04(2006.01)
G06N 3/08(2006.01)

(56)对比文件
CN 108089205 A,2018.05.29,全文.
CN 109471068 A,2019.03.15,全文.
CN 208479604 U,2019.02.05,全文.
US 2018284254 A1,2018.10.04,全文.
US 2019064341 A1,2019.02.28,全文.

审查员 刘慧敏

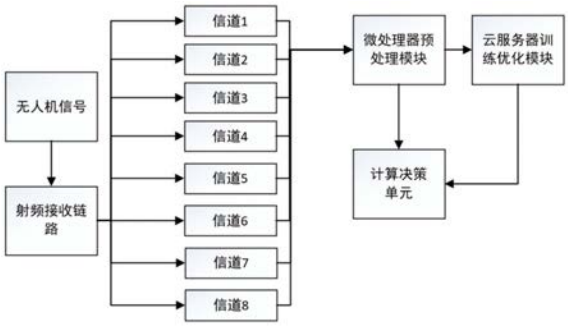
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种基于多通道射频信号的无人机检测系统和方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于多通道射频信号的无人机检测系统和方法,该系统包括射频接收链路、微处理器预处理模块、计算决策单元及云服务器训练优化模块;射频接收链路接收无人机遥控器射频信号;微处理器预处理模块对射频接收链路输出信号模数转换后进行多通道的时序同步,同步后将多通道的无人机射频信号的时域波形拼接为矩阵形式进行输出;云服务器训练优化模块用于训练机器学习模型供;计算决策单元接收微处理器预处理模块输出的数据,实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。该方法通过并行地检测多个信道上的无人机遥控器信号,提取、统计并分析其信号特征,进而实现无人机检测。本发明具有成本低廉、便于部署、操作简单、抗干扰能力强的优点。



CN 110213010 B

1.一种基于多通道射频信号的无人机检测系统，其特征在于，该系统包括射频接收链路、微处理器预处理模块、计算决策单元及云服务器训练优化模块；

所述射频接收链路采用超外差结构，包括接收天线、低噪声放大器、混频器、晶振、中频放大电路、功率分配器、滤波器和检波器；所述天线、低噪声放大器、混频器、中频放大电路、功率分配器依次连接，所述晶振连接混频器，所述功率分配器分别连接多个通道各自的滤波器和检波器；所述射频接收链路通过天线接收无人机信号，并将其所在的频段划分为多个信道，进而输出每个信道上的信号功率；

所述射频接收链路对无人机遥控器射频信号进行有效地接收和调理；

所述微处理器预处理模块对射频接收链路输出的信号进行模数转换，之后进行多通道的时序同步，同步后将多通道的无人机射频信号的时域波形拼接为矩阵形式，并输出给云服务器训练优化模块和计算决策单元；

所述云服务器训练优化模块用于接收微处理器预处理模块输出的数据作为训练样本，训练机器学习模型供计算决策单元使用；

所述计算决策单元搭载训练好的机器学习模型，接收微处理器预处理模块输出的数据，实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。

2.根据权利要求1所述的一种基于多通道射频信号的无人机检测系统，其特征在于，所述微处理器预处理模块采用STM32单片机或者其他相关型号的微机用于模数转换和数据传递；所述计算决策单元采用现场可编程门阵列(FPGA)实现基于机器学习的检测。

3.一种利用权利要求1-2任一项所述系统进行无人机检测的方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤一：通过射频接收链路采集多种条件下的无人机射频信号数据，采集条件包括有无无人机、无人机型号、无人机与本检测系统的距离，之后将无人机数据划分为多个信道上的数据，每个信道对应一个通道，并发送给微处理器预处理模块；

步骤二：微处理器预处理模块对射频接收链路输出的数据进行模数转换，之后进行多通道的时序同步，同步后将多通道的无人机射频信号的时域波形拼接为矩阵形式，并输出给云服务器训练优化模块；

步骤三：云服务器训练优化模块接收微处理器预处理模块输出的数据作为训练样本，训练机器学习模型；

步骤四：将步骤三得到的机器学习模型移植到计算决策单元上；

步骤五：在无人机检测过程中，通过射频接收链路采集检测环境中的射频信号数据，将射频信号数据划分为多个信道上的数据，输入微处理器预处理模块进行预处理，将预处理后的数据输入到计算决策单元中作为机器学习模型的输入，实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。

4.根据权利要求3所述的一种利用权利要求1-2任一项所述系统进行无人机检测的方法，其特征在于，所述步骤三用机器学习的手段学习无人机射频信号的跳频特征，根据不同型号无人机射频信号的不同跳频规律实现对无人机的有效检测及无人机型号的识别。

5.根据权利要求3所述的一种利用权利要求1-2任一项所述系统进行无人机检测的方法，其特征在于，所述步骤三训练的机器学习模型选择卷积神经网络，并且引入了随机失活、旁路连接和前向输入机制。

一种基于多通道射频信号的无人机检测系统和方法

技术领域

[0001] 本发明属于信号检测技术领域，尤其涉及一种基于多通道射频信号的无人机检测系统和方法。

背景技术

[0002] 近年来，无人机开始飞入寻常百姓家，并广泛运用于工业、农业、教育等领域。然而，随着无人机市场需求快速增长，“黑飞”、“滥飞”现象日益猖獗，对人民群众的生命财产安全造成了严重威胁。因此，对无人机进行检测、跟踪乃至干扰显得尤为必要。但由于民用无人机通常体型较小，现有系统通常检测精度受到局限，且抗干扰性较差；不仅如此，现有系统的购置成本以及运行维护成本大多较为高昂，难以实现大规模的普及应用。因此，设计一种抗干扰性强、易于推广易于灵活部署应用的低成本无人机监测预警系统显得十分必要。

发明内容

[0003] 针对上述需求，本发明提出了一种基于多通道射频信号的无人机检测系统和方法。

[0004] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的：一种基于多通道射频信号的无人机检测系统，该系统包括射频接收链路、微处理器预处理模块、计算决策单元及云服务器训练优化模块；

[0005] 所述射频接收链路对无人机遥控器射频信号进行有效地接收和调理；

[0006] 所述微处理器预处理模块对射频接收链路输出的信号进行模数转换，之后进行多通道的时序同步，同步后将多通道的无人机射频信号的时域波形拼接为矩阵形式，并输出给云服务器训练优化模块和计算决策单元；

[0007] 所述云服务器训练优化模块用于接收微处理器预处理模块输出的数据作为训练样本，训练机器学习模型供计算决策单元使用；

[0008] 所述计算决策单元搭载训练好的机器学习模型，接收微处理器预处理模块输出的数据，实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。

[0009] 进一步地，所述射频接收链路采用超外差结构，包括接收天线、低噪声放大器、混频器、晶振、中频放大电路、功率分配器、滤波器和检波器；所述天线、低噪声放大器、混频器、中频放大电路、功率分配器依次连接，所述晶振连接混频器，所述功率分配器分别连接多个通道各自的滤波器和检波器；所述射频接收链路通过天线接收无人机信号，并将其所在的频段划分为多个信道，进而输出每个信道上的信号功率。

[0010] 进一步地，所述微处理器预处理模块采用STM32单片机或者其他相关型号的微机用于模数转换和数据传递；所述计算决策单元采用FPGA实现基于机器学习的检测。

[0011] 一种基于多通道射频信号的无人机检测方法，该方法包括以下步骤：

[0012] 步骤一：通过射频接收链路采集多种条件下的无人机射频信号数据，采集条件包

括有无无人机、无人机型号、无人机与本检测系统的距离，之后将无人机数据划分为多个信道上的数据，每个信道对应一个通道，并发送给微处理器预处理模块；

[0013] 步骤二：微处理器预处理模块对射频接收链路输出的数据进行模数转换，之后进行多通道的时序同步，同步后将多通道的无人机射频信号的时域波形拼接为矩阵形式，并输出给云服务器训练优化模块；

[0014] 步骤三：云服务器训练优化模块接收微处理器预处理模块输出的数据作为训练样本，训练机器学习模型；

[0015] 步骤四：将步骤三得到的机器学习模型移植到计算决策单元上；

[0016] 步骤五：在无人机检索过程中，通过射频接收链路采集检测环境中的射频信号数据，将射频信号数据划分为多个信道上的数据，输入微处理器预处理模块进行预处理，将预处理后的数据输入到计算决策单元中作为机器学习模型的输入，实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。

[0017] 进一步地，所述步骤三用机器学习的手段学习无人机射频信号的跳频特征，根据不同型号无人机射频信号的不同跳频规律实现对无人机的有效检测及无人机型号的识别。

[0018] 进一步地，所述步骤三训练的机器学习模型选择卷积神经网络，并且引入了随机失活、旁路连接和前向输入机制。

[0019] 本发明的有益效果是：本发明依据无人机信号在多个信道上跳频的规律特点，并行检测每个信道上的信号功率，并用训练好的机器学习模型进行无人机的检测及判断无人机的型号等信息。本发明具有成本低廉、便于部署、操作简单、抗干扰能力强的优点。

附图说明

[0020] 图1是本发明的系统总体结构示意图；

[0021] 图2是本发明中射频接收链路的结构示意图；

[0022] 图3是本发明的方法总体流程框图。

具体实施方式

[0023] 以下参照附图，对本发明的技术方案和效果作进一步的详细说明。

[0024] 近年来，无人机“黑飞”“滥飞”现象猖獗，对人民群众的生命财产安全造成了日益严重的威胁。因此，对入侵特定区域的无人机进行检测、跟踪乃至干扰显得尤为必要。目前现有的探测系统还普遍存在成本过高、抗干扰性差，不易于部署等问题。本发明提出了一种成本低廉、操作简单、抗干扰性强、便于部署的无人机检测系统和方法。

[0025] 如图1所示，本发明设计了一种基于多通道射频信号的无人机检测系统。该系统包括射频接收链路、微处理器预处理模块、计算决策单元及云服务器训练优化模块。射频接收链路将无人机信号下变频到基带并放大，最后分为8条信道输出。微处理器预处理模块通过8路ADC采集接收机输出的无人机信号，并将采集到的信号通过网线传输到云服务器训练优化模块或者计算决策单元。云服务器训练优化模块将采集的数据用于训练机器学习模型。计算决策单元搭载训练好的机器学习模型。

[0026] 射频接收链路的结构如图2所示，包括接收天线、低噪声放大器、混频器、晶振、中频放大电路、功率分配器、滤波器和检波器。该接收机采用外接天线来接收射频信号。低噪

声放大器采用SPF5189低噪声射频放大器，可以将射频信号放大7dB。混频器采用ADL5350-EVALZ，输入接2.4GHz有源晶振和低噪声放大器输出端，将2.40GHz～2.48GHz的射频信号下变频至中频。中频放大部分由两个OPA847运算放大器级联而成，可以提供60dB的增益。功率分配器选用Mini-Circuits公司的ZFSC-8-43功分器，将放大后的射频信号等分为8路。功分器每路信号输出各有一个滤波器连接。滤波器分别为中心频率5MHz、15MHz、25MHz、35MHz、45MHz、55MHz、65MHz、75MHz，通带宽度10MHz的切比雪夫带通滤波器。对数检波器采用AD8362射频检波模块，用于检测滤波后的射频信号的功率。

[0027] 微处理器预处理模块包括一个STM32F104单片机、一个8路ADC和一个SPI转网口模块。ADC模块采用AD7606芯片。将ADC模块的AIN1～AIN8接口与接收机8个信道分别相连，作为模拟输入口。ADC模块的SPI与STM32单片机的SPI1连接。SPI转网口模块采用的是WIZnet的W5500网络协议芯片，将单片机的SPI2接口与SPI转网口模块相连接。

[0028] 计算决策单元采用xilinx公司的PYNQ-Z2开发板。利用FPGA的PL部分实现训练好的神经网络，并利用PS部分初始化设置PL，以及完成协议的TCP/IP发送、网口通信和结果输出。

[0029] 云服务器训练优化模块可以采用个人电脑或者服务器，将通过网口传输的数据用于训练机器学习模型。该模型选择卷积神经网络，并引入了随机失活、旁路连接和前向输入机制。

[0030] 如图3所示描述了一种基于多通道射频信号的无人机检测方法，包括以下步骤：

[0031] 步骤一：大部分无人机信号分布在2.4GHz到2.48GHz的频段上，本发明中的无人机检测系统将这部分频带划分为8个10MHz带宽的信道进行检测。通过射频接收链路采集多种条件下的无人机射频信号数据，采集条件包括有无无人机、无人机型号、无人机与本检测系统的距离。射频接收链路将高频信号通过天线接收进来，并进行下变频和放大之后将无人机数据划分为多个信道上的数据，每个信道对应一个通道。信号经过滤波和功率检测后传递给微处理器预处理模块。

[0032] 步骤二：微处理器预处理模块对射频接收链路输出的数据进行频率为3000Hz的采样，得到8路数字信号，之后进行多通道的时序同步，同步后进行数据处理得到训练样本，并输出给云服务器训练优化模块。具体处理方法是将每路采集的30000个电平值分为一组并转化为对应的功率值，然后对这八路数据拼接为30000×8的矩阵形式，最后对得到的矩阵标记无人机有无和无人机型号，这组数据作为一个训练样本。

[0033] 步骤三：云服务器训练优化模块接收微处理器预处理模块输出的数据作为训练样本，调整机器学习模型的网络结构、训练该网络的参数，直到得到所需的机器学习模型。

[0034] 步骤四：将步骤三得到的机器学习模型移植到计算决策单元上。所选用的PYNQ-Z2开发板的PS部分用于接收网口数据和控制PL部分。PL部分用于将8个通道采集的数据放到机器学习模型计算，并将结果反馈给PS部分。

[0035] 步骤五：在无人机检测过程中，通过射频接收链路采集检测环境中的射频信号数据，将射频信号数据划分为多个信道上的数据，输入微处理器预处理模块进行预处理，将预处理后的数据输入到计算决策单元中作为机器学习模型的输入，实现无人机的有效检测及无人机型号的识别。

[0036] 本发明所提的无人机检测系统和方法是基于无人机信号具有独特跳频规律的特

点,提取无人机在多个信道上的信号特征,用机器学习的手段实现检测和判断。该系统和方法具有便于部署,抗干扰性强和成本低的优势。

[0037] 上述实施例用来解释说明本发明,而不是对本发明进行限制,在本发明的精神和权利要求的保护范围内,对本发明作出的任何修改和改变,都落入本发明的保护范围。

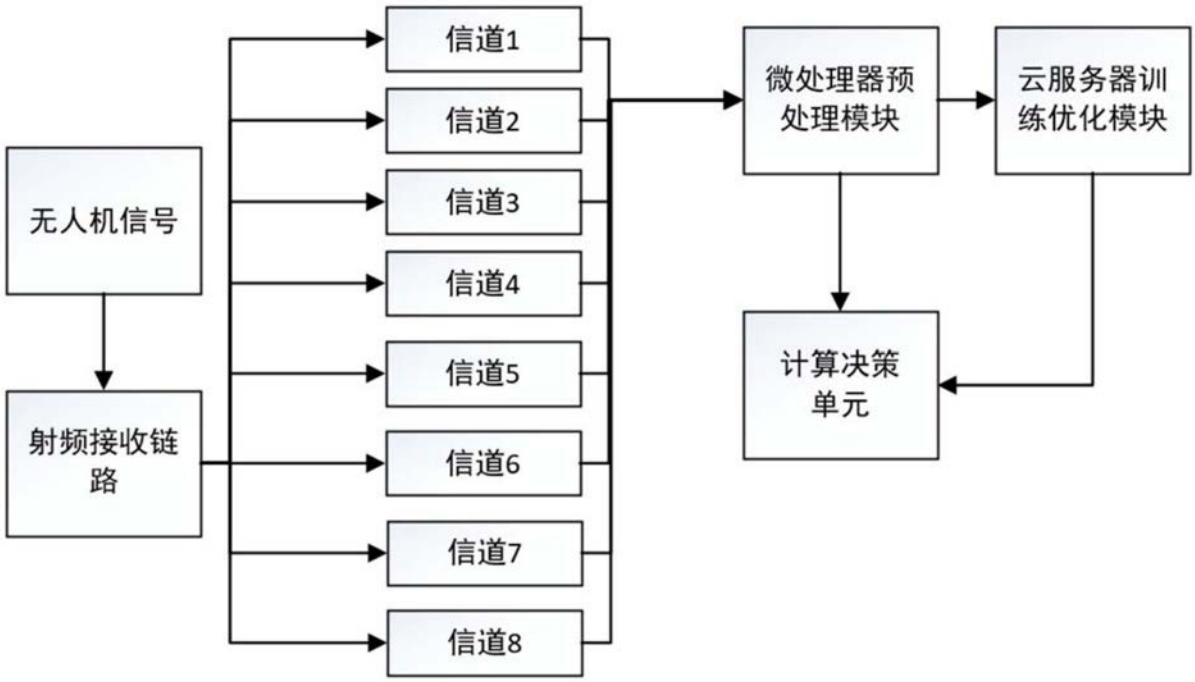

无人机信号
射频接收链路
信道1
信道2
信道3
信道4
信道5
信道6
信道7
信道8
微处理器预处理模块
云服务器训练优化模块
计算决策单元

图1

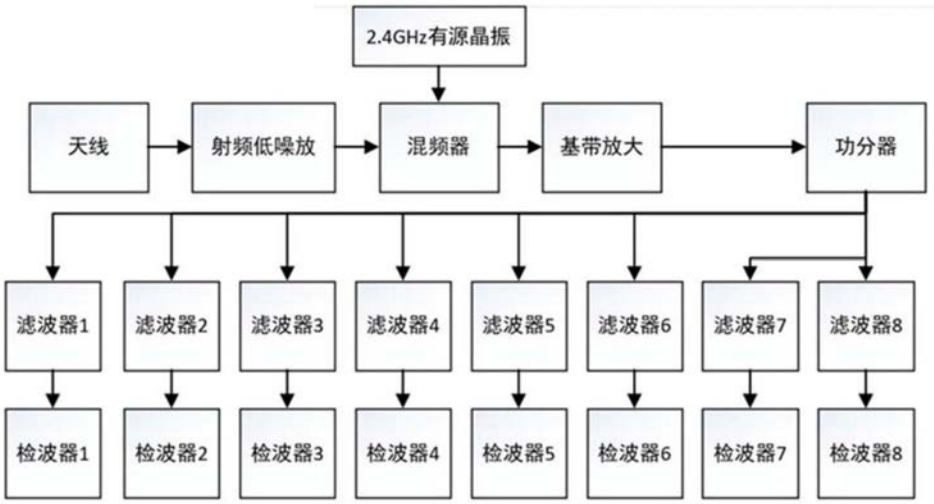

2.4GHz有源晶振
天线
射频低噪放
混频器
基带放大
功分器
滤波器1
滤波器2
滤波器3
滤波器4
滤波器5
滤波器6
滤波器7
滤波器8
检波器1
检波器2
检波器3
检波器4
检波器5
检波器6
检波器7
检波器8

图2

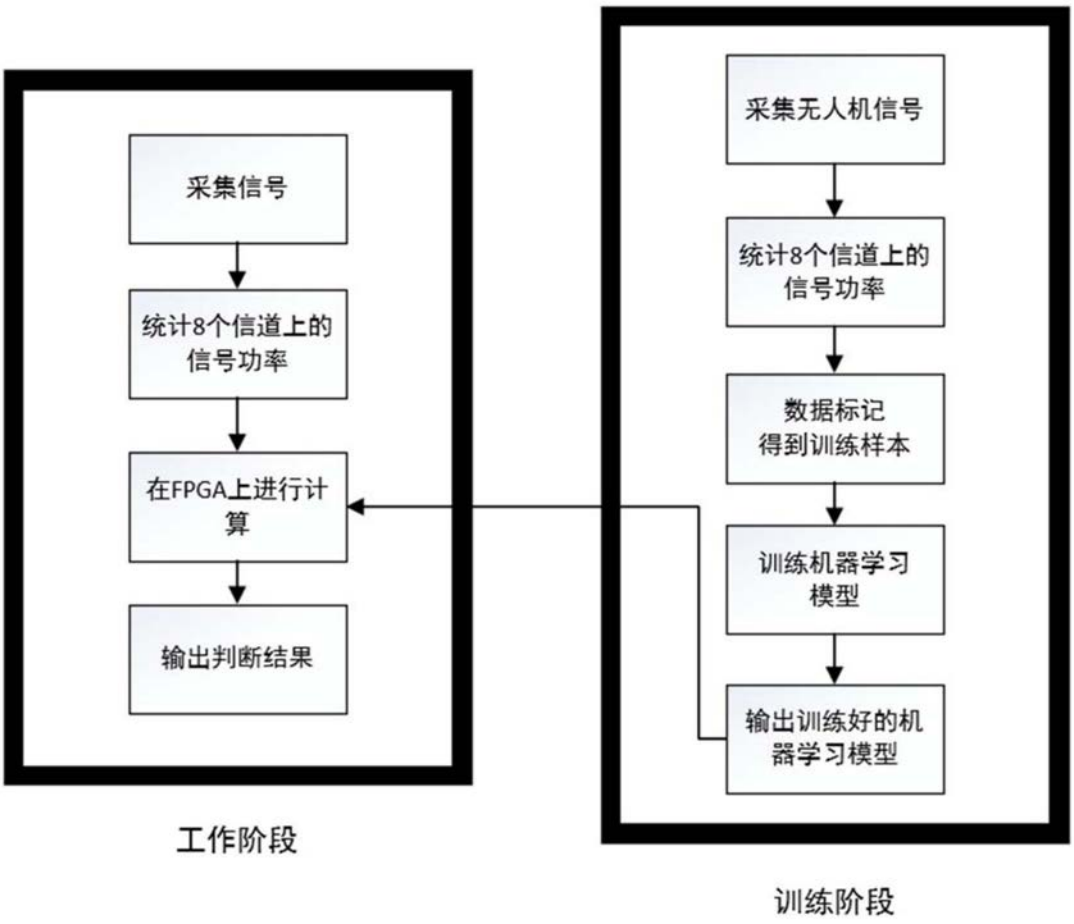

采集信号
统计8个信道上的信号功率
在FPGA上进行计算
输出判断结果
工作阶段
采集无人机信号
统计8个信道上的信号功率
数据标记得到训练样本
训练机器学习模型
输出训练好的机器学习模型
训练阶段

图3