



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106970382 B

(45)授权公告日 2019.08.02

(21)申请号 201710175752.5

G01S 13/58(2006.01)

(22)申请日 2017.03.22

G01S 7/35(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106970382 A

(56)对比文件

CN 102707271 A,2012.10.03,

CN 102707271 A,2012.10.03,

CN 205787098 U,2016.12.07,

CN 102288947 A,2011.12.21,

CN 104849698 A,2015.08.19,

CN 103308897 A,2013.09.18,

CN 102841333 A,2012.12.26,

CN 105093191 A,2015.11.25,

CN 104090274 A,2014.10.08,

CN 102176010 A,2011.09.07,

CN 203606490 U,2014.05.21,

US 2015338515 A1,2015.11.26,

(43)申请公布日 2017.07.21

(73)专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山

武汉大学

(72)发明人 万显荣 刘玉琪 柯亨玉 杨博宇

黄昌增 朱辰 陈虹嘉 陈天阳

肖云

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 42222

代理人 魏波

审查员 伍晓霞

(51)Int.Cl.

G01S 13/72(2006.01)

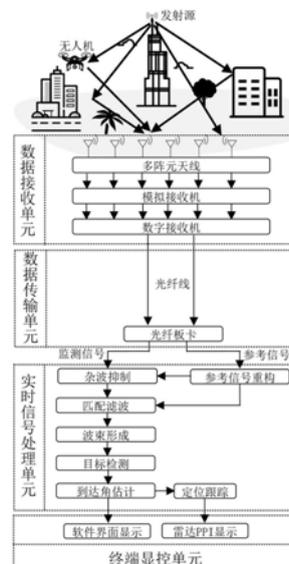
权利要求书4页 说明书9页 附图7页

(54)发明名称

一种基于外辐射源雷达无人机实时监测系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于外辐射源雷达无人机实时监测系统及方法,系统包括数据接收单元、数据传输单元、实时信号处理单元、终端显控单元;数据接收单元用于接收发射源的参考信号和无人机反射的监测信号,并将信号通过数据传输单元输入实时信号处理单元;通过实时信号处理单元处理后,得到无人机航迹,并在所述终端显控单元上实时显示。本发明无需频率分配,无电磁污染;可全天候监控;数据处理速度快,数据更新率高,可实时监控;研制和维护成本低,组网能力强。



1. 一种基于外辐射源雷达无人机实时监测方法,采用基于外辐射源雷达无人机实时监测系统;

其特征在于:所述系统包括数据接收单元、数据传输单元、实时信号处理单元、终端显控单元;

所述数据接收单元用于接收发射源的参考信号和无人机反射的监测信号,并将信号通过所述数据传输单元输入所述实时信号处理单元;通过所述实时信号处理单元处理后,得到无人机航迹,并在所述终端显控单元上实时显示;

所述数据接收单元包括多阵元天线、模拟接收机和数字接收机;

所述多阵元天线,用于接收数字电视信号,多路信号经电缆传输至模拟接收机;

所述模拟接收机,用于接收多阵元天线输出的多路信号,并对这多路信号依次进行限幅、放大、滤波后下变频至固定中频;

所述数字接收机,对模拟接收机前段输出的中频信号进行A/D采样、数字下变频和并串转换,最终生成基带信号,并通过两路光纤线输入所述数据传输单元;

所述方法包括以下步骤:

步骤1:系统参数初始化,分配内存和显存空间,初始化光纤板卡;

具体包括以下子步骤:

步骤1.1:初始化系统参数,输入信号处理参数,检测参数和跟踪参数;

其中信号处理参数包括累积时间、雷达工作频率、信号采样率、阵元个数、波束扫描范围、波束扫描间隔和阵列流型;检测参数包括虚警概率、检测范围、恒虚警检测保护单元和参考单元个数;跟踪参数包括数据更新率、双基雷达基线长度、阵列法线方位、基线方位和卡尔曼滤波中点迹关联概率;

步骤1.2:初始化UDP传输协议,配置端口地址和端口号;

步骤1.3:分配内存和显存空间,在CPU端分配两个相同长度内存packet1和packet2,定义数据包缓存计数器IPC1_CNT并初始化为0,在GPU端分配同样长度显存packet,作为并行信号处理数据入口;

步骤1.4:初始化光纤板卡,等待数据传输;

步骤2:模拟接收机通过多阵元天线接收环境中的数字电视信号,包括直达波信号,经运动目标反射回波信号,多径杂波以及噪声信号,并将多通道接收信号进行限幅、放大、滤波后下变频至固定中频;

步骤3:数字接收机的GPS模块驯服的系统时钟为数字接收机提供采样时钟,模拟接收机输出的中频信号经A/D采样、数字下变频和并串转换,最终生成基带信号;

步骤4:光纤板卡在初始化成功以后,通过两路光纤线分别接收多路基带信号,该基带信号经解包后存储至光纤板卡自带的1.5MB固定缓存中,等待CPU端读取;

步骤5:CPU端通过驱动程序,调用光纤板卡回调函数,通过写入脉冲信号启动光纤板卡数据向服务器传输函数;

步骤6:建立双线程A和B,采用乒乓缓存方式,将光纤板卡1.5MB数据包依次上传至CPU端;

其具体实现包括以下子步骤:

步骤6.1:线程A先将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet1,数据包缓存计数

器IPCI_CNT开始计数；

步骤6.2:当计数器值为130时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet2中,同时线程B将packet1中数据整体拷贝到显存packet中,计数器IPCI_CNT继续计数；

步骤6.3:当计数器IPCI_CNT为260时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet1中,同时线程B将packet2中数据整体拷贝到显存packet中；

步骤6.4:计数器IPCI_CNT置零,重复步骤6.1-步骤6.3,实现数据连续传输；

步骤7:当数据拷贝至GPU显存packet后,启动信号处理主线程,借助GPU并行运算特性,在GPU端对参考信号重构、杂波抑制、匹配滤波、数字波束形成和目标检测进行并行化加速处理；

其具体实现包括以下子步骤：

步骤7.1:选取参考通道基带信号,并利用该通道基带数据在GPU端完成信号重构,重构同步峰值和星座映射上传至软件显示界面,用于实时监控信号重构质量；

步骤7.2:继续对多通道基带信号进行通道校准,并将校准后的多通道基带信号进行分载波杂波抑制,得到杂波抑制后监测信号；

步骤7.3:利用步骤7.1中的重构信号和步骤7.2中杂波抑制后的监测信号进行匹配滤波,得到距离多普勒谱；

步骤7.4:将步骤7.3中得到的距离多普勒谱进行数字波束形成,得到多波束扫描数据,选取对应于阵列法向的波束数据上传至软件显示界面,用于实时监控杂波抑制效果；

步骤7.5:对波束形成后的各波束进行峰值检测,检测出各波束中的所有峰值,并对所有峰值进行恒虚警检测,去除虚假目标,再对所有波束检测出的目标进行查重,得到最终检测后的目标；

步骤7.6:对步骤7.5检测到的目标进行到达角估计,得到检测后目标的方位角；

步骤8:将最终得到的目标双基距离、双基速度和方位角拷贝至CPU端,在CPU端,对目标进行航迹起始,维持和终结,得到最终目标航迹值,并通过UDP传输协议,将维持和终结航迹传输至雷达PPI显示界面,用于实时显示目标航迹；

步骤9:重复步骤7-步骤8,在线程A或B缓存一场数据时间段内,主线程完成实时信号处理部分,达到实时监测的目的。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述数据传输单元包括光纤板卡,数据接收单元中经并串转换后的基带信号经两路光纤线传输至光纤板卡,光纤板卡对串行信号解包,等待实时信号处理单元中断响应。

3.根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述实时信号处理单元包括参考信号重构模块、杂波抑制模块、匹配滤波模块、数字波束形成模块、目标检测模块、到达角估计模块、定位跟踪模块；

数据传输单元送入的参考信号经过所述参考信号重构模块重构;数据传输单元送入的监测信号利用重构后的参考信号依次通过所述杂波抑制模块、匹配滤波模块、数字波束形成模块、目标检测模块、到达角估计模块,进行杂波抑制和匹配滤波,继而对匹配滤波后的距离多普勒谱进行数字波束形成、目标检测以及到达角估计;所述定位跟踪模块将得到的目标双基距离、双基速度以及到达角进行目标定位与跟踪,得到目标航迹。

4.根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述终端显控单元包括软件显示界面和雷

达PPI显示界面；

所述软件显示界面，用于实时监测信号同步峰值、信号重构质量、杂波抑制效果和目标检测结果，同时监控实时化处理时间和各种软件异常显示；

所述雷达PPI显示界面用于显示实时信号处理单元获得的目标真实航迹，航迹数据经UDP协议传输至显示界面，包括目标距离、速度和航向。

5. 根据权利要求1-4任意一项所述的方法，其特征在于：所述数据接收单元中的多阵元天线，其中一根八木天线正对发射源，用于接收参考信号，剩余八木天线以等间隔排列组成线阵阵列天线，正对感兴趣的目标区域，该天线阵总覆盖范围约为 120° ；

所述数据接收单元中的模拟接收机，包括限幅器、放大器、滤波器、混频器和电调衰减器，多阵元天线接收的射频信号均通过前端内独立的限幅器限幅、放大器放大和滤波器滤波后，利用两级混频器将每路信号混频至固定中频，其中电调衰减器用于控制各通道增益；

所述数据接收单元中的数字接收机，采用高分辨率低噪声ADC模块实现模拟信号向数字信号转换，用两片FPGA处理器实现数字下变频，将下变频后的信号做并串转换得到串行的数字基带信号。

6. 根据权利要求1所述的基于外辐射源雷达无人机实时监测方法，其特征在于，步骤7.1中的参考信号重构，包括以下步骤：

步骤7.1.1：在GPU端，利用同步信号对参考通道基带信号进行粗同步；

步骤7.1.2：对步骤7.1.1中粗同步后的基带信号进行小数倍频偏估计与补偿，再对频偏补偿后的基带信号进行整数倍频偏估计与补偿；

步骤7.1.3：对步骤7.1.2中频偏补偿后的基带信号进行符号精同步，得到同步信号的起点位置；

步骤7.1.4：利用步骤7.1.3中得到的同步信号起点取OFDM符号数据体部分，对数据体部分在时频二维进行插值运算得到信道响应；

步骤7.1.5：利用步骤7.1.4中的信道响应对参考信号进行信道均衡，均衡后有效数据体部分上传至软件显示界面，用于实时监控参考信号重构质量；

步骤7.1.6：对步骤7.1.5中信道均衡后的参考信号数据进行硬判决，生成最终重构的参考信号。

7. 根据权利要求1所述的基于外辐射源雷达无人机实时监测方法，其特征在于，步骤7.2中的杂波抑制，包括以下步骤：

步骤7.2.1：在GPU端，取出经通道相位校准后的多通道基带信号中OFDM符号有效数据体部分，并进行FFT变换到频域；

步骤7.2.2：分离出步骤7.2.1中的频域OFDM符号每个子载波，形成子载波 \times 监测通道数的子矩阵；

步骤7.2.3：对步骤7.2.2中的每个子矩阵进行SVD分解，得到杂波子空间和信号子空间，将子矩阵投影到信号子空间，得到杂波抑制后的子载波 \times 监测通道数的子矩阵；

步骤7.2.4：对所有杂波抑制后的子矩阵进行组合，将组合后的频域OFDM符号进行IFFT变换到时域，得到经分载波杂波抑制后的监测信号。

8. 根据权利要求1所述的基于外辐射源雷达无人机实时监测方法，其特征在于，步骤7.6中的到达角估计，包括以下步骤：

步骤7.6.1:对匹配滤波中的时域互相关结果进行滑窗,得到各个子窗的时域互相关数据;

步骤7.6.2:对各子窗时域互相关数据在慢时间维FFT,得到滑窗后的各个子窗距离多普勒谱;

步骤7.6.3:利用检测后的目标距离和多普勒信息,在各个子窗距离多普勒谱中提取对应位置的目标值,形成通道数 \times 子窗数的目标矩阵;

步骤7.6.4:结合MUSIC算法,利用步骤7.6.3中的目标矩阵进行到达角估计,得到目标的方位角信息。

一种基于外辐射源雷达无人机实时监测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于外辐射源雷达技术领域,涉及一种基于数字电视信号的外辐射源雷达无人机实时监测系统和实时信号处理方法,可基于异构架构程序设计,在VC+CUDA软件开发平台下实现实时信号处理,对小型无人机实现实时监测。

背景技术

[0002] 近年来,无人机擅闯敏感区域的新闻频频见诸报端,美国白宫、韩国青瓦台、日本首相官邸等安保要地都曾发生无人机侵入事件。2016年5月28日傍晚,“黑飞”无人机逼停成都双流机场55个航班,严重扰乱了机场飞行秩序。事实证明,无人机正在成为不法分子窃取秘密情报、危害国家和社会安全的新工具。需要指出的是,侵入上述要地的大部分无人机均为消费级无人机。这些无人机成本较低、易于获取、操控简单、用户数量多、,监管难度大,极易被不法分子利用,给安保、保密、监控工作带来很大压力。

[0003] 由于相关法规不健全,监管缺失,在消费级无人机市场迎来井喷式发展的今天,解决无人机监控问题已成为航空安全、社会安全、公众安全的必要保障。消费级无人机飞行高度低、飞行速度慢、体积小,是典型的低、慢、小目标,目前针对此类目标的监控手段主要包括光电探测和雷达探测等,其中光电探测使用图像识别和视频跟踪技术,实时监控被监测区域,但该监控手段受环境天气的影响,不能实现全天候连续监测,且监测范围小。雷达探测利用无人机电磁散射和反射回波,可实现大范围全天候连续监测,但对于传统雷达,要实现大范围全天候监测,需要连续发射大功率电磁波,这不仅在城市环境中不被接受,而且大大增加了系统成本与复杂度。

[0004] 外辐射源雷达本身不发射电磁波,它利用环境中存在的广播、电视和通信等外辐射源实现目标探测和跟踪,是一种频谱节约、环境友好、成本低廉、部署灵活、易于组网的新体制雷达,该体制雷达采用相干处理技术,即设置参考通道和监测通道,分别用来接收参考信号和目标回波信号,然后经过杂波抑制和匹配滤波得到距离多普勒谱,从而实现目标的检测与跟踪。基于低空覆盖的外辐射源信号,该体制雷达为低空空域监测提供了一种有力手段,可用于消费级无人机的监测。

[0005] 目前外辐射源雷达的信号处理实现算法主要是通过离线采集数据,借助于MATLAB工具进行数据分析与处理。由于数字电视信号带宽相对较大,在外辐射源雷达信号处理过程中常常面临数据量、计算量巨大的问题,对高速实时信号处理平台提出了巨大挑战。传统的雷达实时信号处理一般采用基于可编程逻辑器件(FPGA)和高速数字信号处理器件(DSP)等微处理器的方案,其具有处理速度快、容易满足实时性要求等优点,但同时具有开发难度大、周期长、后期维护或升级困难等缺点。由于一般单片处理器无法满足高复杂度信号处理的需求,常常需要通过联合利用多片处理器进行处理,这大大增加了设备成本。

发明内容

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明提出了一种基于数字电视信号的外辐射源雷达无

人机实时监测系统及方法,利用GPU强大的并行运算能力,为小型无人机的实时监控提供了一种频率节约、环境友好的解决方案。

[0007] 本发明的系统所采用的技术方案是:一种基于外辐射源雷达无人机实时监测系统,其特征在于:包括数据接收单元、数据传输单元、实时信号处理单元、终端显控单元;

[0008] 所述数据接收单元用于接收发射源的参考信号和无人机反射的监测信号,并将信号通过所述数据传输单元输入所述实时信号处理单元;通过所述实时信号处理单元处理后,得到无人机航迹,并在所述终端显控单元上实时显示。

[0009] 本发明的方法所采用的技术方案是:一种基于外辐射源雷达无人机实时监测方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0010] 步骤1:系统参数初始化,分配内存和显存空间,初始化光纤板卡;

[0011] 具体包括以下子步骤:

[0012] 步骤1.1:初始化系统参数,输入信号处理参数,检测参数和跟踪参数;

[0013] 其中信号处理参数包括累积时间、雷达工作频率、信号采样率、阵元个数、波束扫描范围、波束扫描间隔和阵列流型;检测参数包括虚警概率、检测范围;恒虚警检测保护单元和参考单元个数;跟踪参数包括数据更新率、双基雷达基线长度、阵列法线方位、基线方位和卡尔曼滤波中点迹关联概率;

[0014] 步骤1.2:初始化UDP传输协议,配置端口地址和端口号;

[0015] 步骤1.3:分配内存和显存空间,在CPU端分配两个相同长度内存packet1和packet2,定义数据包缓存计数器IPCI_CNT并初始化为0,在GPU端分配同样长度显存packet,作为并行信号处理数据入口;

[0016] 步骤1.4:初始化光纤板卡,等待数据传输;

[0017] 步骤2:模拟接收机通过多阵元天线接收环境中的数字电视信号,包括直达波信号,经运动目标反射回波信号,多径杂波以及噪声信号,并将多通道接收信号进行限幅、放大、滤波后下变频至固定中频;

[0018] 步骤3:数字接收机的GPS模块驯服的系统时钟为多通道数字接收机提供采样时钟,模拟接收机输出的中频信号经A/D采样、数字下变频和并串转换,最终生成基带信号;

[0019] 步骤4:光纤板卡在初始化成功以后,通过两路光纤线分别接收多路基带信号,该基带信号经解包后存储至光纤板卡自带的1.5MB固定缓存中,等待CPU端读取;

[0020] 步骤5:CPU端通过驱动程序,调用光纤板卡回调函数,通过写入脉冲信号启动光纤板卡数据向服务器传输函数;

[0021] 步骤6:建立双线程A和B,采用乒乓缓存方式,将光纤板卡1.5MB数据包依次上传至CPU端;

[0022] 其具体实现包括以下子步骤:

[0023] 步骤6.1:线程A先将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet1,数据包缓存计数器IPCI_CNT开始计数;

[0024] 步骤6.2:当计数器值为130时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet2中,同时线程B将packet1中数据整体拷贝到显存packet中,计数器IPCI_CNT继续计数;

[0025] 步骤6.3:当计数器IPCI_CNT为260时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定

内存packet1中,同时线程B将packet2中数据整体拷贝到显存packet中;

[0026] 步骤6.4:计数器IPCI_CNT置零,重复步骤6.1-步骤6.3,实现数据连续传输;

[0027] 步骤7:当数据拷贝至GPU显存packet后,启动信号处理主线程,借助GPU并行运算特性,在GPU端对参考信号重构、杂波抑制、匹配滤波、数字波束形成和目标检测进行并行化加速处理;

[0028] 其具体实现包括以下子步骤:

[0029] 步骤7.1:选取参考通道基带信号,并利用该通道基带数据在GPU端完成信号重构,重构同步峰值和星座映射上传至软件显示界面,用于实时监控信号重构质量;

[0030] 步骤7.2:继续对多通道基带信号进行通道校准,并将校准后的多通道基带信号进行分载波杂波抑制,得到杂波抑制后监测信号;

[0031] 步骤7.3:利用步骤7.1中的重构信号和步骤7.2中杂波抑制后的监测信号进行匹配滤波,得到距离多普勒谱;

[0032] 步骤7.4:将步骤7.3中得到的距离多普勒谱进行数字波束形成,得到多波束扫描数据,选取对应于阵列法向的波束数据上传至软件显示界面,用于实时监控杂波抑制效果;

[0033] 步骤7.5:对波束形成后的各波束进行峰值检测,检测出各波束中的所有峰值,并对所有峰值进行恒虚警检测,去除虚假目标,再对所有波束检测出的目标进行查重,得到最终检测后的目标;

[0034] 步骤7.6:对步骤7.5检测到的目标进行到达角估计,得到检测后目标的方位角;

[0035] 步骤8:将最终得到的目标双基距离、双基速度和方位角拷贝至CPU端,在CPU端,对目标进行航迹起始,维持和终结,得到最终目标航迹值,并通过UDP传输协议,将维持和终结航迹传输至雷达PPI显示界面,用于实时显示目标航迹;

[0036] 步骤9:重复步骤7-步骤8,在线程A或B缓存一场数据时间段内,主线程完成实时信号处理部分,达到实时监测的目的。

[0037] 本发明具有如下优点:

[0038] 1. 频率节约,无电磁污染;

[0039] 2. 全天候连续监控;

[0040] 3. 利用数字电视信号,低空覆盖能力好;

[0041] 4. 利用GPU并行运算能力,数据处理速度快,数据更新率高,可实时监控;

[0042] 5. 信号处理模块结构简单、开发周期短、可维护性强;

[0043] 6. 系统无发射机模块,开发成本低;

[0044] 7. 系统组网能力强;

[0045] 8. 对于低慢小目标具有有效的监测和跟踪能力。

附图说明

[0046] 图1为本发明实施例的系统结构原理示意图;

[0047] 图2为本发明实施例的系统中模拟接收机结构原理示意图;

[0048] 图3为本发明实施例的系统中数字接收机结构原理示意图;

[0049] 图4为本发明实施例的方法流程图;

[0050] 图5为本发明实施例的方法中光纤板卡数据传输流程图;

- [0051] 图6为本发明实施例的方法中软件显示界面示意图；
- [0052] 图7为本发明实施例的方法中杂波抑制前的距离多普勒谱图；
- [0053] 图8为本发明实施例的方法中杂波抑制和波束形成后的距离多普勒谱图；
- [0054] 图9为本发明实施例的方法中无人机目标实时航迹监测图。

具体实施方式

[0055] 为了便于本领域普通技术人员理解和实施本发明,下面结合附图及实施例对本发明作进一步的详细描述,应当理解,此处所描述的实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0056] 近几年,GPU以其极高的性价比、强大的浮点运算和并行处理能力,成为了低成本的外辐射源雷达实时信号处理方案的首选,目前基于GPU的通用计算编程模型主要有CUDA、OpenCL、DirectCompute、AMD APP和Brook GPU。其中,基于C语言编程的CUDA是发展最为成熟、市场份额最大的通用计算解决方案,其具有成本低廉、结构简单、开发周期短、可维护性强等优点。

[0057] 请见图1,本发明提供一种基于外辐射源雷达无人机实时监测系统,包括数据接收单元、数据传输单元、实时信号处理单元、终端显控单元;数据接收单元用于接收发射源的参考信号和无人机反射的监测信号,并将信号通过数据传输单元输入实时信号处理单元;通过实时信号处理单元处理后,得到无人机航迹,并在终端显控单元上实时显示。

[0058] 数据接收单元包括多阵元天线、模拟接收机和数字接收机;多阵元天线,用于接收数字电视信号,多路信号经电缆传输至模拟接收机;模拟接收机,用于接收多阵元天线输出的多路信号,并对这多路信号依次进行限幅、放大、滤波后下变频至固定中频;数字接收机,对模拟接收机前段输出的中频信号进行A/D采样、数字下变频和并串转换,最终生成基带信号,并通过两路光纤线输入数据传输单元。

[0059] 本实施例中,多阵元天线分为参考天线和监测天线两部分,其中参考天线为一垂直极化八木天线,正对发射源,用于接收参考信号。监测天线采用多元八木天线组成均匀线阵,阵面间距0.2m,天线单元为垂直极化,阵列总覆盖范围约为120°;

[0060] 多元阵接收的数字电视信号,该信号为广泛存在的中国移动多媒体广播(CMMB)信号和地面数字多媒体广播(DTMB)信号,阵元输出信号包括直达波信号,经运动目标反射回波信号,多径杂波以及噪声信号。

[0061] 本实施例中,模拟接收机包括限幅器、放大器、滤波器、衰减器、混频器和温度补偿器;图2是模拟接收机的一种实施方案。该模拟接收前端首先对输入射频信号限幅,再采用二次混频、固定中频方案,降低了系统复杂度;在混频前加入高增益的低噪声放大器,降低了接收机内部噪声;在低噪声放大器之后混频器之前加入带通滤波器和电调衰减器,抑制带外噪声同时防止混频器产生非线性失真;最终输出60MHz固定中频;

[0062] 本实施例中,数字接收机包括多个高分辨率低噪声ADC模块,两片大规模FPGA芯片,一个ARM芯片,一个GPS信息获取模块和两路光纤收发模块。图3是数字接收机的一种实施方案。数字接收机的多个ADC模块分为两组,对模拟前端输出的中频信号进行AD采样,输出端分别与两片FPGA芯片相连;FPGA芯片选用Altera公司的EP2AGX125EF35I5,其内部包括AD数据接收模块、数字下变频模块、数据串并转换模块、光纤收发模块和与ARM通信接口模

块,其中AD数据接收模块接收ADC采样后的数字信号,通过数字下变频模块处理降低数据率,数据串并转换模块将下变频后的多路数据合并成一路串行数据,输出至光纤收发模块。GPS信息获取模块采用时间频率测控技术驯服高稳定度晶振,将GPS的长期稳定性与高稳晶振的短期稳定性相结合,提供高精度的采样时钟和时间频率基准。ARM芯片选用LPC2292,用于接收GPS模块获取的基准时间信息、本地经纬度位置信息,并解析数据后传送至FPGA,同时与FPGA通信。

[0063] 本实施例中,数字接收机中光纤收发模块接收到的两路串行数据经过光纤线传输至光纤板卡,经过光纤板卡内部的FPGA芯片解包,将串行数据解包为并行数据,存储至光纤板卡自带的1.5MB缓存中,等待服务器数据读取响应。

[0064] 本实施例的数据传输单元包括光纤板卡,数据接收单元中经并串转换后的基带信号经两路光纤线传输至光纤板卡,光纤板卡对串行信号解包,等待实时信号处理单元中断响应。

[0065] 实时信号处理单元包括参考信号重构模块、杂波抑制模块、匹配滤波模块、数字波束形成模块、目标检测模块、到达角估计模块、定位跟踪模块;数据传输单元送入的参考信号经过参考信号重构模块重构;数据传输单元送入的监测信号利用重构后的参考信号依次通过杂波抑制模块、匹配滤波模块、数字波束形成模块、目标检测模块、到达角估计模块,进行杂波抑制和匹配滤波,继而对匹配滤波后的距离多普勒谱进行数字波束形成、目标检测以及到达角估计;定位跟踪模块将得到的目标双基距离、双基速度以及到达角进行目标定位与跟踪,得到目标航迹。

[0066] 本实施例的实时信号处理单元基于异构系统架构,CPU端控制数据的传输,用于读取从数据传输单元解包的数字基带信号,该基带信号从CPU端拷贝到GPU端,在GPU端,利用专用GPU计算卡并行运算,对特定一路基带信号进行信号重构,利用重构后的参考信号进行杂波抑制和匹配滤波,继而对匹配滤波后的距离多普勒谱进行数字波束形成、目标检测以及到达角估计,将得到的目标双基距离,双基速度以及到达角拷贝到CPU端进行目标定位与跟踪,得到目标航迹。航迹信息通过UDP协议传输到雷达PPI显示界面进行航迹实时显示;

[0067] 本实施例中,终端显控单元包括软件显示界面和雷达PPI显示界面,该软件显示界面,用于实时监测信号同步峰值、信号重构质量、杂波抑制效果和目标检测结果,同时监控实时化处理时间和各种软件异常显示;该雷达PPI显示界面用于显示实时信号处理单元获得的目标真实航迹,该航迹数据经UDP协议传输至显示界面,包括目标距离、速度和航向等。

[0068] 请见图4,本发明提供一种基于外辐射源雷达无人机实时监测方法,包括以下步骤:

[0069] 步骤1:系统参数初始化,分配内存和显存空间,初始化光纤板卡;

[0070] 具体包括以下子步骤:

[0071] 步骤1.1:初始化系统参数,输入信号处理参数,检测参数和跟踪参数;

[0072] 其中信号处理参数包括累积时间、雷达工作频率、信号采样率、阵元个数、波束扫描范围、波束扫描间隔和阵列流型;检测参数包括虚警概率、检测范围;恒虚警检测保护单元和参考单元个数;跟踪参数包括数据更新率、双基雷达基线长度、阵列法线方位、基线方位和卡尔曼滤波中点迹关联概率;

[0073] 本实施例中,信号处理参数包括:累积时间为0.8s、雷达工作频率为658MHz、信号

采样率为10MHz、阵元个数为6个、波束扫描范围 -56° 到 $+56^{\circ}$ 、波束扫描间隔为 8° 、阵列流型为均匀线阵；检测参数包括：虚警概率 $1E-7$ 、检测范围距离元0到512、多普勒元-128到128、恒虚警检测距离维和多普勒维保护单元均为4、距离维和多普勒维参考单元均为20；跟踪参数包括：数据更新率0.85s、双基雷达基线长度7.5Km、阵列法线方位 50.3° 、基线方位 284.4° 、卡尔曼滤波中点迹关联概率为10.597；

[0074] 步骤1.2:初始化UDP传输协议,配置端口地址和端口号；

[0075] 步骤1.3:分配内存和显存空间,在CPU端分配两个相同长度内存packet1和packet2,定义数据包缓存计数器IPCI_CNT并初始化为0,在GPU端分配同样长度显存packet,作为并行信号处理数据入口；

[0076] 本实施例中,在CPU端分配两个相同长度内存packet1和packet2,大小均为195MB,数据长度0.85s,定义数据包缓存计数器IPCI_CNT并初始化为0,在GPU端分配同样长度显存packet,作为并行信号处理数据入口；

[0077] 步骤1.4:初始化光纤板卡,等待数据传输；

[0078] 步骤2:模拟接收机通过多阵元天线接收环境中的数字电视信号,包括直达波信号,经运动目标反射回波信号,多径杂波以及噪声信号,并将多通道接收信号进行限幅、放大、滤波后下变频至固定中频；

[0079] 本实施例中,接收信号中参考和监测信号经过限幅、放大、滤波和二次混频变为60MHz的固定中频后采用80MHz频率带通采样,然后经数字下变频输出采样率为10MHz的基带信号。

[0080] 步骤3:数字接收机的GPS模块驯服的系统时钟为多通道数字接收机提供采样时钟,模拟接收机输出的中频信号经A/D采样、数字下变频和并串转换,最终生成基带信号；

[0081] 步骤4:光纤板卡在初始化成功以后,通过两路光纤线分别接收多路基带信号,该基带信号经解包后存储至光纤板卡自带的1.5MB固定缓存中,等待CPU端读取；

[0082] 本实施例中,光纤板卡在初始化成功以后,通过两路光纤线分别接收三路基带信号,该基带信号经解包后存储至光纤板卡自带的1.5MB固定缓存中,等待CPU端读取；

[0083] 步骤5:CPU端通过驱动程序,调用光纤板卡回调函数,通过写入脉冲信号启动光纤板卡数据向服务器传输函数；

[0084] 步骤6:建立双线程A和B,采用乒乓缓存方式,将光纤板卡1.5MB数据包依次上传至CPU端；

[0085] 图5为光纤板卡数据传输流程图,其具体实现包括以下子步骤：

[0086] 步骤6.1:线程A先将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet1,数据包缓存计数器IPCI_CNT开始计数；

[0087] 步骤6.2:当计数器值为130时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet2中,同时线程B将packet1中数据整体拷贝到显存packet中,计数器IPCI_CNT继续计数；

[0088] 步骤6.3:当计数器IPCI_CNT为260时,线程A将光纤板卡1.5MB数据包存储到固定内存packet1中,同时线程B将packet2中数据整体拷贝到显存packet中；

[0089] 步骤6.4:计数器IPCI_CNT置零,重复步骤6.1-步骤6.3,实现数据连续传输；

[0090] 步骤7:当数据拷贝至GPU显存packet后,启动信号处理主线程,借助GPU并行运算

特性,在GPU端对参考信号重构、杂波抑制、匹配滤波、数字波束形成和目标检测进行并行化加速处理;

[0091] 其具体实现包括以下子步骤:

[0092] 步骤7.1:选取参考通道基带信号,并利用该通道基带数据在GPU端完成信号重构,重构同步峰值和星座映射上传至软件显示界面,用于实时监控信号重构质量;

[0093] 参考信号重构的具体实现包括以下子步骤:

[0094] 步骤7.1.1:在GPU端,利用同步信号对参考通道基带信号进行粗同步;

[0095] 步骤7.1.2:对步骤7.1.1中粗同步后的基带信号进行小数倍频偏估计与补偿,再对频偏补偿后的基带信号进行整数倍频偏估计与补偿;

[0096] 步骤7.1.3:对步骤7.1.2中频偏补偿后的基带信号进行符号精同步,得到同步信号的起点位置;

[0097] 步骤7.1.4:利用步骤7.1.3中得到的同步信号起点取OFDM符号数据体部分,对数据体部分在时频二维进行插值运算得到信道响应;

[0098] 步骤7.1.5:利用步骤7.1.4中的信道响应对参考信号进行信道均衡,均衡后有效数据体部分上传至软件显示界面,用于实时监控参考信号重构质量;

[0099] 步骤7.1.6:对步骤7.1.5中信道均衡后的参考信号数据进行硬判决,生成最终重构的参考信号。

[0100] 本实施例中,参考信号重构选取通道1的基带信号完成。首先利用同步信号进行粗同步,然后进行小数倍频偏估计和补偿以及整数倍频偏估计和补偿,利用补偿后的同步信号完成精同步,再在时频二维完成信道估计,对信道均衡后的数据进行硬判决,最后通过OFDM符号调制成参考信号。

[0101] 步骤7.2:继续对多通道基带信号进行通道校准,并将校准后的多通道基带信号进行分载波杂波抑制,得到杂波抑制后监测信号;其具体实现包括以下子步骤:

[0102] 杂波抑制的具体实现包括以下步骤:

[0103] 步骤7.2.1:在GPU端,取出经通道相位校准后的多通道基带信号中OFDM符号有效数据体部分,并进行FFT变换到频域;

[0104] 步骤7.2.2:分离出步骤7.2.1中的频域OFDM符号每个子载波,形成子载波 \times 监测通道数的子矩阵;

[0105] 步骤7.2.3:对步骤7.2.2中的每个子矩阵进行SVD分解,得到杂波子空间和信号子空间,将子矩阵投影到信号子空间,得到杂波抑制后的子载波 \times 监测通道数的子矩阵;

[0106] 步骤7.2.4:对所有杂波抑制后的子矩阵进行组合,将组合后的频域OFDM符号进行IFFT变换到时域,得到经分载波杂波抑制后的监测信号。

[0107] 本实施例取相当长一段时间的数据做信号处理,针对低慢小的无人机目标,长时间累积用于提高目标信噪比;长时间累积,不同于强散射体飞行目标探测,针对无人机目标低慢小的特征,长时间累积有利于提高目标信噪比,便于后期的目标检测;

[0108] 本实施例中,基于空域分载波处理来抑制直达波和多径杂波。首先取出经通道相位校准后的多通道基带信号中OFDM符号有效数据体部分,并进行FFT变换到频域;分离出频域OFDM符号每个子载波,形成子载波监测通道数的子矩阵;对每个子矩阵进行SVD分解,得到杂波子空间和信号子空间,将子矩阵投影到信号子空间,得到杂波抑制后的子载波监测

通道数子矩阵;对所有杂波抑制后的子矩阵进行组合,将组合后的频域OFDM符号进行IFFT变换到时域,得到经分载波杂波抑制后的监测信号。

[0109] 步骤7.3:利用步骤7.1中的重构信号和步骤7.2中杂波抑制后的监测信号进行匹配滤波,得到距离多普勒谱;

[0110] 本实施例中,匹配滤波基于“快时间维相关-慢时间维FFT”算法。划分每个OFDM符号为快时间维,避免信号结构中的信标、循环前缀和保护间隔产生的副峰;累积时间为5332个OFDM符号(0.8s),速度分辨率为0.57m/s。

[0111] 步骤7.4:将步骤7.3中得到的距离多普勒谱进行数字波束形成,得到多波束扫描数据,选取对应于阵列法向的波束数据上传至软件显示界面,用于实时监控杂波抑制效果;

[0112] 步骤7.5:对波束形成后的各波束进行峰值检测,检测出各波束中的所有峰值,并对所有峰值进行恒虚警检测,去除虚假目标,再对所有波束检测出的目标进行查重,得到最终检测后的目标;

[0113] 本实施例中,目标检测采用峰值检测和恒虚警检测相结合的方法。峰值检测中被检测单元与相邻八个单元做比,数值最大即为峰值,遍历所有距离多普勒谱单元,找出所有疑似目标;对所有疑似目标进行OS-CFAR,其根据恒定的虚警率自适应的调整检测门限,若峰值大于检测门限即判定为目标。

[0114] 步骤7.6:对步骤7.5检测到的目标进行到达角估计,得到检测后目标的方位角;

[0115] 达角估计的具体实现包括以下步骤:

[0116] 步骤7.6.1:对匹配滤波中的时域互相关结果进行滑窗,得到各个子窗的时域互相关数据;

[0117] 步骤7.6.2:对各子窗时域互相关数据在慢时间维FFT,得到滑窗后的各个子窗距离多普勒谱;

[0118] 步骤7.6.3:利用检测后的目标距离和多普勒信息,在各个子窗距离多普勒谱中提取对应位置的目标值,形成通道数 \times 子窗数的目标矩阵;

[0119] 步骤7.6.4:结合MUSIC算法,利用步骤7.6.3中的目标矩阵进行到达角估计,得到目标的方位角信息。

[0120] 本实施例中,到达角估计采用时域滑窗加MUSIC算法相结合的方法。首先对匹配滤波中的时域互相关结果进行滑窗,得到各个子窗的时域互相关数据;然后对各子窗时域互相关数据在慢时间维FFT,得到滑窗后的各个子窗距离多普勒谱;利用检测后的目标距离和多普勒信息,在各个子窗距离多普勒谱中提取对应位置的目标值,形成通道数子窗数的目标矩阵;结合MUSIC算法,利用目标矩阵进行到达角估计,得到目标的方位角信息。

[0121] 步骤8:将最终得到的目标双基距离、双基速度和方位角拷贝至CPU端,在CPU端,对目标进行航迹起始,维持和终结,得到最终目标航迹值,并通过UDP传输协议,将维持和终结航迹传输至雷达PPI显示界面,用于实时显示目标航迹;

[0122] 本实施例中,目标跟踪在CPU端进行。基于双基地雷达模型,使用扩展卡尔曼滤波算法和全局最近邻域方法,对无人机目标进行跟踪。

[0123] 步骤9:重复步骤7-步骤8,在线程A或B缓存一场数据时间段内,主线程完成实时信号处理部分,达到实时监测的目的。

[0124] 图6为软件显示界面,实时监控信号同步峰值、信号重构质量、杂波抑制效果、目标

检测结果。

[0125] 目标航迹通过UDP协议传输至雷达PPI显示界面,实现目标航迹实时显示与监测。

[0126] 本发明实施例的效果可通过对无人机探测的外场实验进一步说明:

[0127] 图7为杂波抑制前的距离多普勒谱。在零多普勒元出,可见明显的直达波和多径杂波,强直达波和多径杂波使基底抬高淹没了目标;

[0128] 图8是杂波抑制和波束形成后的距离多普勒谱。可见经杂波抑制和数字波束形成后噪声基底降低,无人机目标凸显出来,为后期目标检测提供有利条件;

[0129] 图9为无人机目标实时航迹监测图。可见在无人机目标飞行过程中,本发明能够连续检测和跟踪无人机目标,实现实时监测的目的。

[0130] 应当理解的是,本说明书未详细阐述的部分均属于现有技术。

[0131] 应当理解的是,上述针对较佳实施例的描述较为详细,并不能因此而认为是对本发明专利保护范围的限制,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明权利要求所保护的范围情况下,还可以做出替换或变形,均落入本发明的保护范围之内,本发明的请求保护范围应以所附权利要求为准。

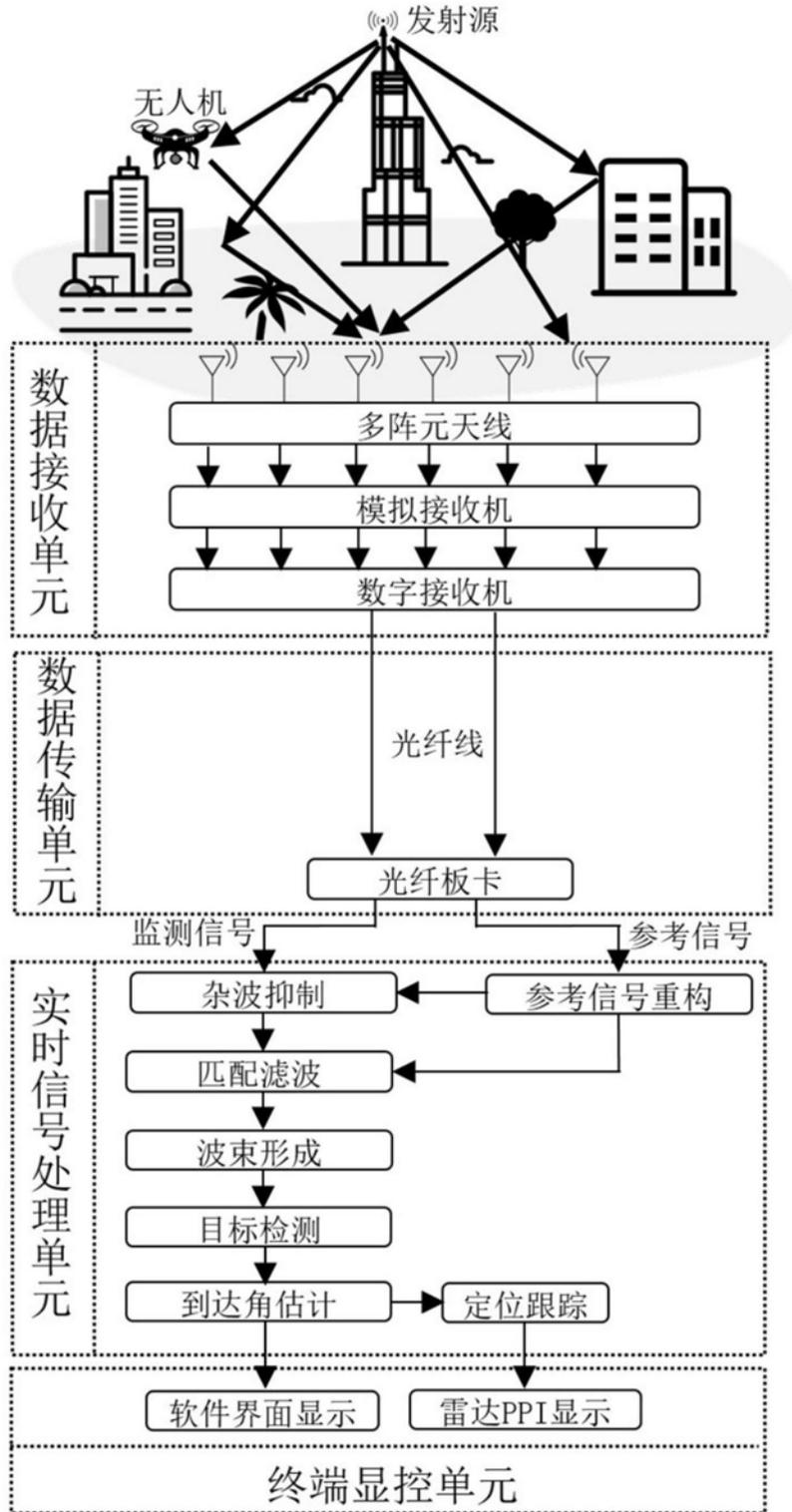


图1

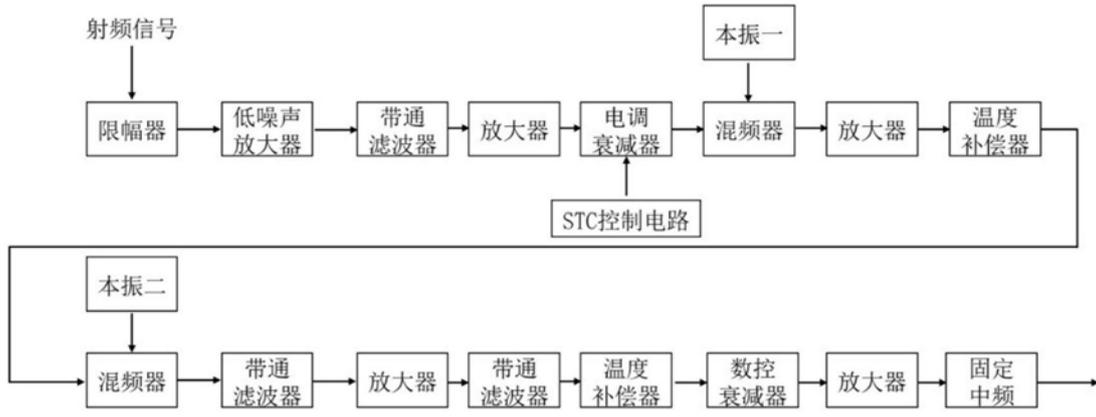


图2

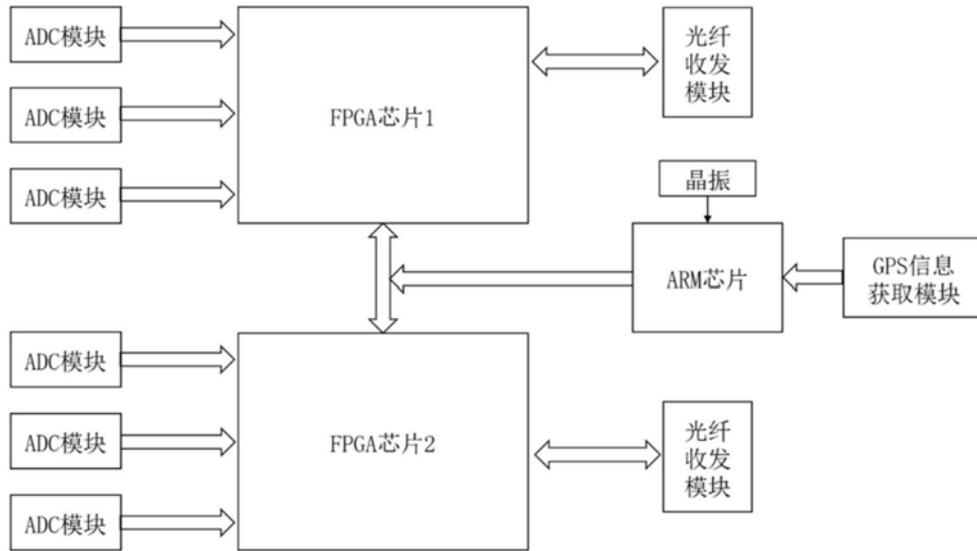


图3

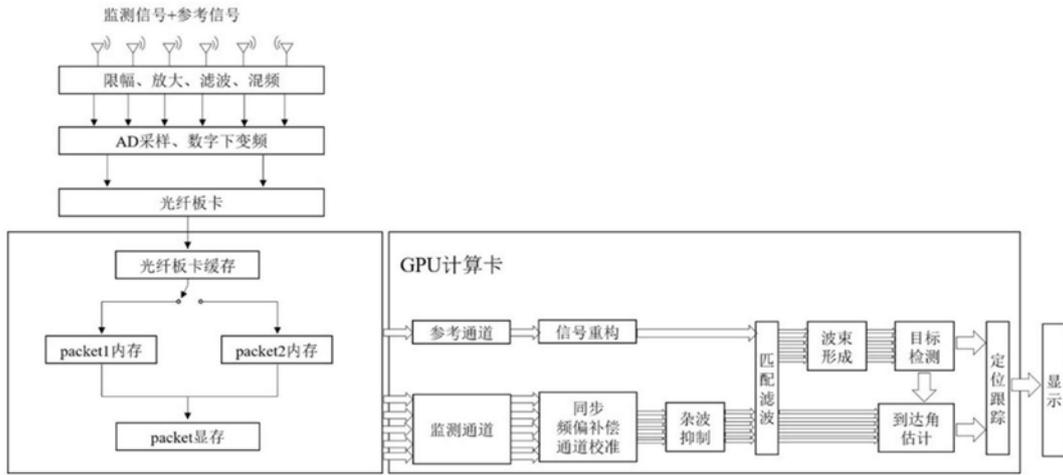


图4

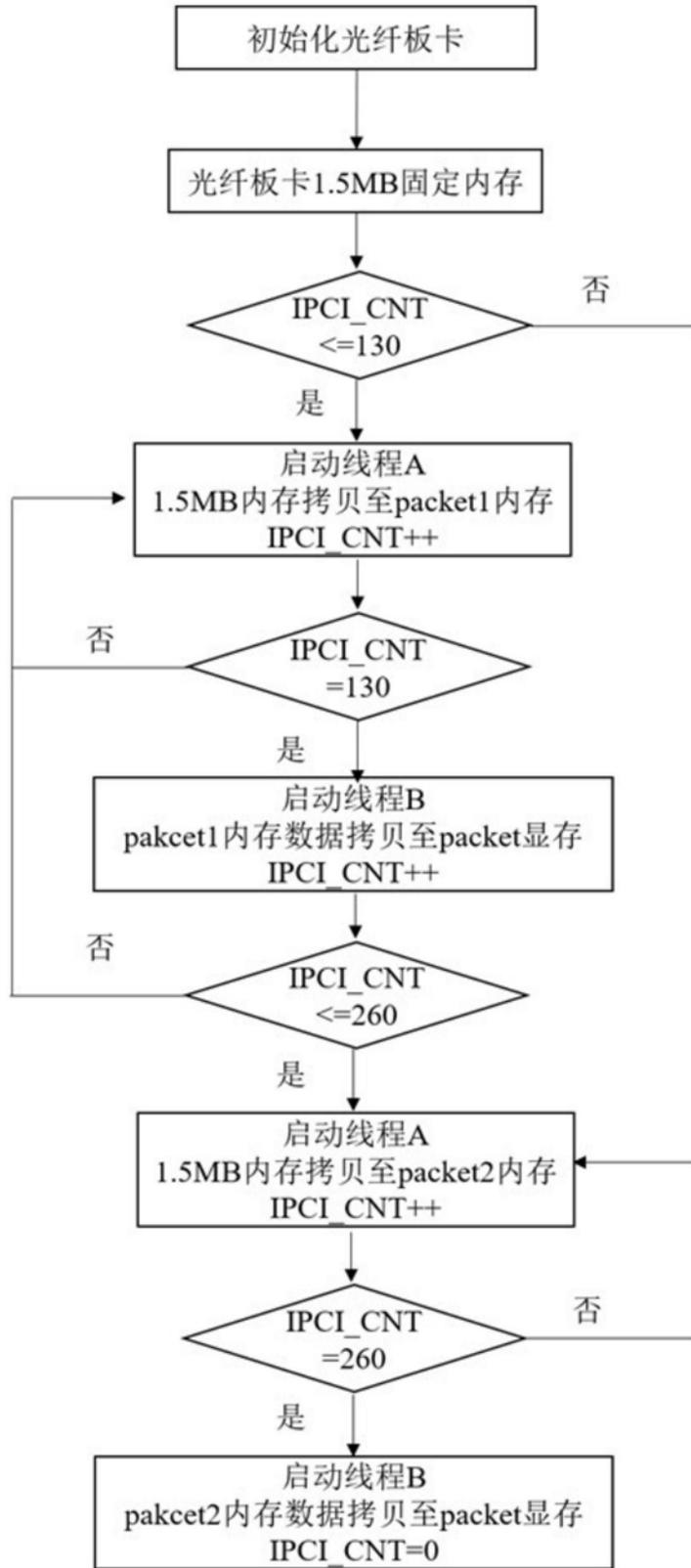


图5

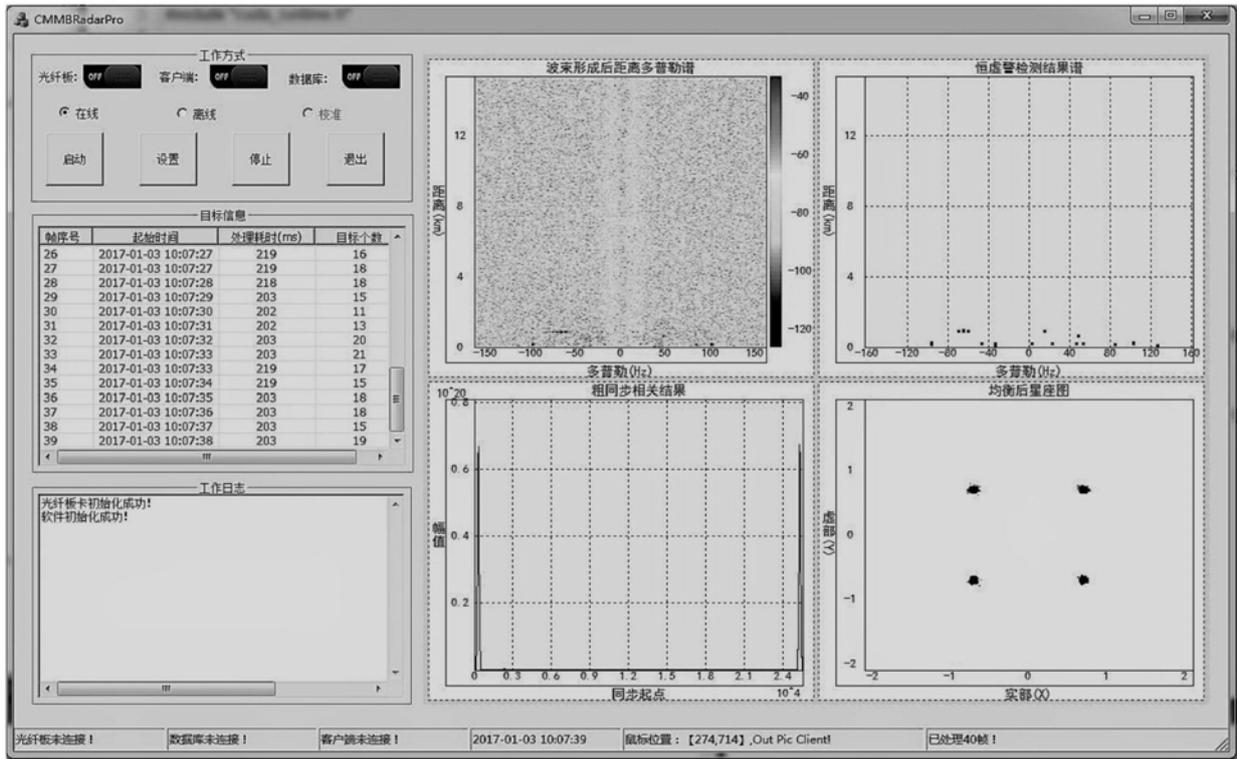


图6

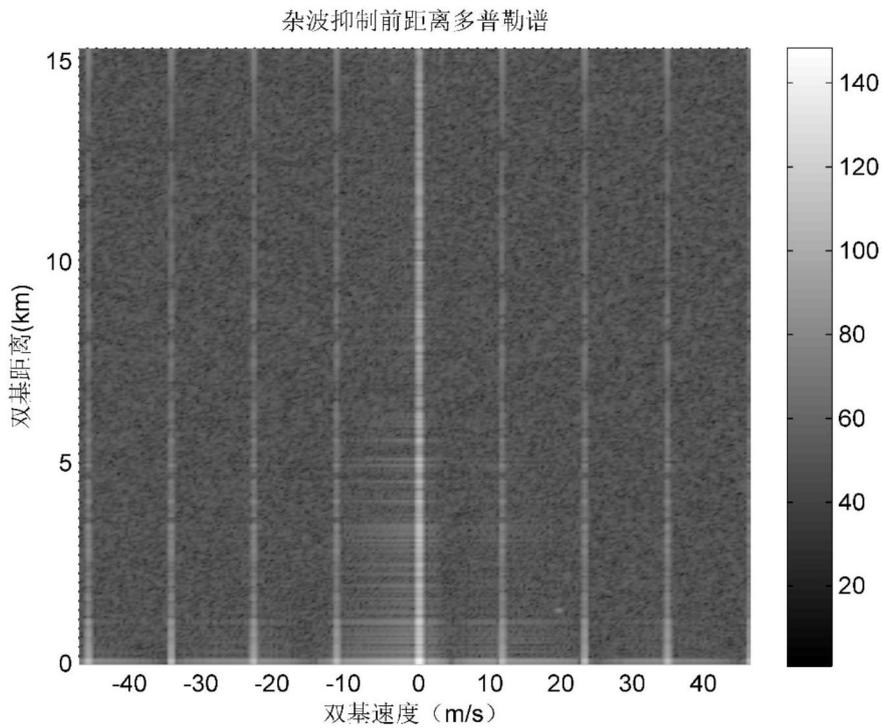


图7

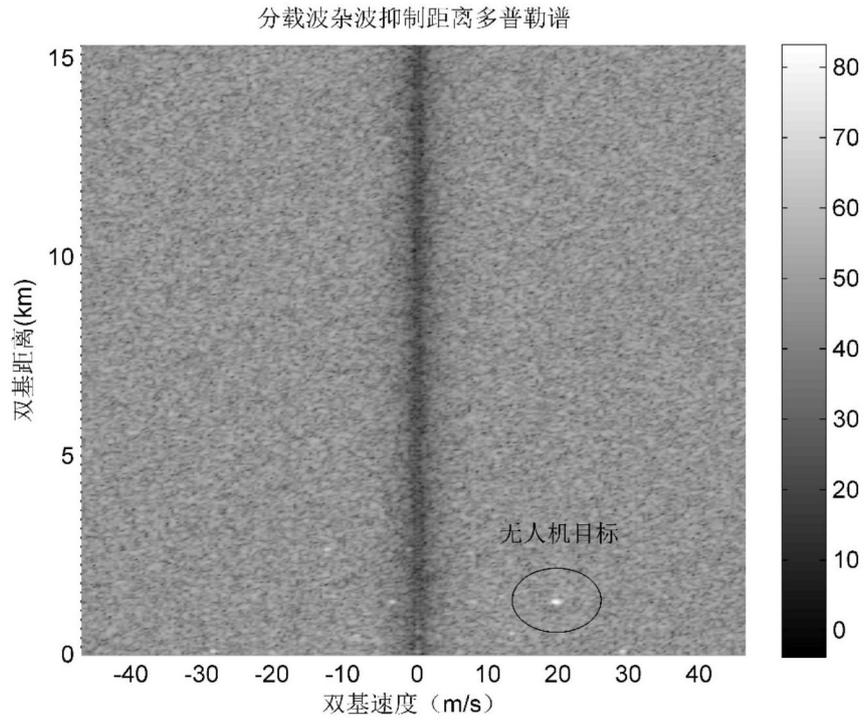


图8

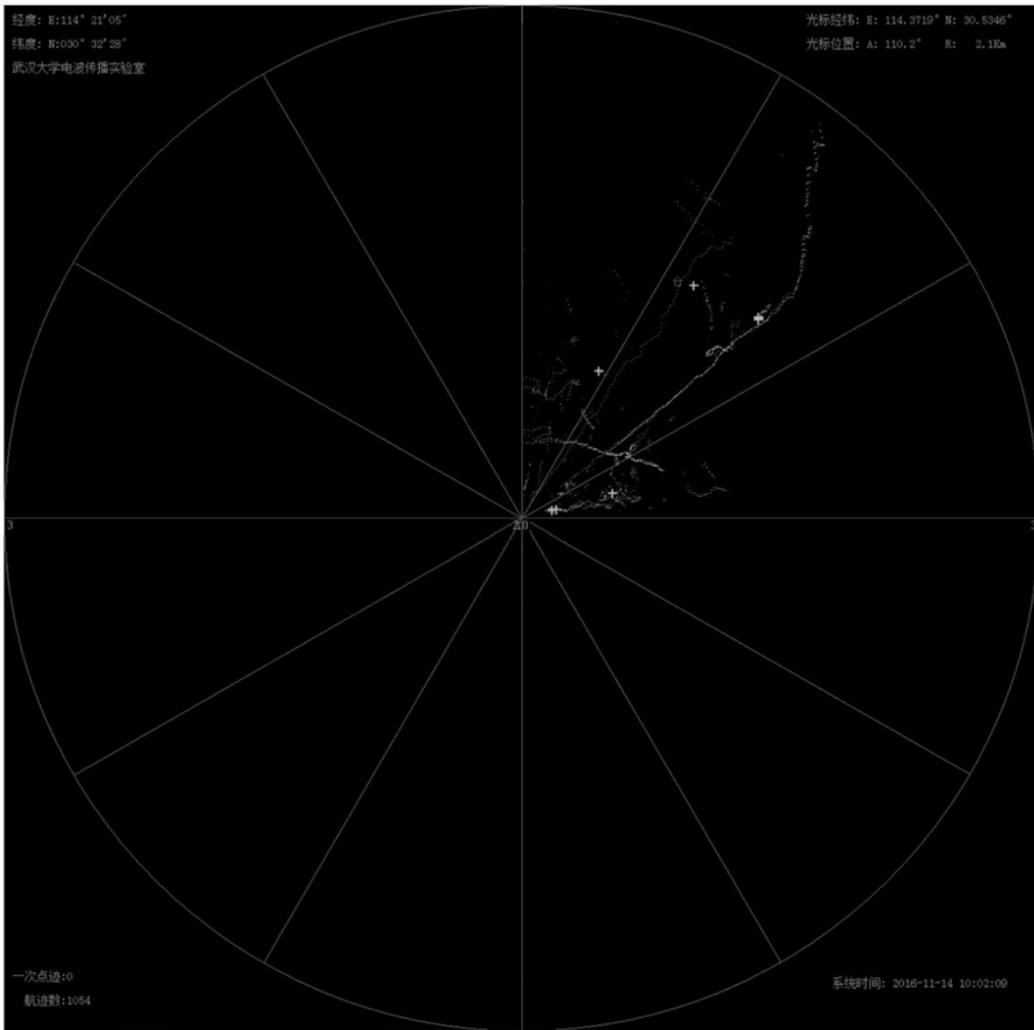


图9