



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104122555 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201410382495. 9

(22) 申请日 2014. 08. 06

(71) 申请人 上海无线电设备研究所
地址 200090 上海市杨浦区黎平路 203 号

(72) 发明人 陈潜 卢护林 夏礼诺

(74) 专利代理机构 上海信好专利代理事务所
(普通合伙) 31249

代理人 张妍 徐雯琼

(51) Int. Cl.

G01S 13/90 (2006. 01)

G06T 5/00 (2006. 01)

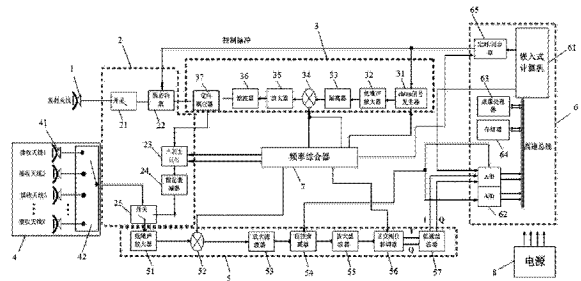
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置

(57) 摘要

一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,包含:发射天线;接收阵列控制开关矩阵,包含发射功放及内标模块,发射功放与发射天线连接;发射机,分别与发射功放及内标模块连接;阵列接收天线,与内标模块连接;接收机,包含依次连接的射频接收机和中频正交解调接收机;射频接收机与内标模块连接;数字信号处理及控制系统,与中频正交解调接收机连接;频率综合器,分别与内标模块、发射机、射频接收机、中频正交解调接收机及数字信号处理及控制系统连接。本发明能实现对飞行路线正前方及前下方目标的成像,满足低空空域飞行时,一般飞行器规避、低空障碍物规避和飞行器盲降等需求,有效解决民用低空飞行航空器低空飞行时的安全问题。



1. 一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,包含:

发射天线(1);

接收阵列控制开关矩阵(2),其包含发射功放以及内标模块;所述的发射功放与所述的发射天线(1)连接;

发射机(3),其分别与所述的发射功放以及内标模块连接;

阵列接收天线(4),其与所述的内标模块连接;

接收机(5),其包含依次连接的射频接收机和中频正交解调接收机;所述的射频接收机与所述的内标模块连接;

数字信号处理及控制系统(6),其与所述的中频正交解调接收机连接;

频率综合器(7),其分别与所述的内标模块、发射机(3)、射频接收机、中频正交解调接收机以及数字信号处理及控制系统(6)连接。

2. 如权利要求1所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的发射机(3)包含依次通过电路连接的 chirp 信号发生器(31),第一低噪声放大器(32),隔离器(33),上变频器(34),放大器(35),滤波器(36)以及定向耦合器(37);

所述的 chirp 信号发生器(31)以及上变频器(34)分别与所述的频率综合器(7)连接;

所述的 chirp 信号发生器(1)按工作时序产生线性调频脉冲信号,该信号经过第一低噪声放大器(32)以及隔离器(33)放大隔离之后,与频率综合器(7)提供的载频信号由上变频器(34)进行混频,再经由放大器(35)、滤波器(36)以及定向耦合器(37)的放大滤波后形成射频线性调频脉冲信号。

3. 如权利要求2所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的发射功放包含:

固态功放(21),其与所述的定向耦合器(37)连接;

第一开关(22),其分别与所述的固态功放(21)以及发射天线(1)连接;

所述的固态功放(21)通过定向耦合器(37)接收由发射机(3)形成的射频线性调频脉冲信号并将该信号进行功率放大,通过第一开关(22)由发射天线(1)向外发射。

4. 如权利要求3所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的内标模块包含:

声表面延迟单元(23),其与所述的定向耦合器(37)以及频率综合器(7)连接;

固定衰减器(24),其与所述的声表面延迟单元(23)连接;

第二开关(25),其分别与所述的固定衰减器(24)、切换矩阵(41)以及接收机(5)连接,该第二开关(25)的闭合触点可在固定衰减器(24)和切换矩阵(41)之间进行切换,控制选择由接收天线(42)接收到的回波信号或是由发射机(3)传来的内标信号;

由所述的发射机(3)形成的射频线性调频脉冲信号通过定向耦合器(37)耦合至所述的声表面延迟单元(23),延迟后的信号通过固定衰减器(24)以及第二开关(25)被传输至射频接收机。

5. 如权利要求4所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的阵列接收天线(4)包含:切换矩阵(41),以及若干线性等间隔排列的接收天线(42);

所述的接收天线(42)与所述的切换矩阵(41)集成设置,每个接收天线(42)与切换矩阵(41)之间采用金丝键合进行连接;

所述的切换矩阵(41)以一定速率依次切换选通不同的接收天线(42)来接收由发射天线(1)向外发射的射频线性调频脉冲信号的回波信号,并通过第二开关(25)传输至射频接收机。

6. 如权利要求5所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的发射天线(1)采用喇叭天线,所述的接收天线(42)采用微带天线,在该发射天线(1)和接收天线(42)的外部均设置天线保护罩。

7. 如权利要求6所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的发射天线(1)与接收天线(42)分开设置,该发射天线(1)与接收天线(42)之间的上下以及前后间距可调。

8. 如权利要求5所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的射频接收机包含依次连接的第二低噪声放大器(51),下变频器(52),第一放大滤波器(53),程控衰减器(54)和第二放大滤波器(55);

所述的第二低噪声放大器(51)与第二开关(25)连接;

所述的下变频器(52)与频率综合器(7)连接;

由所述的接收天线(42)接收到的回波信号经过第二低噪声放大器(51)放大之后,与频率综合器(7)提供的载频信号由下变频器(52)混频至中频信号,再经过第一放大滤波器(53)、程控衰减器(54)和第二放大滤波器(55)的两级放大滤波后传输至中频正交解调接收机。

9. 如权利要求8所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的中频正交解调接收机包含:

正交相位解调器(56),其分别与所述的第二放大滤波器(55)以及频率综合器(7)连接;

低通滤波器(57),其分别与所述的正交相位解调器(56)以及数字信号处理及控制系统(6)连接;

通过所述的正交相位解调器(56)将中频信号解调为IQ两路基带信号,经由低通滤波器(57)滤波后传输至数字信号处理及控制系统(6)。

10. 如权利要求9所述的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,其特征在于,所述的数字信号处理及控制系统(6)包含:嵌入式计算机(61),通过高速总线分别与该嵌入式计算机(61)连接的模数转换器(62),成像处理器(63),存储器(64)以及定时同步器(65);

所述的模数转换器(62)与所述的低通滤波器(57)连接;

所述的定时同步器(65)分别与所述的频率综合器(7)、chirp信号发生器(31)以及固态功放(21)连接;

所述的模数转换器(62)对中频正交解调接收机输出的IQ两路基带信号进行模数采样,由成像处理器(63)进行成像处理,并由嵌入式计算机(61)进行数据计算后得到视景增强图像。

一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种前视视景增强装置,具体是指一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,涉及雷达技术领域。

背景技术

[0002] 传统的合成孔径雷达只能够对飞行器飞行方向的左右两侧的目标进行成像观测,无法覆盖飞行路线正前方以及前下方的目标,因此在成像区域上存在固有盲区。随着低空空域的开放,低空空域飞行器所面临的一般飞行器规避、低空障碍物规避以及飞行器盲降等问题都需要采用前视视景增强技术,对飞行器正前方的空域进行目标探测,对前下方的场景进行成像观测。

[0003] 机载前视视景增强系统使用一种类似合成孔径雷达(SAR)的工作模式,其平台的飞行方向与距离向一致,而与方位向垂直。这与传统的正侧视 SAR 系统恰好相反。正侧视 SAR 系统的载机平台飞行方向与方位向一致,与距离向垂直,由于方位向与距离向正交,可以利用雷达回波信号的相干性,使用匹配滤波方法进行成像,其距离分辨率与信号带宽有关,而方位分辨率与信号波长、目标距离成正比,与合成孔径长度成反比。前视视景增强系统的成像方式与传统 SAR 类似,同样利用了回波信号的相干性,而不同点在于其方位分辨率由载机飞行高度、发射信号波长、目标方位角等多种因素共同决定,且随载机飞行高度的降低而逐渐提高,获得与人眼类似的分辨率效果,其近距离理论方位向分辨率可达厘米级,并且波束前视可以提前发现目标,有巨大的灵活性实用性。

[0004] 资料显示,仅德国宇航局于 2001 年研制了 X 波段前视视景增强原理样机,并进行了地面角反射体成像验证试验和直升机挂飞成像验证试验,实现了地面近距方位向分辨率 6m,远距方位向分辨率 24m 的成像指标。可以应用于直升机地形和障碍物规避、飞机辅助着陆、视场增强、机载盲降系统、实时侦察和打击等领域。其使用 56 个阵元的线性阵列接收天线,阵元间隔为 0.05m,发射天线为喇叭天线,发射信号 X 波段带宽 100MHz,天线间的隔离度为 55dB。

[0005] 自德国宇航局在几年前开发出机载前视 SAR 后,已成为国际上小型雷达研究领域的一个热点。我国在 SAR 领域起步较晚,但经过近三十年的发展,已成功研制出实用的机载和星载合成孔径雷达系统,并在相关领域得到广泛应用,与国外类似,国内对机载或星载 SAR 研究主要集中在正侧视 SAR 和斜视 SAR 领域,但在机载前视视景增强雷达研究领域尚是个空白,处于起步仿真阶段。

[0006] 现有的前视成像技术多数是通过光学或者红外成像来实现的,如公开号为 CN 1645917A 的中国专利“一种机动车、船夜视装置”,其提供了一种利用红外热成像达到前视目的的装置;而专利号为 92220545.0 的中国专利“汽车后视前视防撞装置”,其提供了一种利用超声波探测前后方障碍物并获得其速度来进行防撞的装置。

[0007] 因此,随着我国在“十二五”期间开始开放低空空域飞行,直升机、滑翔机、商务小飞机等民用低空飞行航空器采用前视视景增强成像雷达来解决低空飞的行安全问题已经

刻不容缓。

发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,能够实现对于飞行路线正前方以及前下方目标的成像,满足低空空域飞行时,一般飞行器规避、低空障碍物规避和飞行器盲降等需求,有效解决民用低空飞行航空器低空飞行时的安全问题,并且不受气候、能见度等因素的影响。

[0009] 为实现上述目的,本发明提供一种应用于低空飞行安全的前视视景增强装置,包含:发射天线;接收阵列控制开关矩阵,其包含发射功放以及内标模块,所述的发射功放与所述的发射天线连接;发射机,其分别与所述的发射功放以及内标模块连接;阵列接收天线,其与所述的内标模块连接;接收机,其包含依次连接的射频接收机和中频正交解调接收机;所述的射频接收机与所述的内标模块连接;数字信号处理及控制系统,其与所述的中频正交解调接收机连接;频率综合器,其分别与所述的内标模块、发射机、射频接收机、中频正交解调接收机以及数字信号处理及控制系统连接。

[0010] 所述的发射机包含依次通过电路连接的 chirp 信号发生器,第一低噪声放大器,隔离器,上变频器,放大器,滤波器以及定向耦合器;其中,所述的 chirp 信号发生器以及上变频器分别与所述的频率综合器连接;chirp 信号发生器按工作时序产生线性调频脉冲信号,该信号经过第一低噪声放大器以及隔离器放大隔离之后,与频率综合器提供的载频信号由上变频器进行混频,再经由放大器、滤波器以及定向耦合器的放大滤波后形成射频线性调频脉冲信号。

[0011] 所述的发射功放包含:固态功放,其与所述的定向耦合器连接;第一开关,其分别与所述的固态功放以及发射天线连接;所述的固态功放通过定向耦合器接收由发射机形成的射频线性调频脉冲信号并将该信号进行功率放大,通过第一开关由发射天线向外发射。

[0012] 所述的内标模块包含:声表面延迟单元,其与所述的定向耦合器以及频率综合器连接;固定衰减器,其与所述的声表面延迟单元连接;第二开关,其分别与所述的固定衰减器、切换矩阵以及接收机连接,该第二开关的闭合触点可在固定衰减器和切换矩阵之间进行切换,控制选择由接收天线接收到的回波信号或是由发射机传来的内标信号;由发射机形成的射频线性调频脉冲信号通过定向耦合器耦合至所述的声表面延迟单元,延迟后的信号通过固定衰减器以及第二开关被传输至射频接收机。

[0013] 所述的阵列接收天线包含:切换矩阵,以及若干线性等间隔排列的接收天线;所述的接收天线与所述的切换矩阵集成设置,每个接收天线与切换矩阵之间采用金丝键合进行连接;切换矩阵以一定速率依次切换选通不同的接收天线来接收由发射天线向外发射的射频线性调频脉冲信号的回波信号,并通过第二开关传输至射频接收机。

[0014] 所述的发射天线采用喇叭天线,所述的接收天线采用微带天线,在该发射天线和接收天线的外部均设置天线保护罩。

[0015] 所述的发射天线与接收天线分开设置,该发射天线与接收天线之间的上下以及前后间距可调。

[0016] 所述的射频接收机包含依次连接的第二低噪声放大器,下变频器,第一放大滤波器,程控衰减器和第二放大滤波器;其中,所述的第二低噪声放大器与第二开关连接;所述

的下变频器与频率综合器连接；由接收天线接收到的回波信号经过第二低噪声放大器放大之后，与频率综合器提供的载频信号由下变频器混频至中频信号，再经过第一放大滤波器、程控衰减器和第二放大滤波器的两级放大滤波后传输至中频正交解调接收机。

[0017] 所述的中频正交解调接收机包含：正交相位解调器，其分别与所述的第二放大滤波器以及频率综合器连接；低通滤波器，其分别与所述的正交相位解调器以及数字信号处理及控制系统连接。通过正交相位解调器将中频信号解调为 IQ 两路基带信号，经由低通滤波器滤波后传输至数字信号处理及控制系统。

[0018] 所述的数字信号处理及控制系统包含：嵌入式计算机，通过高速总线分别与该嵌入式计算机连接的模数转换器，成像处理器，存储器以及定时同步器；其中，所述的模数转换器与所述的低通滤波器连接；所述的定时同步器分别与所述的频率综合器、chirp 信号发生器以及固态功放连接；模数转换器对中频正交解调接收机输出的 IQ 两路基带信号进行模数采样，由成像处理器进行成像处理，并由嵌入式计算机进行数据计算后得到视景增强图像。

[0019] 综上所述，本发明所提供的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置，将合成孔径雷达技术，阵列接收天线与多通道快速切换技术及机载前视视景增强雷达信号处理技术相结合，能够实现对飞行路线正前方以及前下方目标的成像，满足低空空域飞行时，一般飞行器规避、低空障碍物规避和飞行器盲降等需求，有效解决直升机、滑翔机、商务小飞机等民用低空飞行航空器低空飞行安全问题，并且不受气候、能见度等因素的影响，可以全天时、全天候的工作。

附图说明

[0020] 图 1 为本发明中的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置的结构示意图；

[0021] 图 2 和图 3 为采用本发明的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置的观测示意图。

具体实施方式

[0022] 以下结合图 1～图 3，详细说明本发明的一个优选实施例。

[0023] 如图 1 所示，为本发明提供的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置的结构示意图，由电源 8 为其提供工作电源，该装置包含：发射天线 1；接收阵列控制开关矩阵 2，其包含发射功放以及内标模块，所述的发射功放与所述的发射天线 1 连接；发射机 3，其分别与所述的发射功放以及内标模块连接；阵列接收天线 4，其与所述的内标模块连接；接收机 5，其包含依次连接的射频接收机和中频正交解调接收机；所述的射频接收机与所述的内标模块连接；数字信号处理及控制系统 6，其与所述的中频正交解调接收机连接；频率综合器 7，其分别与所述的内标模块、发射机 3、射频接收机、中频正交解调接收机以及数字信号处理及控制系统 6 连接。

[0024] 所述的发射机 3 包含依次通过电路连接的线性调频 (chirp) 信号发生器 31，第一低噪声放大器 32，隔离器 33，上变频器 34，放大器 35，滤波器 36 以及定向耦合器 37；其中，所述的 chirp 信号发生器 31 以及上变频器 34 分别与所述的频率综合器 7 连接；chirp 信号发生器 1 按工作时序产生带宽 200MHz 的线性调频脉冲信号，该信号经过第一低噪声放大

器 32 以及隔离器 33 放大隔离之后,与频率综合器 7 提供的载频信号由上变频器 34 进行混频,再经由放大器 35、滤波器 36 以及定向耦合器 37 的放大滤波后形成射频线性调频脉冲信号。

[0025] 所述的发射功放包含:固态功放 21,其与所述的定向耦合器 37 连接,用来提高信号能量以满足远距离探测的要求;第一开关 22,其分别与所述的固态功放 21 以及发射天线 1 连接,用于控制信号的发射;所述的固态功放 21 通过定向耦合器 37 接收由发射机 3 形成的射频线性调频脉冲信号并将该信号进行功率放大,通过第一开关 22 由发射天线 1 向外发射。

[0026] 所述的发射天线 1 采用喇叭天线,在该发射天线 1 的外部设置天线保护罩,用于防止外界环境的干扰。

[0027] 所述的内标模块包含:声表面延迟单元 23,其与所述的定向耦合器 37 以及频率综合器 7 连接;固定衰减器 24,其与所述的声表面延迟单元 23 连接;第二开关 25,其分别与所述的固定衰减器 24、切换矩阵 41 以及接收机 5 连接,该第二开关 25 的闭合触点可在固定衰减器 24 和切换矩阵 41 之间进行切换,控制选择由接收天线 42 接收到的回波信号或是由发射机 3 传来的内标信号;由发射机 3 形成的射频线性调频脉冲信号通过定向耦合器 37 耦合至所述的声表面延迟单元 23,延迟后的信号通过固定衰减器 24 以及第二开关 25 被传输至射频接收机,用于完成对整个系统的内标及校准。

[0028] 所述的阵列接收天线 4 包含:切换矩阵 41,以及若干线性等间隔排列的接收天线 42;所述的接收天线 42 与所述的切换矩阵 41 集成设置,每个接收天线 42 与切换矩阵 41 之间采用金丝键合进行连接。所述的接收天线 42 采用微带天线,在该接收天线 42 的外部设置天线保护罩,用于防止外界环境的干扰。切换矩阵 41 以一定速率依次切换选通不同的接收天线 42 来接收由发射天线 1 向外发射的射频线性调频脉冲信号的回波信号,并通过第二开关 25 传输至射频接收机。

[0029] 所述的发射天线 1 与接收天线 42 分开设置,该发射天线 1 与接收天线 42 之间的上下以及前后间距可调,隔离度能够达到 70dB。

[0030] 所述的射频接收机包含依次连接的第二低噪声放大器 51,下变频器 52,第一放大滤波器 53,程控衰减器 54 和第二放大滤波器 55;其中,所述的第二低噪声放大器 51 与第二开关 25 连接;所述的下变频器 52 与频率综合器 7 连接;由接收天线 42 接收到的回波信号经过第二低噪声放大器 51 放大之后,与频率综合器 7 提供的载频信号由下变频器 52 混频至中频信号,再经过第一放大滤波器 53、程控衰减器 54 和第二放大滤波器 55 的两级放大滤波后传输至中频正交解调接收机。

[0031] 所述的中频正交解调接收机包含:正交相位解调器 56,其分别与所述的第二放大滤波器 55 以及频率综合器 7 连接;低通滤波器 57,其分别与所述的正交相位解调器 56 以及数字信号处理及控制系统 6 连接。通过正交相位解调器 56 将中频信号解调为同相分量(I 路)与正交分量(Q 路)的 IQ 两路基带信号,经由低通滤波器 57 滤波后传输至数字信号处理及控制系统 6。

[0032] 所述的数字信号处理及控制系统 6 包含:嵌入式计算机 61,通过高速总线分别与该嵌入式计算机 61 连接的模数(AD)转换器 62,成像处理器 63,存储器 64 以及定时同步器 65;其中,所述的模数转换器 62 与所述的低通滤波器 57 连接;所述的定时同步器 65 分别

与所述的频率综合器 7, chirp 信号发生器 31 以及固态功放 21 连接,用于对信号进行同步。模数转换器 62 对中频正交解调接收机输出的 IQ 两路基带信号进行模数采样,由成像处理器 63 进行成像处理,并由嵌入式计算机 61 进行数据计算后得到视景增强图像。

[0033] 以下通过一个具体实施例,详细说明本发明。如图 2 和图 3 所示,为本发明的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置的观测示意图。飞机在离地面高度为 h 的航线上沿 x 轴方向以速度 v 飞行, x 轴方向为距离向,与飞行方向垂直且平行与地面的 y 轴方向为方位向,与 xoy 平面垂直且指向离地高度方向的为 z 轴方向,飞机载机携带一个发射天线和均匀线性排列的阵列接收天线,且发射天线与阵列接收天线分置,一般阵列接收天线被安放于飞机的机翼下方或机头内部,各接收天线 R_x 以 $y = 0$ 为中心沿方位向等间隔对称分布, y_i 为第 i 个接收天线的方位向坐标,等效在方位向上形成一定长度的合成孔径。发射天线 T_x 与接收天线分置,位于中心接收天线的正下方 Z_{offset} 处。点目标 P 在 xoy 平面的坐标为 (x_0, y_0) ,它与发射天线和第 i 个接收天线的发、收路程分别用 R_{Tx} 和 R_{Rx} 表示。

[0034] 在飞机飞行的过程中,由发射天线以高脉冲重复频率 (PRF) 发射大时间带宽积信号,采用脉冲压缩来提高距离向分辨率。各接收天线沿 y 轴方向以切换速度 v_s 顺次切换接收回波,相当于有一个接收天线在 y 轴方向以同样的速度 v_s 运动,在方位向形成类似于侧视 SAR 的合成孔径效应,通过匹配滤波提高方位分辨率。通常接收天线的切换速度 v_s 选择为 $v_s = d * \text{PRF}$,其中 d 为相邻两个接收天线之间的距离间隔,即接收天线的切换频率选择为脉冲重复频率,由于在方位向上有一个等效的飞行速度 (即切换速度 v_s),因此即便是载机的前向飞行速度 v 为零,前视视景增强系统也可以对波束覆盖的正前方扇形区域进行成像。

[0035] 在同样天线孔径的情况下,随着波长的减小,对成像分辨率的提高是有利的,但工作频率越高,考虑大气、雨、雪等情况的影响,发射信号衰减较大,由于机载前视视景增强装置通常作用距离要求较小,对高工作频段作用距离指标的影响能够接受,但考虑射频前端实物的设计难度较大,尤其使用单刀多掷开关,多级开关级联损耗大、隔离度指标差、高频段发射机设计难度大等等当前实物设计能力的限制,因此在本实施例中选择工作频段为射频前端设计能力相对成熟的 Ku 波段。在阵列接收天线方面,考虑到天线效率,本装置采用了 64 个接收天线组成阵列的方式,相邻接收天线之间间距 0.02m,在保证性能的前提下简化了工艺,降低了成本。

[0036] 由理论计算结果可知,阵列接收天线接收前视视景增强装置的方位向高分辨区域在航迹线两侧约 $20^\circ \sim 40^\circ$ 范围以内,本实施例中,天线波束宽度取 35° 。对应的天线有效长度为 $L = \lambda / \theta = 0.0355\text{m}$ 。

[0037] 对于机载前视视景增强装置,当波束投射角过大时,地面雷达散射系数较小,回波能量低;而当波束投射角过小时,距离分辨率下降,同时引起多普勒质心变化过大,造成相位补偿精度差,当波束投射角小到 0° 时将不存在距离向分辨率,因此在本实施例中,折中选择波束投射角为 45° 。

[0038] 当发射脉冲宽度越大,回波能量越大,作用距离越远,但本装置的工作平台高度为 200m,在 45° 波束投射角、 35° 波束宽度下,近距点距离雷达的斜距为 104m,考虑地面起伏留有一定余量及收发天线间需要进行开关隔离,接收天线在发射脉冲休止期工作,故发射脉冲宽度定为 1.4us。发射脉冲宽度应随平台高度的降低、地形起伏的增大适应性调整。

[0039] PRF 的设计应满足波束覆盖范围内多普勒带宽的不模糊,以及波束覆盖范围内距离向回波信号能够完全接收为准的条件,即

$$[0040] \quad \max\left(\frac{2v\cos\alpha}{D_r}, \frac{2f_s v\sin\alpha}{c}\right) \leq PRF \leq \frac{1}{2\tau + \frac{2w\sin\alpha}{c}};$$

[0041] 其中 :c 为光速, v 为飞行速度, α 为波束投射角, D_r 为距离向天线长度, f_s 为距离向采样率, τ 为发射脉冲宽度, w 为照射区域的距离向宽度。同时,考虑天线副瓣的影响, PRF 的选取需要余量 20% 的过采样余量,故本实施例中 PRF 定为 15KHz。

[0042] 匹配滤波脉压信号处理中,信号 AD 采样率和数字信号处理实时性的设计能力决定了工程设计中 chirp 带宽的大小, chirp 带宽越大,距离分辨率越高,同时,要求数字信号处理 AD 采样率越高,信号处理数据率越大,对信号处理实时性的压力越大,目前设计能力,完全能够满足 200MHz 带宽的采样及实时信号处理,故本实施例中 chirp 带宽定为 200MHz。

[0043] 根据经典的雷达方程,设雷达发射机峰值发射功率为 P_t , 发射天线的增益为 G_t , 接收天线的增益为 G_r , 则系统信噪比为 :

$$[0044] \quad SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 F_n B_n R^4 L};$$

[0045] 其中 : λ 为信号波长, σ 为目标的雷达反射截面积, k 为波尔兹曼常数, T_0 为噪声电阻热力学温度,通常取 290K, B_n 为接收机带宽, L 为全部的损耗。对于前视视景增强系统来说,由于距离向脉冲压缩和方位向聚焦都可以产生积累,从而提高信噪比,线性调频脉冲体制距离向压缩的信噪比改善因子为 $n_r = B_p T_p$, 方位向通过多波束形成,在合成孔径时间内相干积累了 n_a 个回波脉冲,因此回波信号功率增加 n_a 倍,则前视视景增强系统的信噪比方程改写为 :

$$[0046] \quad SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 K T_0 F_n B_n R^4 L} B_p T_p n_a。$$

[0047] 考虑前视视景增强系统的目标为分布目标的情况,地面分辨单元(相当于目标)的雷达截面积为 $\sigma = \sigma_0 \rho_a \rho_g = \sigma_0 \rho_a \frac{P_r}{\sin\alpha}$, 其中, σ_0 为目标的归一化后向散射系数、 ρ_a 为方位向分辨率、 ρ_g 为距离向斜距分辨率、 ρ_r 为距离向地距分辨率、 α 为波束入射角。则

前视视景增强装置信噪比方程可以写为 $SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_0 \rho_a \rho_r}{(4\pi)^3 K T_0 F_n B_n R^4 L \sin\alpha} B_p T_p n_a$ 。根据 Ku 波

段通用地面散射杂波模型,在 45° 入射角时,平均散射系数取 -13dB,另外平台高度 200m,波束投射角 45° , 发射功率 250W,接收机噪声系数 $F_n = 6.5\text{dB}$ (成像高度计微波接收机); $K T_0 = -204\text{dB}$; 系统损耗 L 为系统射频损耗以及大气传输损耗取为 5dB,开关矩阵插损约 8dB。而成像系统一般要求回波信噪比优于 8dB。综合考虑器件成本因素,设计发射机功率为 25W,此时回波信噪比为 9dB。

[0048] 设雷达发射天线的有效面积为 A_t , 雷达接收天线的有效接收面积为 A_r , 则雷达接收的来自距离 R 处的回波信号的功率为 $P_r = \frac{P_t G_t \sigma A_r}{(4\pi)^2 R^4}$, 由天线理论知道,天线增益 G 和天线

有效面积 A 之间有以下关系 $G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$, 则接收功率可以表示为 $P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} = \frac{P_t A_t A_r \sigma}{(4\pi) \lambda^2 R^4}$,

假设系统损耗（包括系统插损、发射馈线、接收馈线、电磁波双程传输损耗和大气衰减）为 L , 则接收信号功率为 $P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_0 A_g}{(4\pi)^3 R^4 L}$, 其中 σ_0 为目标的归一化后向散射系数, A_g 为散射

单元的有效面积。根据 Ku 波段通用地面散射杂波模型, 在 45° 入射角时, 地面平均散射系数取 -13dB , 在发射功率为 25W 时, 计算得到 $P_r = -89\text{dB}$ 。

[0049] 本实施例中, 由实验仿真结果可得本发明装置在 200m 高度工作时, 平均斜距分辨率为 1.1m , 近地点地距分辨率为 2.4m , 远地点地距分辨率为 1.24m , 飞行正前方中心航迹中心处方位向分辨率为 7.1m , 场景边缘处方位向分辨率为 7.8m 。

[0050] 综上所述, 本发明所提供的应用于低空飞行安全的前视视景增强装置, 将合成孔径雷达技术, 阵列接收天线与多通道快速切换技术及机载前视视景增强雷达信号处理技术相结合, 能够实现对飞行路线正前方以及前下方目标的成像, 满足低空空域飞行时, 一般飞行器规避、低空障碍物规避和飞行器盲降等需求, 有效解决直升机、滑翔机、商务小飞机等民用低空飞行航空器低空飞行安全问题, 并且不受气候、能见度等因素的影响, 可以全天时、全天候的工作。

[0051] 尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍, 但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述内容后, 对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此, 本发明的保护范围应由所附的权利要求来限定。

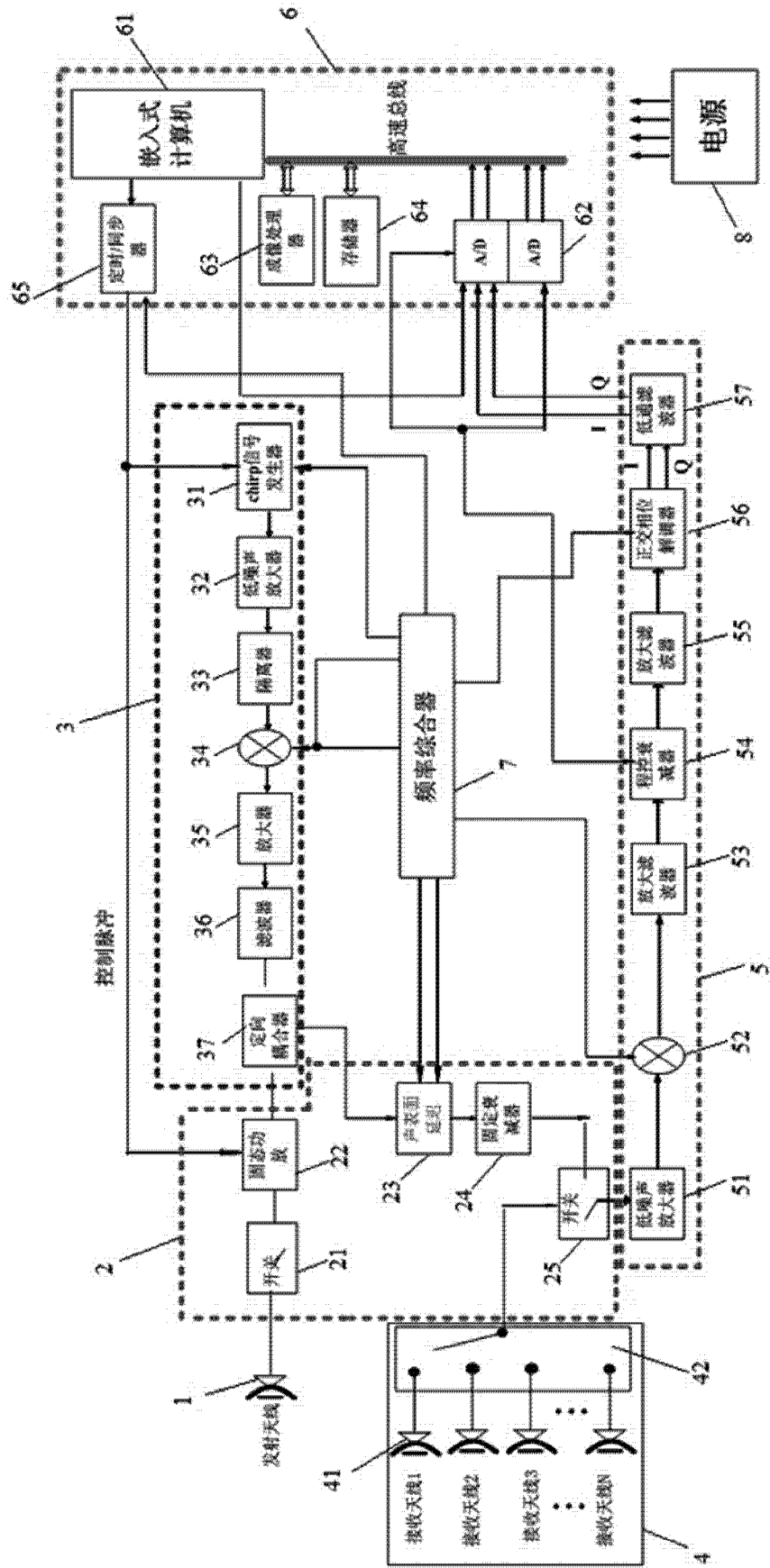


图 1

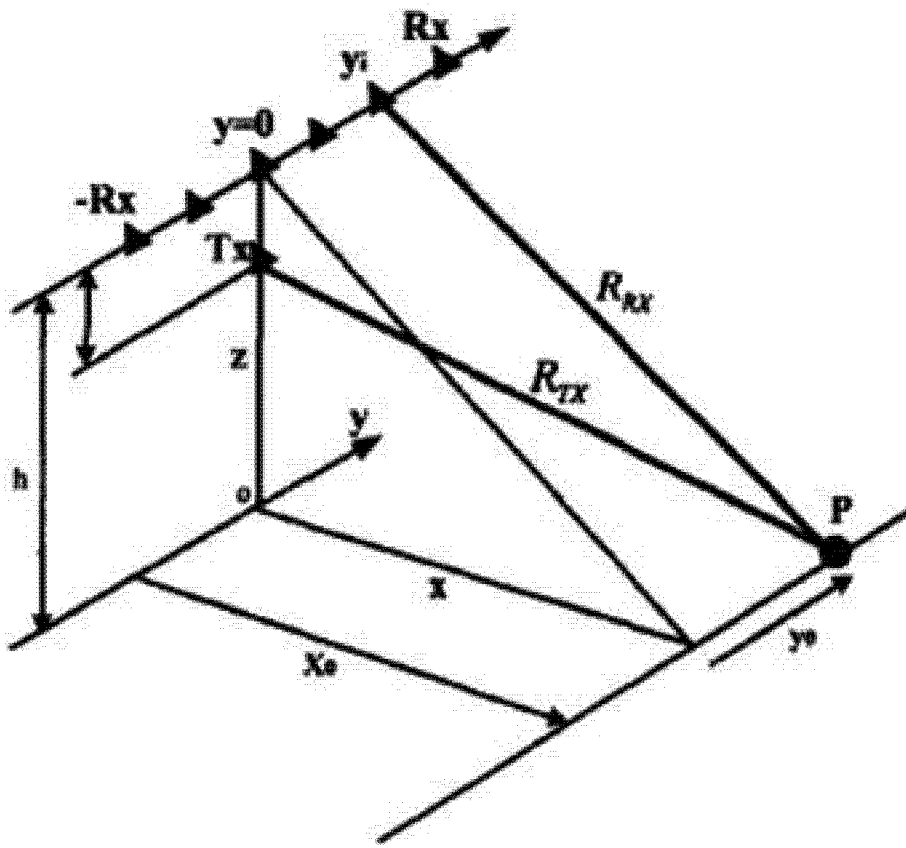


图 2

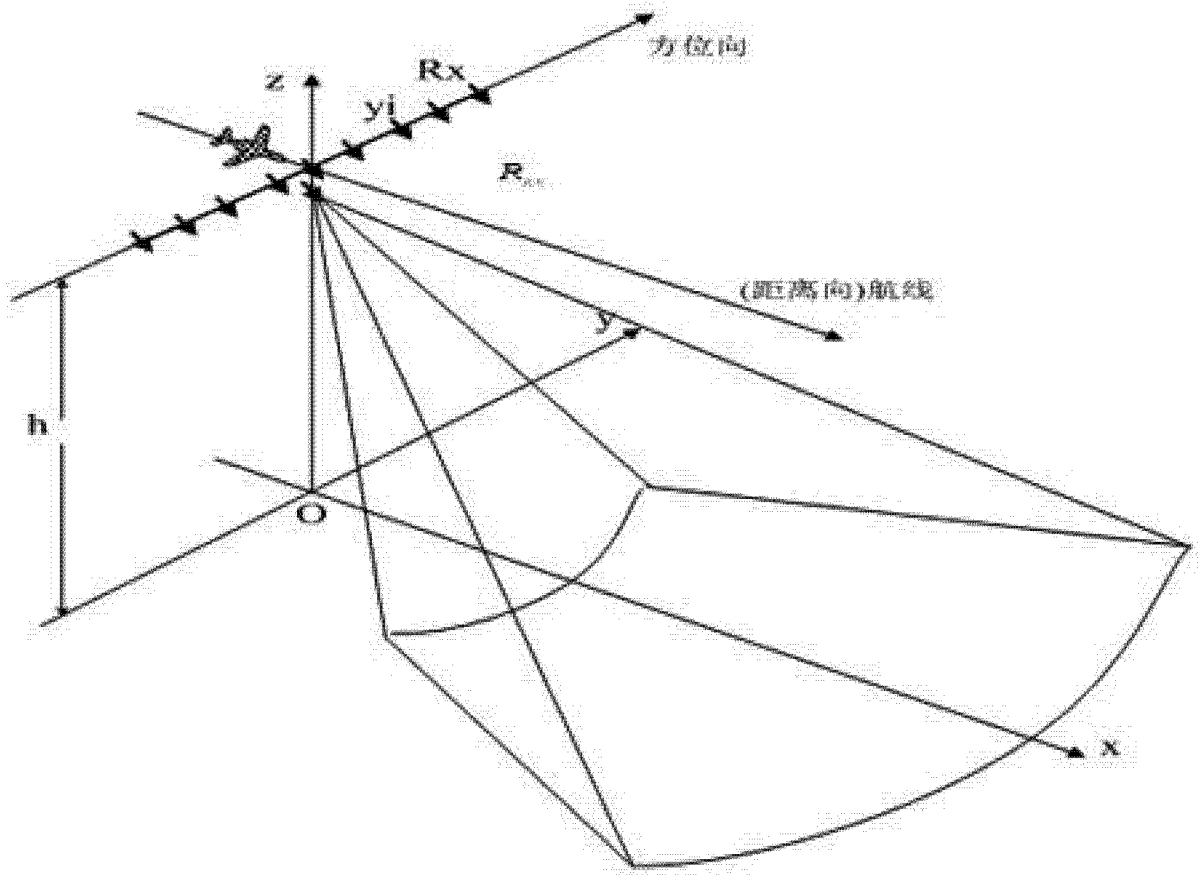


图 3