



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107783124 A

(43)申请公布日 2018.03.09

(21)申请号 201610725731.1

(22)申请日 2016.08.25

(71)申请人 大连楼兰科技股份有限公司

地址 116023 辽宁省大连市高新园区汇贤
园7号腾飞园2期11层

(72)发明人 田雨农 王鑫照

(74)专利代理机构 大连智高专利事务所(特殊
普通合伙) 21235

代理人 李猛

(51)Int.Cl.

G01S 13/93(2006.01)

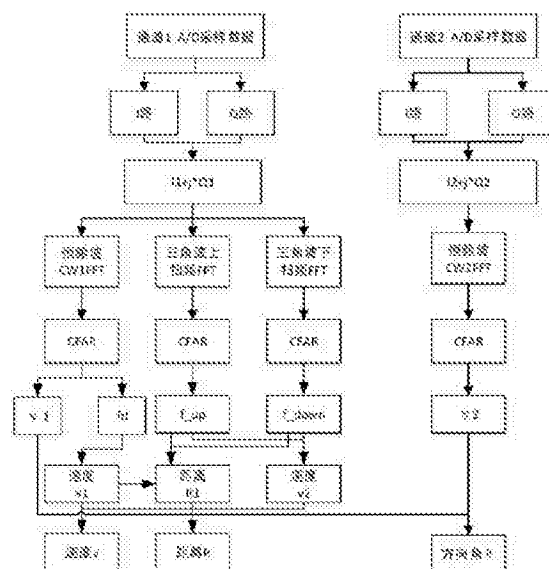
权利要求书3页 说明书13页 附图3页

(54)发明名称

基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防撞
撞雷达系统及信号处理方法

(57)摘要

一种基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防撞撞雷达系统及信号处理方法,属于信号处理领域,为了解决旋翼无人机复杂环境防撞撞的问题,技术要点是:S1.对各段波形,将A/D采集到的IQ数据,进行时频的FFT变换,将时域数据转换成频率数据;S2.将各段波形FFT变换后的复数模值做门限检测CFAR,输出过门限点位置,根据过门限的点计算其对应的频率值,并由此得到对应点上的频率矩阵,同时计算出恒频段过门限点对应的相位值,并由此得到对应点上的相位矩阵;S3.对于恒频波,计算得到速度矩阵;而对于三角波,其上扫频频率矩阵和下扫频对应的频率矩阵,两两进行配对计算距离和速度,并由此得到距离矩阵和速度矩阵。



1. 一种基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统,其特征在于,包括天线分系统、射频分系统、信号调理分系统、信号处理分系统;

所述天线分系统形成雷达探测所需的发射和接收波束,并将发射信号向指定区域辐射,并接收指定区域内的目标散射回波信号;

所述射频分系统,产生发射信号且发射信号的频率按照调制信号的规律进行变化,实现输出线性调频连续波;

所述信号调理分系统,对中频模拟信号的滤波和幅值放大;

所述信号处理分系统,使信号调理分系统输出的四路I/Q中频信号,采集到AD采集通道中,并进行基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达信号处理且输出。

2. 一种如权利要求1所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,其特征在于,所述组合波形是三角波调制的FMCW信号及恒频波调制的CW信号组合而成的波形,第一段为三角波,第二段为恒频波;

所述信号处理方法包括以下步骤:

S1. 对各段波形,将A/D采集到的IQ数据,进行时频的FFT变换,将时域数据转换成频率数据;

S2. 将各段波形FFT变换后的复数模值做门限检测CFAR,输出过门限点位置,根据过门限的点计算其对应的频率值,并由此得到对应点上的频率矩阵,同时计算出恒频段过门限点对应的相位值,并由此得到对应点上的相位矩阵;

S3. 对于恒频波,计算得到速度矩阵;而对于三角波,其上扫频频率矩阵和下扫频对应的频率矩阵,两两进行配对计算距离和速度,并由此得到距离矩阵和速度矩阵。

3. 如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,其特征在于,具有步骤:S4. 通过恒频波的速度矩阵和三角波获得速度矩阵进行多目标的真实速度匹配以及查找,同时获得多目标的真实距离。

4. 如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,其特征在于,具有步骤:S5. 计算多目标的方位角。

5. 如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,步骤S1的特征方法是:对通道1中的第一段三角波FMCW上扫频段和第二段三角波FMCW下扫频段、第三段恒频波CW1段,通道2中的恒频波CW2段,去除前部分数据点,根据数据点数选择进行适当点数的FFT变换,进行时频变化,将时域数据转换成频域数据。

6. 如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,步骤S2的特征方法是:设通道1中,三角波上扫频过门限的点数有 n_1 个,其对应的位置矩阵为 $N_{up} = [a_1, a_2, \dots, a_{n_1}]$,计算频率值 $f = \frac{(N-1)f_s}{M}$,并由此得到对应点上的频率矩阵

$F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an_1}]$,其中: f_s 为采样率, M 为FFT变换的点数, N 为位置点;三角波下扫频过门限的点数有 n_2 个,其对应的位置矩阵为 $N_{down} = [b_1, b_2, \dots, b_{n_2}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn_2}]$;恒频段过门限的点数有 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw1} = [c_1, c_2, \dots, c_{n_3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn_3}]$,同时假设峰值点对应的FFT变换后的复数据为 $a_{cw1} + 1j \cdot b_{cw1}$,其相位根据公式 $\psi_{c1} = \arctan(\frac{b_{cw1}}{a_{cw1}})$ 计算得到,设其过门

限的点对应的相位矩阵为 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$;通道2中恒频段过门限的点数与通道1中过门限点的点数相同也为 $n3$ 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw2} = [c_1, c_2, \dots, c_{n3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw2} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,其对应的相位矩阵为 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$;其中: a 表示I路的数据值, b 表示Q路的数据值,即 $I+jQ$ 的意思, a_{cw1} 表示在 $a+j*b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$, b_{cw1} 表示在 $a+j*b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$,若过门限的位置点等于1,直接剔除该位置点。

7.如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,步骤S3的特征方法是:根据通道1的恒频段的频率矩阵 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,计算速度 $v = \frac{c}{2f_0} f_{ci}$ $i=1, 2, \dots, n3$,得到其速度矩阵为 $V_{cw1} = [v_{c1}, v_{c2}, \dots, v_{cn3}]$,其中, c 为光速, f_0 为中心频率,

通道1的三角波上扫频频率矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 和下扫频对应的频率矩阵 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$,根据公式 $R = \frac{cT}{8B}(f_{up} + f_{down})$ 计算其距离值,根据公式 $v = \frac{c(f_{down} - f_{up})}{4f_0}$ 计算其速度值,其中, T 为三角波周期, B 为调频带宽, c 为光速, $c=3.0 \times 10^8$, f_0 为中心频率,将矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 中的数据 and 矩阵 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$ 中的数据,两两进行

配对计算距离和速度,计算得出的距离矩阵为 $R = \begin{bmatrix} r_{a1b1} & r_{a2b1} & \dots & r_{an1b1} \\ r_{a1b2} & r_{a2b2} & \dots & r_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{a1bn2} & r_{a2bn2} & \dots & r_{an1bn2} \end{bmatrix}$,其中 r_{aibj} ($1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2$),表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第 j 个元素

进行计算得到的距离值;计算得出的速度矩阵为 $V = \begin{bmatrix} v_{a1b1} & v_{a2b1} & \dots & v_{an1b1} \\ v_{a1b2} & v_{a2b2} & \dots & v_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{a1bn2} & v_{a2bn2} & \dots & v_{an1bn2} \end{bmatrix}$,其中 v_{aibj} ($1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2$),表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第 j 个元素进行计算得到的速度值。

8.如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,步骤S4的特征步骤中,所述速度匹配以及查找的具体操作如下:将恒频波速度矩阵 V_{cw1} 中的每一个速度值与三角波速度矩阵 V 进行速度匹配,查找到与速度矩阵 V_{cw1} 中相同速度值以及该速度值所在的行值和列值;在速度矩阵 V 中,每找到一个真实目标的速度后,将该行与列的所有数据进行删除,根据真实目标的速度,在速度矩阵 V 中所在的行值和列值,在相应的距离矩阵中找到该行和该列所对应的距离值,该距离值则为真实目标在该速度值下对应的距离值。

9.如权利要求2所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞系统信号处理方法,步骤S5多目标方位角计算的步骤是:计算得到通道1恒频段CW1获得的相位矩阵 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$ 的对应列上的数据,相位矩阵 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$,这两个矩阵中对应列上的相位数据;

通过公式 $\tan(\Delta\psi) = \tan(\psi_{ci} - \psi'_{ci}) = \frac{\tan(\psi_{ci}) - \tan(\psi'_{ci})}{1 + \tan(\psi_{ci})\tan(\psi'_{ci})}$ $1 \leq i \leq n3$, 进行计算得到其相位差, 则其相位差矩阵为 $\Delta\psi = [\Delta\psi_{c1}, \Delta\psi_{c2}, \dots, \Delta\psi_{cn3}]$, 根据公式 $\theta = \arcsin \frac{\lambda\Delta\psi}{2\pi d}$ 计算方位角, 其中, d 为天线间距, λ 为波长。

基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统及信号处理方法

技术领域

[0001] 本发明属于雷达领域,涉及一种基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统及信号处理方法。

背景技术

[0002] 近几年,随着技术的不断发展,民用小型旋翼无人机价格越来越低,被广泛用于航拍、电影拍摄、农药喷洒、现场救援、大地遥感测绘、高压线电网巡视等领域。但是因为旋翼无人机低空飞行时易发生与障碍物之间的碰撞,导致旋翼无人机的损坏。目前威胁旋翼无人机室外低空飞行安全的物体主要有树木等自然物体以及电力线、电线杆、建筑物等人造物体。

[0003] 无人机发展多年,早就能透过GPS判定无人机在平面上的位置,藉此进行定点悬停。但是,如何让无人机感知距离,回避障碍,一直都是个很大的难题。

[0004] 最早的测距方式其实有点像倒车雷达,透过类似蝙蝠的“听觉”,向测距对象射出电波,感知反射后判定物件的方向和位置。法国无人机公司Parrot旗下的AR.Drone无人机,最早就透过超声波方式往下方测距,让无人机能固定在同一高度上飞行;而零度无人机的探索者第二代(XIROXplorer2)则采用特殊红外线方式360度测距,藉此回避障碍物。然而,雷达式测距的最大限制是:它需要先发射电波,然后侦察电波反射;在续航力和电波发射功率的限制下,很难进行长距离的测距;例如ParrotBebopDrone的超声波定高,最高距离只有8米,而零度探索者2的最大回避半径,则只有6米。大疆Phantom4或是YuneecTyphoonH透过双目感应器,只要在光线良好的环境下,它的自动避障距离比超声波雷达式避障要远得多:大疆的双目感应器可以判断最远约15米的障碍,比ParrotBebopDrone远了接近一倍。但是采用视觉实现避障,环境变化会对其避障功能产生巨大的影响,大大影响其避障功能。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统及信号处理方法,目的在于得到一种雷达信号处理系统,以实现旋翼无人机远距离复杂环境防撞。

[0006] 本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统,包括天线分系统、射频分系统、信号调理分系统、信号处理分系统;

[0008] 所述天线分系统形成雷达探测所需的发射和接收波束,并将发射信号向指定区域辐射,并接收指定区域内的目标散射回波信号;

[0009] 所述射频分系统,产生发射信号且发射信号的频率按照调制信号的规律进行变化,实现输出线性调频连续波;

[0010] 所述信号调理分系统,对中频模拟信号的滤波和幅值放大;

[0011] 所述信号处理分系统,使信号调理分系统输出的四路I/Q中频信号,采集到AD采集

通道中,并进行基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达信号处理且输出。

[0012] 上述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,所述组合波形是三角波调制的FMCW信号及恒频波调制的CW信号组合而成的波形,第一段为三角波,第二段为恒频波;

[0013] 所述信号处理方法包括以下步骤:

[0014] S1.对各段波形,将A/D采集到的IQ数据,进行时频的FFT变换,将时域数据转换成频率数据;

[0015] S2.将各段波形FFT变换后的复数模值做门限检测CFAR,输出过门限点位置,根据过门限的点计算其对应的频率值,并由此得到对应点上的频率矩阵,同时计算出恒频段过门限点对应的相位值,并由此得到对应点上的相位矩阵;

[0016] S3.对于恒频波,计算得到速度矩阵;而对于三角波,其上扫频频率矩阵和下扫频对应的频率矩阵,两两进行配对计算距离和速度,并由此得到距离矩阵和速度矩阵。

[0017] 进一步的,具有步骤:S4.通过恒频波的速度矩阵和三角波获得速度矩阵进行多目标的真实速度匹配以及查找,同时获得多目标的真实距离。

[0018] 进一步的,具有步骤:S5.计算多目标的方位角。

[0019] 进一步的,步骤S1的特征方法是:对通道1中的第一段三角波FMCW上扫频段和第二段三角波FMCW下扫频段、第三段恒频波CW1段,通道2中的恒频波CW2段,去除前部分数据点,根据数据点数选择进行适当点数的FFT变换,进行时频变化,将时域数据转换成频域数据。

[0020] 进一步的,步骤S2的方法是:设通道1中,三角波上扫频过门限的点数有 n_1 个,其对应的位置矩阵为 $N_{up} = [a_1, a_2, \dots, a_{n_1}]$,计算频率值 $f = \frac{(N-1)f_s}{M}$,并由此得到对应点上的频率

矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$,其中: f_s 为采样率, M 为FFT变换的点数, N 为位置点;三角波下扫频过门限的点数有 n_2 个,其对应的位置矩阵为 $N_{down} = [b_1, b_2, \dots, b_{n_2}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$;恒频段过门限的点数有 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw1} = [c_1, c_2, \dots, c_{n3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,同时假设峰值点对应的FFT变换后的复数据为 $a_{cw1} + j \cdot b_{cw1}$,其相位根据公式 $\psi_{c1} = \arctan(\frac{b_{cw1}}{a_{cw1}})$ 计算得到,设其过门

限的点对应的相位矩阵为 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$;通道2中恒频段过门限的点数与通道1中过门限点的点数相同也为 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw2} = [c_1, c_2, \dots, c_{n3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw2} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,其对应的相位矩阵为 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$;其中: a 表示I路的数据值, b 表示Q路的数据值,即 $I + jQ$ 的意思, a_{cw1} 表示在 $a + j \cdot b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$, b_{cw1} 表示在 $a + j \cdot b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$,若过门限的位置点等于1,直接剔除该位置点。

[0021] 进一步的,步骤S3的方法是:根据通道1的恒频段的频率矩阵 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,计算速度 $v = \frac{c}{2f_0} f_{ci}$, $i = 1, 2, \dots, n_3$,得到其速度矩阵为 $V_{cw1} = [v_{c1}, v_{c2}, \dots, v_{cn3}]$,其中, c 为光速, f_0 为中心频率,

[0022] 通道1的三角波上扫频频率矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 和下扫频对应的频率矩阵

$F_{\text{down}} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$, 根据公式 $R = \frac{cT}{8B}(f_{\text{up}} + f_{\text{down}})$ 计算其距离值, 根据公式

$v = \frac{c(f_{\text{down}} - f_{\text{up}})}{4f_0}$ 计算其速度值, 其中, T 为三角波周期, B 为调频带宽, c 为光速, $c = 3.0 \times 10^8$,

f_0 为中心频率, 将矩阵 $F_{\text{up}} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 中的数据和矩阵 $F_{\text{down}} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$ 中的数

据, 两两进行配对计算距离和速度, 计算得出的距离矩阵为 $R = \begin{bmatrix} r_{a1b1} & r_{a2b1} & \dots & r_{an1b1} \\ r_{a1b2} & r_{a2b2} & \dots & r_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{a1bn2} & r_{a2bn2} & \dots & r_{an1bn2} \end{bmatrix}$, 其中

$r_{aibj} (1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2)$, 表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down}

第 j 个元素进行计算得到的距离值; 计算得出的速度矩阵为 $V = \begin{bmatrix} v_{a1b1} & v_{a2b1} & \dots & v_{an1b1} \\ v_{a1b2} & v_{a2b2} & \dots & v_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{a1bn2} & v_{a2bn2} & \dots & v_{an1bn2} \end{bmatrix}$, 其中

$v_{aibj} (1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2)$, 表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第 j 个元素进行计算得到的速度值。

[0023] 进一步的, 步骤S4的步骤中, 所述速度匹配以及查找的具体操作如下: 将恒频波速度矩阵 V_{cw1} 中的每一个速度值与三角波速度矩阵 V 进行速度匹配, 查找到与速度矩阵 V_{cw1} 中相同速度值以及该速度值所在的行值和列值; 在速度矩阵 V 中, 每找到一个真实目标的速度后, 将该行与列的所有数据进行删除, 根据真实目标的速度, 在速度矩阵 V 中所在的行值和列值, 在相应的距离矩阵中找到该行和该列所对应的距离值, 该距离值则为真实目标在该速度值下对应的距离值。

[0024] 进一步的, 步骤S5多目标方位角计算的步骤是: 计算得到通道1恒频段CW1获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW1}} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW2}} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$ 的对应列上的数据, 相位矩阵 $\Psi_{\text{CW1}} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW2}} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$, 这两个矩阵中对应列上的相位数据;

[0025] 通过公式 $\tan(\Delta\psi) = \tan(\psi_{ci} - \psi'_{ci}) = \frac{\tan(\psi_{ci}) - \tan(\psi'_{ci})}{1 + \tan(\psi_{ci}) \tan(\psi'_{ci})} \quad 1 \leq i \leq n3$, 进行计算得到

其相位差, 则其相位差矩阵为 $\Delta\psi = [\Delta\psi_{c1}, \Delta\psi_{c2}, \dots, \Delta\psi_{cn3}]$, 根据公式 $\theta = \arcsin \frac{\lambda \Delta\psi}{2\pi d}$ 计算方位角, 其中, d 为天线间距, λ 为波长。

[0026] 有益效果:

[0027] 1、本发明给出了一种旋翼无人机在复杂环境中进行防碰撞系统整体信号处理设计方法;

[0028] 2、本发明给出了一种复杂环境中多目标检测的组合波形设计方案, 同时给出了, 可实现多目标检测的理论分析, 对于无人机防撞多目标识别, 提供了一种波形设计思路以及解决方法。

[0029] 3、本发明给出了详细的信号处理过程, 包括多目标相对速度的解算、相对距离解算、相位差方向角的解算, 以及利用恒频波的速度进行真是目标速度的匹配过程等, 对于设计旋翼无人机复杂环境防碰撞系统提供了一种具体的信号处理方法。

[0030] 4、本发明提供了一种旋翼无人机远距离复杂环境防撞毫米波雷达系统,以实现旋翼无人机远距离复杂环境防撞。

附图说明

- [0031] 图1无人机防撞毫米波雷达系统工作框图;
[0032] 图2信号调理分系统整体设计框图;
[0033] 图3无人机防撞雷达信号处理分系统硬件整体设计框图;
[0034] 图4恒频波与线性调频三角波组合波形一个扫频周期内的频率变化图;
[0035] 图5单目标的(R,V)空间图;
[0036] 图6多目标的(R,V)空间图;
[0037] 图7基于组合波形的汽车变道辅助系统信号处理流程图。

具体实施方式

- [0038] 实施例1:一种旋翼无人机远距离复杂环境防撞毫米波雷达系统,包括天线分系统、射频分系统、信号调理分系统、信号处理分系统;
- [0039] 所述天线分系统形成雷达探测所需的发射和接收波束,并将发射信号向指定区域辐射,并接收指定区域内的目标散射回波信号;
- [0040] 所述射频分系统,产生发射信号且发射信号的频率按照调制信号的规律进行变化,实现输出线性调频连续波;
- [0041] 所述信号调理分系统,对中频模拟信号的滤波和幅值放大;
- [0042] 所述信号处理分系统,使信号调理分系统输出的四路I/Q中频信号,采集到AD采集通道中,并进行基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达信号处理且输出。
- [0043] 作为一种方案,所述天线分系统包括发射天线和接收天线,所述接收天线是由三行接收天线通过背面馈电网络组成的两个接收天线,使用微带矩形贴片形成组阵;所述发射天线、接收天线通过过孔与背面微波电路连接。
- [0044] 作为一种方案,所述信号处理分系统,包括ARM芯片、电源模块、串口模块和CAN模块,所述ARM芯片将信号调理分系统输出的四路I/Q中频信号,采集到ARM芯片自带的四路AD采集通道中,由ARM芯片进行信号处理,通过串口模块和/或CAN模块输出。
- [0045] 作为一种方案,天线分系统包括发射天线和接收天线,所述射频分系统包括压控振荡器和混频器,所述信号处理分系统包括信号调理电路和PLL锁相环,所述信号处理分系统包括A/D转换器和ARM芯片,ARM芯片的一端连接于信号发生器,信号发生器连接于压控振荡器,压控振荡器分别连接于发射器和混频器的第一端,混频器的第二端连接接收器,混频器的第三端连接信号调理电路,信号调理电路连接A/D转换器,A/D转换器连接ARM芯片的另一端。
- [0046] 实施例2:如实施例1各方案所述的基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞雷达系统的信号处理方法,其特征在于,所述组合波形是三角波调制的FMCW信号及恒频波调制的CW信号组合而成的波形,第一段为三角波,第二段为恒频波;
- [0047] 所述信号处理方法包括以下步骤:
- [0048] S1.对各段波形,将A/D采集到的IQ数据,进行时频的FFT变换,将时域数据转换成

频率数据;

[0049] S2.将各段波形FFT变换后的复数模值做门限检测CFAR,输出过门限点位置,根据过门限的点计算其对应的频率值,并由此得到对应点上的频率矩阵,同时计算出恒频段过门限点对应的相位值,并由此得到对应点上的相位矩阵;

[0050] S3.对于恒频波,计算得到速度矩阵;而对于三角波,其上扫频频率矩阵和下扫频对应的频率矩阵,两两进行配对计算距离和速度,并由此得到距离矩阵和速度矩阵。

[0051] 作为一种实施例,具有步骤:S4.通过恒频波的速度矩阵和三角波获得速度矩阵进行多目标的真实速度匹配以及查找,同时获得多目标的真实距离。

[0052] 作为一种实施例,具有步骤:S5.计算多目标的方位角。

[0053] 步骤S1的特征方法是:对通道1中的第一段三角波FMCW上扫频段和第二段三角波FMCW下扫频段、第三段恒频波CW1段,通道2中的恒频波CW2段,去除前部分数据点,根据数据点数选择进行适当点数的FFT变换,进行时频变化,将时域数据转换成频域数据。

[0054] 步骤S2的特征方法是:设通道1中,三角波上扫频过门限的点数有 n_1 个,其对应的

位置矩阵为 $N_{up} = [a_1, a_2, \dots, a_{n_1}]$,计算频率值 $f = \frac{(N-1)f_s}{M}$,并由此得到对应点上的频率矩阵

$F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an_1}]$,其中: f_s 为采样率, M 为FFT变换的点数, N 为位置点;三角波下扫频过门限的点数有 n_2 个,其对应的位置矩阵为 $N_{down} = [b_1, b_2, \dots, b_{n_2}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn_2}]$;恒频段过门限的点数有 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw1} = [c_1, c_2, \dots, c_{n_3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn_3}]$,同时假设峰值点对应的FFT变换

后的复数据为 $a_{cw1} + j \cdot b_{cw1}$,其相位根据公式 $\psi_{c1} = \arctan(\frac{b_{cw1}}{a_{cw1}})$ 计算得到,设其过门

限的点对应的相位矩阵为 $\Psi_{cw1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn_3}]$;通道2中恒频段过门限的点数与通道1中过门限点的点数相同也为 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw2} = [c_1, c_2, \dots, c_{n_3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw2} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn_3}]$,其对应的相位矩阵为 $\Psi_{cw2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn_3}]$;其中: a 表示I路的数据值, b 表示Q路的数据值,即 $I + jQ$ 的意思, a_{cw1} 表示在 $a + j \cdot b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$, b_{cw1} 表示在 $a + j \cdot b$ 组成的数组中,过门限的峰值点对应的坐标为 $cw1$,若过门限的位置点等于1,直接剔除该位置点。

[0055] 步骤S3的特征方法是:根据通道1的恒频段的频率矩阵

[0056] $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn_3}]$,计算速度 $v = \frac{c}{2f_0} f_{ci}$, $i = 1, 2, \dots, n_3$,得到其速度矩阵为 $V_{cw1} = [v_{c1}, v_{c2}, \dots, v_{cn_3}]$,其中, c 为光速, f_0 为中心频率,

[0057] 通道1的三角波上扫频频率矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an_1}]$ 和下扫频对应的频率矩阵

$F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn_2}]$,根据公式 $R = \frac{cT}{8B}(f_{up} + f_{down})$ 计算其距离值,根据公式

$v = \frac{c(f_{down} - f_{up})}{4f_0}$ 计算其速度值,其中, T 为三角波周期, B 为调频带宽, c 为光速, $c = 3.0$

$\times 10^8$, f_0 为中心频率,将矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an_1}]$ 中的数据和矩阵 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn_2}]$ 中的数据,两两进行配对计算距离和速度,计算得出的距离矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{a1b1} & r_{a2b1} & \cdots & r_{an1b1} \\ r_{a1b2} & r_{a2b2} & \cdots & r_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{a1bn2} & r_{a2bn2} & \cdots & r_{an1bn2} \end{bmatrix}, \text{其中 } r_{aibj} (1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2), \text{表示是由上扫频矩阵中 } F_{\text{up}}$$

的第*i*个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第*j*个元素进行计算得到的距离值;计算得出的速度矩阵

$$\text{为 } V = \begin{bmatrix} v_{a1b1} & v_{a2b1} & \cdots & v_{an1b1} \\ v_{a1b2} & v_{a2b2} & \cdots & v_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{a1bn2} & v_{a2bn2} & \cdots & v_{an1bn2} \end{bmatrix}, \text{其中 } v_{aibj} (1 \leq i \leq n1, 1 \leq j \leq n2), \text{表示是由上扫频矩阵中}$$

F_{up} 的第*i*个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第*j*个元素进行计算得到的速度值。

[0058] 步骤S4的特征步骤中,所述速度匹配以及查找的具体操作如下:将恒频波速度矩阵 V_{cw1} 中的每一个速度值与三角波速度矩阵 V 进行速度匹配,查找到与速度矩阵 V_{cw1} 中相同速度值以及该速度值所在的行值和列值;在速度矩阵 V 中,每找到一个真实目标的速度后,将该行与列的所有数据进行删除,根据真实目标的速度,在速度矩阵 V 中所在的行值和列值,在相应的距离矩阵中找到该行和该列所对应的距离值,该距离值则为真实目标在该速度值下对应的距离值。

[0059] 步骤S5多目标方位角计算的步骤是:计算得到通道1恒频段CW1获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW1}} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \cdots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW2}} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \cdots, \psi'_{cn3}]$ 的对应列上的数据,相位矩阵 $\Psi_{\text{CW1}} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \cdots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{\text{CW2}} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \cdots, \psi'_{cn3}]$,这两个矩阵中对应列上的相位数据;

[0060] 通过公式 $\tan(\Delta\psi) = \tan(\psi_{ci} - \psi'_{ci}) = \frac{\tan(\psi_{ci}) - \tan(\psi'_{ci})}{1 + \tan(\psi_{ci})\tan(\psi'_{ci})}$ $1 \leq i \leq n3$, 进行计算得到

其相位差,则其相位差矩阵为 $\Delta\psi = [\Delta\psi_{c1}, \Delta\psi_{c2}, \cdots, \Delta\psi_{cn3}]$,根据公式 $\theta = \arcsin \frac{\lambda \Delta\psi}{2\pi d}$ 计算方位角,其中, d 为天线间距, λ 为波长。

[0061] 实施例3:作为实施例1的补充,本实施例主要介绍的是采用毫米波雷达实现无人机的避障功能。毫米波雷达与其他的探测方式相比,主要有探测性能稳定、环境适应良好、尺寸小、价格低,可以在相对恶劣的雨雪天气使用等优点。

[0062] 针对旋翼无人机外场飞行过程中对其飞行环境感知能力的不足,尤其是对复杂环境中障碍物的避障能力不足或是缺乏,或是避障时间过短导致无法及时躲避障碍物,从而导致的旋翼无人机碰撞,造成无人机损坏等现象,本实施例提供了一种旋翼无人机远距离复杂环境防撞毫米波雷达系统,通过对无人机飞行前方环境中雷达检测范围内多个障碍物,包括静止目标以及动态目标,可以得到无人机之间的相对距离、相对速度以及方位角的解算。如果一定时间内对目标障碍物的位置进行实时计算,就可以得到动目标障碍物的轨迹以及航迹从而可以判定目标的绝对速度和运动方向,可以对动目标未来的位置进行预测以及跟踪,或是静止目标的实时空间位置的跟踪,根据无人机的飞行速度,提前做好避障路径的规划。

[0063] 旋翼无人机远距离避障毫米波雷达的实现原理主要是通过天线向无人机飞行的

前方一定波束空间辐射电磁能量,使其在空中传播,其中部分辐射能量被离无人机雷达某个距离上的反射障碍物目标所截获,障碍物目标将截获的能量重新辐射到许多方向上,其中一部分重新辐射的能量返回到无人机雷达天线上,被雷达天线所接收。前方障碍物的相关信息经过接收机放大和合适的信号处理后,在接收机输出端做出目标回波信号是否存在的判决,此时,目标的位置和其他可能有关目标的信息就得到了,例如相对速度以及方位角等信息。本实施例主要是针对人、树、墙、网以及高压线等无人机飞行前方存在的危险碰撞目标进行避障。

[0064] 本实施例所设计的毫米波雷达的工作频率在24GHz或77GHz,采用FMCW连续波体制,采用线性调频其距离分辨率高。波形可以采用线性调频三角波FMCW、锯齿波以及恒频波或是这几种波形的组合波形。采用单一的三角波发射波形,可以对目标进行距离以及速度方位角的检测、锯齿波主要是对目标距离以及方位角的检测,恒频波是对目标速度以及方位角的解算,同时由这几种波形组合而成的波形,可以实现多目标距离、速度以及方位角的解算,虚警率更低等特点,可以根据不同的应用场景选择发射波形,从而达到不同的应用领域。

[0065] 本实施例设计的旋翼无人机的最大飞行速度为40km/h,无人机防撞的雷达最大测距为60m,比目前市面上的无人机防撞距离高出很多倍。

[0066] 旋翼无人机远距离复杂环境防撞毫米波雷达信号处理系统的工作原理是利用发射信号和回波信号之间的频率差来确定被测目标的距离、速度。该系统一般由调制信号发生器、压控振荡器(VCO)、发射器、接收器、混频器及信号处理模块、数字信号处理模块等组成。其组成框图如图1所示。

[0067] 如图1所示,本实施例把旋翼无人机远距离复杂环境防撞毫米波雷达信号处理系统主要分为天线分系统,射频分系统,信号调理分系统、信号处理分系统以及报警控制系统等。

[0068] 本实施例给出无人机防撞毫米波雷达的基本工作原理为:

[0069] 1、通过ARM芯片通过控制PLL锁相环来发射线性调频三角波,即输出具有一定幅值和频率的调制信号(本实施例为线性调频连续三角波),采用锁相环可以是发射波形数据更精准,从而提高系统的性能。

[0070] 2、压控振荡器VCO在PLL锁相环的作用下产生一定范围内的发射信号且发射信号的频率按照调制信号的规律进行变化,从而实现线性调频连续波FMCW的工作模式。

[0071] 3、发射信号一路通过发射器辐射到无人机飞行前方的空间中,另一路则与反射回来的回波信号进行混频。回波信号与之前的发射信号相比,其频率已经发生变化,经混频器之后得到的信号就是差频信号。

[0072] 4、无人机飞行前方目标信息就包含在此差频信号中。通过将差频信号经过信号调理即信号放大滤波后输入到ARM芯片进行AD采样。

[0073] 5、在ARM芯片中将采样后的两路IQ数据进行数字信号处理。数字信号处理主要包括FFT时频变化,CFAR门限检测以及距离、速度解耦计算、方位角的计算,对于一些场合可能需要进行动目标显示(MTI)技术和动目标检测(MTD)技术等。

[0074] 6、然后经过一定的信号处理得到目标的距离、速度、角度等相关信息,通过CAN或是其他通信方式接入到无人机主控制器中或是输出通过无线传输方式传回到上位机或是

手机等终端进行实时显示。

[0075] 7、通过对无人机前方危险障碍物距离、速度以及方位的计算,无人机主控制器根据对前方目标实时更新的数据信息进行数据处理,主要包括滤波预测等处理,可以采用卡尔曼滤波以及预测等方法进行,通过滤波以及预测算法对其前方障碍目标可以做到实时检测以及跟踪,通过判断前方目标距离以及速度方位角,结合无人机自身的飞行速度,提前规划好避障策略,从而使得无人机完成整个避障过程。

[0076] 下面根据各个分系统,详细介绍分系统的主要功能和设计方法。

[0077] 天线分系统主要任务是形成雷达探测所需的发射和接收波束,并将发射信号向指定区域辐射,并接收指定区域内的目标散射回波信号。本实施例所设计的天线阵包括一个发射天线、两行接收天线单元,采用微带矩形贴片形式组阵收发天线均通过过孔与背面微波电路连接。该天线发射波束可以根据应用场景进行设计,可选择水平方向采用比相法或是比幅发法进行测角或是俯仰方向测角。本实施例选择微带天线主要是由于,微带天线具有以下优点:体积小、重量轻、低剖面、低成本,并且除了在馈电点处要开出引线外,不破坏载体的机械机械结构;性能多样化,设计的微带元最大辐射方向可以在边射到端射范围内调整,实现多种几何方式;能与有源器件、电路集成为统一的组件,适合大规模生产,简化整机的制作和调试,大大降低成本。

[0078] 射频分系统的设计方法主要是根据无人机防撞毫米波雷达的应用场景和功能需求进行设计,主要完成任务是压控振荡器VCO在PLL锁相环的作用下产生一定范围内的发射信号且发射信号的频率按照调制信号的规律进行变化,从而实现线性调频连续波工作模式。射频分系统射频前端主要由收发集成芯片BGT24MTR12与锁相环ADF4158两个部分组成。其中英飞凌雷达芯片BGT24MTR12是英飞凌公司专门为24G汽车雷达定制,里面集成了包括VCO,PA,LNA,MIXER等发射和接收通道的所有射频模块,该芯片体积小,价格低,性能稳定;ADF4158为ADI公司推出的业界唯一的汽车雷达应用的PLL,其功能多样,使用方便可靠。工作时,由ADF4158产生所需发射波形(一般为三角波,锯齿波及其组合),然后驱动雷达芯片VCO调谐管脚,VCO根据调谐管脚电压产生对应射频信号,其中一路射频信号经过PA放大送到发射天线,另外一路经过分频器6分频,送到ADF4158输入进行锁定。发射信号遇到目标反射,回波经过接收天线送到低噪放大器LNA,LNA将信号放大后经过混频器MIXER下变频至中频模拟信号输出。使用ADF4158进行锁定的目的是为了VCO输出频率更加稳定。

[0079] 信号调理分系统主要是实现中频模拟信号的滤波和幅值放大等功能,包含信号放大和滤波两部分。具体设计方法可以参考图2,所示。

[0080] 信号处理分系统硬件部分采用单ARM处理结构;主要电路包括ARM处理模块、电源模块、串口模块和CAN模块。

[0081] ARM处理模块主要是将信号调理电路输出的四路I/Q中频信号线通过信号调理模块,进入到ARM自带的四路AD采集通道。经过一定的信号处理后通过串口或CAN口输出结果。串口和CAN口根据不同场景可以进行选择。

[0082] 电源模块提供整个信号处理模块的电压。并且提供给射频前端模块和信号调理模块5V和3.3V电压。电源输入采用宽范围输入电压,兼容12V和24V。

[0083] 无人机防撞雷达基带信号处理模块整体设计框图如图3:

[0084] 信号处理分系统软件部分主要进行控制射频前端锁相环PLL发射波形和对回波信

号进行接收、解算并输出测量结果。

[0085] 报警控制分系统主要是通过对信号处理分系统所获得无人机前方危险障碍物距离、速度以及方位的进一步计算,实现无人机主控制器根据对前方目标实时更新的距离、速度、角度等数据信息,进行滤波预测等处理,控制器根据计算的出的数据,结合无人机自身飞行状态,包括飞行速度等,提前做出报警以及控制决策,从而使得无人机可以在复杂环境中自主完成避障过程。

[0086] 实施例4:本实施例作为实施例2的补充,针对旋翼无人机能够对复杂环境实现避障行为,则要求旋翼无人机防撞毫米波雷达能够实现多目标的同时检测问题。对于毫米波实现多目标检测,主要方法有多种,本实施例通过一种采用三角波和恒频波的组合波形来实现多目标的准确检测功能。本实施例是毫米波的中心频率在24GHz或77GHz,波形采用基于恒频波调制的CW信号以及三角波调制的FMCW信号组合而成的波形。波形发射形式为,第一段为三角波,工作频率变化范围为从24.025GHz变化到24.225GHz,带宽为200MHz,三角波周期为20ms,第二段为恒频波,工作频率为24.125GHz,周期为20ms。恒频波CW与线性调频三角波FMCW在一个扫频周期范围内的频率变化图如图4所示。

[0087] 选择该波形的原因在于,三角波FMCW对于单个目标距离以及速度的解算主要是通过上下扫频获得的目标峰值所各自对应的频率值进行配对实现的。但是对于多目标来说,上下扫频对同时检测出多个峰值点,如果进行上下扫频峰值点之间一一配对,则会造成真实目标和大量的虚假目标。当检测的峰值点越多,匹配后虚假目标则会更多。

[0088] 采用恒频波就是为了通过恒频波实现对多目标速度的单一计算,反过来对三角波峰值点一一配对后计算得到的速度矩阵进行真实目标速度的一一搜索。对于真实目标来说,短时间内,恒频波段获得速度值和三角波获得速度值基本上是一样的,误差会很小,由此可以在三角波中找到真是目标对应速度矩阵中的坐标位置,真实目标的距离矩阵和速度矩阵是完全对应的,由此距离矩阵中相应位置的距离值则为真实目标的距离,从而达到对真实目标的检测工作,大大的降低虚假目标。如图5所示,在R-V空间图中可以看到,恒频波和三角波上下扫频实现单个目标距离速度得解算原理;通过图6则可以很好地看到,组合波形对于实现多个目标的速度距离的解算原理。

[0089] 本实施例所设计的旋翼无人机复杂环境防碰撞系统,要求不仅主要对多个目标实现测距、测速功能,还有一定的测角功能,这样对于后期旋翼无人机对障碍物进行避障行为提供更好的空间依据,能够更好地实现旋翼无人机对飞行前方环境的感知能力以及决策判断能力。因此,本实施例采用了双通道IQ数据的采集。通过双通道的比相法实现对目标方位角的计算。

[0090] 基于组合波形的旋翼无人机复杂环境防碰撞系统信号处理流程图,如图7所示如下:

[0091] 具体实现步骤如下:

[0092] 1.对通道1中的第一段三角波FMCW上扫频段和第二段三角波FMCW下扫频段、第三段恒频波CW1段,通道2中的恒频波CW2段,选取各段线性度高的数据,根据数据点数选择进行适当点数的FFT变换,进行时频变化,将时域数据转换成频域数据;

[0093] 2.将各段波形FFT变换后的复数模值做门限检测CFAR,输出过门限点位置,门限检测可以选择单元平均选大或是单元平均选小等方式设计相应的门限。根据过门限的点计算

其对应的频率值,同时计算出恒频段过门限点对应的相位值。

[0094] 设通道1中,三角波上扫频过门限的点数有 n_1 个,其对应的位置矩阵为 $N_{up} = [a_1, a_2, \dots, a_{n_1}]$,根据公式 $f = \frac{(N-1)f_s}{M}$ (f_s 为采样率, M 为FFT的点数, N 为位置点, f 为频率值)计算对应点上的频率矩阵,计算得到的频率矩阵为 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$;同理三角波下扫频过门限的点数有 n_2 个,其对应的位置矩阵为 $N_{down} = [b_1, b_2, \dots, b_{n_2}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$;恒频段过门限的点数有 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw1} = [c_1, c_2, \dots, c_{n_3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,同时假设峰值点对应的FFT后的复数据为 $a_{cw1} + 1j * b_{cw1}$,其相位可以根据公式 $\psi_{pl} = \arctan(\frac{b_{cw1}}{a_{cw1}})$ 计算得到,设其过门限

的点对应的相位矩阵 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$;通道2中恒频段过门限的点数与通道1中过门限的点数相同也为 n_3 个,其对应的位置矩阵为 $N_{cw2} = [c_1, c_2, \dots, c_{n_3}]$,计算得到的频率矩阵为 $F_{cw2} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,其对应的相位矩阵 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$ 。

[0095] 若过门限的位置点等于1,则认为其是直流分量,不作为目标判定,直接剔除该位置点;

[0096] 3. 根据步骤2中通道1计算的 $F_{cw1} = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn3}]$,根据速度计算公式 $v = \frac{c}{2f_0} f_{ci}$ $i=1, 2, \dots, n_3$,得到其速度矩阵为 $V_{cw1} = [v_{c1}, v_{c2}, \dots, v_{cn3}]$,其中, c 为光速, $c=3 \times 10^8$, f_0 为中心频率, $f_0=24.125\text{GHz}$ 。

[0097] 4. 将步骤2中得到的通道一三角波上扫频频率矩阵 $F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 和下扫频对应的频率矩阵 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$,根据公式 $R = \frac{cT}{8B}(f_{up} + f_{down})$ 计算其距离值,根

据公式 $v = \frac{c(f_{down} - f_{up})}{4f_0}$,计算其速度值,其中, T 为三角波周期, $T=20\text{ms}$, B 为调频带宽, $B=200\text{MHz}$, c 为光速, $c=3.0 \times 10^8$, f_0 为中心频率, $f_0=24.125\text{GHz}$ 。根据上面描述的,将矩阵

$F_{up} = [f_{a1}, f_{a2}, \dots, f_{an1}]$ 中的数据和矩阵 $F_{down} = [f_{b1}, f_{b2}, \dots, f_{bn2}]$ 中的数据,两两进行配对计

算距离和速度。计算得出的距离矩阵为 $R = \begin{bmatrix} r_{a1b1} & r_{a2b1} & \dots & r_{an1b1} \\ r_{a1b2} & r_{a2b2} & \dots & r_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{a1bn2} & r_{a2bn2} & \dots & r_{an1bn2} \end{bmatrix}$,其中 r_{aibj} ($1 \leq i \leq n_1, 1$

$\leq j \leq n_2$),表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第 j 个元素进行计

算得到的距离值;计算得出的速度矩阵为 $V = \begin{bmatrix} v_{a1b1} & v_{a2b1} & \dots & v_{an1b1} \\ v_{a1b2} & v_{a2b2} & \dots & v_{an1b2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{a1bn2} & v_{a2bn2} & \dots & v_{an1bn2} \end{bmatrix}$,其中 v_{aibj} ($1 \leq i \leq$

$n_1, 1 \leq j \leq n_2$),表示是由上扫频矩阵中 F_{up} 的第 i 个元素与下扫频矩阵中 F_{down} 第 j 个元素进行计算得到的速度值。从距离矩阵 R 和速度矩阵 V 中可以看出,如果得出真实目标在速度矩阵的坐标值,通过该坐标值在距离矩阵 R 中相应坐标对应的距离值则为真是目标的距离值。

[0098] 5. 下面通过恒频波的速度矩阵 V_{cw1} 和三角波获得速度矩阵 V 进行多目标的真实速度的匹配以及查找,同时获得多目标的真实距离。

[0099] 具体操作如下:将恒频波速度矩阵 V_{cw1} 中的每一个速度值与三角波速度矩阵 V 进行速度匹配,查找到与速度矩阵 V_{cw1} 中相同速度值以及该速度值所在的行值和列值。在速度矩阵 V 中,没找到一个真实目标的速度后,将该行与列的所有数据进行删除,这样则保证频率之间唯一的配对关系。根据真实目标的速度,在速度矩阵 V 中所在的行值和列值,在相应的距离矩阵中找到该行和该列所对应的距离值,该距离值则为真实目标在该速度值下对应的距离值。由此完成所有真实目标距离以及速度的查找。

[0100] 6. 进行多目标的方位角计算。由于在步骤2中,计算得到通道1恒频段CW1获得的相位矩阵 $\Psi_{CW1} = [\psi_{c1}, \psi_{c2}, \dots, \psi_{cn3}]$ 和通道2恒频段CW2获得的相位矩阵 $\Psi_{CW2} = [\psi'_{c1}, \psi'_{c2}, \dots, \psi'_{cn3}]$,

对应列上的数据,通过公式 $\tan(\Delta\psi) = \tan(\psi_{ci} - \psi'_{ci}) = \frac{\tan(\psi_{ci}) - \tan(\psi'_{ci})}{1 + \tan(\psi_{ci}) \tan(\psi'_{ci})}$ $1 \leq i \leq n3$,进行计

算得到其相位差,则其相位差矩阵为 $\Delta\psi = [\Delta\psi_{c1}, \Delta\psi_{c2}, \dots, \Delta\psi_{cn3}]$ 。根据公式 $\theta = \arcsin \frac{\lambda \Delta\psi}{2\pi d}$

计算方位角,其中, d 为天线间距, λ 为波长。

[0101] 由此上面几步则完成复杂环境中多目标距离、速度以及方位角的解算工作,完成旋翼无人机飞行前方具有多目标障碍物的复杂环境的感知工作,从而为旋翼无人机在复杂环境中做出避障行为,提供更准确的复杂环境的感知能力以及更快速的判断能力和执行能力。

[0102] 实施例5:对于上述各方案中,峰值处理,本实施例提供一种应用于无人机信号的峰值处理方法:

[0103] 设置一个峰值点阈值因子 α ,其用于限制检测出的过门限最大峰值点与上一周期出现的最大峰值点的差值绝对值,使得该差值绝对值不得大于该峰值点阈值因子 α :

[0104] 表达式如下:

[0105] $|L_{\max}(k) - L_{\max}(k-1)| \leq \alpha;$

[0106] $\alpha = \frac{2v_{\max}}{\lambda} \frac{fs}{N};$

[0107] 其中: $L_{\max}(k)$ 为 k 周期的过门限最大峰值点坐标, $L_{\max}(k-1)$ 为上一周期的最大峰值点坐标, k 表示第 k 时刻; $v_{\max}$ 为无人机最大飞行速度, λ 为毫米波雷达波长, fs 为采样率, N 为FFT的点数;

[0108] 如果 k 时刻,过门限最大峰值点与 $k-1$ 时刻过门限最大峰值点的绝对值差值在所设置的峰值点阈值因子 α 范围内,则认为第 k 周期的峰值点有效;如果 k 时刻,过门限最大峰值点超过所设置的峰值点阈值因子 α ,则 k 时刻输出的峰值点用 $k-1$ 时刻的峰值点进行替换。

[0109] 作为上述技术手段的解释,在相邻周期的一个时间单元内,当前周期解算出的峰值点,与上个周期的峰值点,如果在相邻周期内,速度没有发生变化,则峰值点在相邻周期内也会保持不变,但是如果在相邻周期时间内,无人机水平飞行速度发生变化,会导致当前周期的峰值点在上一周期的峰值点发生一定的变化,如果是无人机靠近目标,则当前周期的点数会小于上一周期的点数,如果无人机远离目标,则当前周期的点数会大于上一周期的点数,该峰值点的变化范围即是所设计的峰值点阈值因子 α ,该因子选取的取值范围,主

要取决于在相邻周期内,无人机的最大飞行速度,即公式 $\alpha = \frac{2v_{\max}}{\lambda} \bigg/ \frac{fs}{N}$,其中 $v_{\max}$ 为无人机最大飞行速度, λ 为毫米波雷达波长, fs 为采样率, N 为FFT的点数。

[0110] 但是如果旋翼无人机飞行环境发生突变后,对应的过门限的峰值点数也可能会连续发生超出所设计的阈值因子。如果不进行修正,发生突变后,每个周期检测到的过门限最大峰值点都会超过设置的阈值因子,每次过门限最大峰值点坐标都会被修正为上一时刻的峰值点坐标,即同理值也会保持突变前的值,不能适应突变后的值。为了提高无人机对各种环境的适应能力,为此引入一个峰值点突变累计因子 ϕ 。

[0111] 设置一个峰值点突变累计因子 ϕ ,该峰值点突变累计因子 ϕ 的定义为,如果从 k 时刻开始,连续 b 个周期, b 的取值范围为 $5 \sim 10$,过门限最大峰值点与前一周期的过门限最大峰值点相比,都超过阈值门限因子 a ,则第 $k+b$ 时刻,将当前时刻解算出的过门限最大峰值点作为当前时刻的过门限最大峰值点。为了保证跟踪的实时性,建议 b 的取值为 $5 \sim 10$ 个。

[0112] 通过上一步得出过门限最大峰值点后,为了提高表系统值测量的精度,提出提高测距精度的谱最大估计算法。

[0113] 理想情况下,回波差频信号的频谱只有一个谱线,但是实际在使用过程中,由于采样存在栅栏效应,离散频谱最大幅值谱线必然会发生偏移谱峰位置,从而通过峰值点计算出的距离值与实际距离将会存在一定的误差。当谱峰发生偏移的时候,相对于主瓣峰值所对应的中央谱线将会两种情况,即左偏或是右偏。如果过门限最大值峰值点的左右峰值中,左边峰值大于右边峰值,则中央谱线所在的位置,在最大峰值点与左边峰值点之间,反之,则在最大峰值点与右边峰值点之间。

[0114] 由于FFT计算得到的频谱对连续距离普等间距采样,其频谱幅值最大点必定位于其曲线的主瓣内,主瓣内有且仅有两个采样点。设过门限最大峰值点 A_1 的坐标为 (a_1, k_1) ,其中, a_1 表示过门限最大峰值点的值, k_1 表示过门限峰值点对应的幅度值;最大峰值点左右两边,次峰值点坐标为 $A_3(a_3, k_3)$,设所求的中央峰值点 A 为 $(a_{\max}, k_{\max})$,则 $e = a_{\max} - a_1$,则 A_1 点,关于 A 点对称点 A_2 坐标为 $(a_2, k_1) = (a_1 + 2e, k_1)$,复包络的零点 A_4 为 $(a_4, k_1) = (a_3 + e, 0)$;

[0115] 其中: a_2, a_3, a_4 是对应点的过门限最大峰值点的值, k_3, k_4 是对应点的过门限峰值点对应的幅度值;

[0116] A_2, A_3 和 A_4 近似为一条直线,其线性关系为:

$$[0117] \quad \frac{k_1 - k_3}{k_1} = \frac{a_3 - a_1 - 2e}{a_3 - a_1 - e};$$

$$[0118] \quad \text{令 } l = \frac{k_1 - k_3}{k_1}, \text{ 则 } e = \frac{(l-1)(a_3 - a_1)}{(l-2)};$$

[0119] 设定误差 E 与偏差 e 进行比对,如果 $|e| < E$,则此时的过门限峰值点的值则为所要求的中央峰值点的值,如果偏差 e 大于所设定的误差 E 时, $l = \frac{a_3 - a_1 - \beta e}{a_3 - a_1 - e}$, β 为修正因子,取值范

围为 $1.5 \sim 1.9$,该修正因子的选取理由是:由于初始的时候 $l = \frac{a_3 - a_1 - 2e}{a_3 - a_1 - e}$, A 点对称点 A_2 坐标为 $(a_2, k_1) = (a_1 + 2e, k_1)$,初始条件时 A 点横轴坐标点与 A_2 横轴坐标是关于最大峰值点对

称的,即A2的坐标点是 $a1+2e$,如果偏差 e 大于所设定的误差 E 时,说明A2的坐标选取过大,也即是最大峰值点在 $a1+2e$ 之间,2倍的偏差 e 需要进行取小,本发明采用的修正方法是,通过改变修正因子 β 的大小从而改变 1 值,然后进行 e 的不断迭代,直到 e 小于设定的误差 E 为止。修正因子 β 的取值原则可以根据所需求达到的 E 值进行选取,如果 E 需求精度不高,修正因子 β 可以选择 1.9 进行修正,如果 E 需求精度很高,可能需要多次迭代达到要求,则需要修正因子 β 尽量选择小一点,可以选择 1.5 进行修正,本发明给出了一个快速解算出最大峰值点的修正因子的区间范围值,即修正因子 $\beta=1.5\sim 1.9$ 。改变修正因子计算出 e 的值,以计算得到中央峰值点的值 $a_{max}=a1+e$ 。

[0120] 作为另一种实施例,还包括步骤:距离跟踪:设置一个阈值因子 ε ,其用于限制当前距离数据 $H(k)$ 与上一周期出现的距离数据 $H(k-1)$ 的差值绝对值,使得该差值绝对值不得大于该阈值因子 ε ;

[0121] 表达式如下:

[0122] $|H(k)-H(k-1)|\leq\varepsilon$, ε 取值范围为 $0.8\sim 1.3$;

[0123] 如果 k 时刻的数据与 $k-1$ 时刻的绝对值差值,在所设置的阈值因子 ε 范围内,则认为第 k 周期的峰值点有效;如果 k 时刻,数据超过所设置的阈值因子 ε ,则 k 时刻输出的数据用 $k-1$ 时刻的数据进行替换。

[0124] 设置一个突变累计因子 θ ,该突变累计因子 θ 的定义为,如果从 k 时刻开始,连续 b 个周期,数据与前一周期的数据相比,都超过阈值门限因子 θ ,则第 $k+b$ 时刻,将当前时刻解算出的数据作为当前时刻的数据。

[0125] 作为一种实施例,具体到本实施例中,对于上述未执行距离跟踪或执行了距离跟踪的,输出时,对于单次输出的距离数据,采用滑窗算法进行距离值的输出;

[0126] 第 k 时刻的数据等于滑窗中的 N_c 个值去掉最大值和最小值后的均值,作为最后的数据输出,其计算公式为

$$[0127] \quad H(k) = \frac{\sum_{i=k-N_c}^k H(i) - \max(H(k-N_c+1), \dots, H(k)) - \min(H(k-N_c+1), \dots, H(k))}{N_c}$$

其中 N_c 表示滑窗所采用的数据点数。

[0128] 采用峰值跟踪算法和跟踪算法,可以有效避免由于单次或是多次峰值搜索的错误而导致一次或是多次数据解算的异常现象,如在单次峰值搜索过程中,发生峰值跳变,相邻周期之间的峰值差值很大,同时由与峰值的跳变,而引起的发生很大的跳变,即该周期内,峰值跳变引起的跳变范围,已经远远大于由无人机速度引起的一个周期所产生的距离变化范围。由此峰值跟踪以及跟踪可以有效避免这种异常峰值导致的异常值,从而有效地提高跟踪的数据的稳定度。

[0129] 以上所述,仅为本发明创造较佳的具体实施方式,但本发明创造的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明创造披露的技术范围内,根据本发明创造的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明创造的保护范围之内。

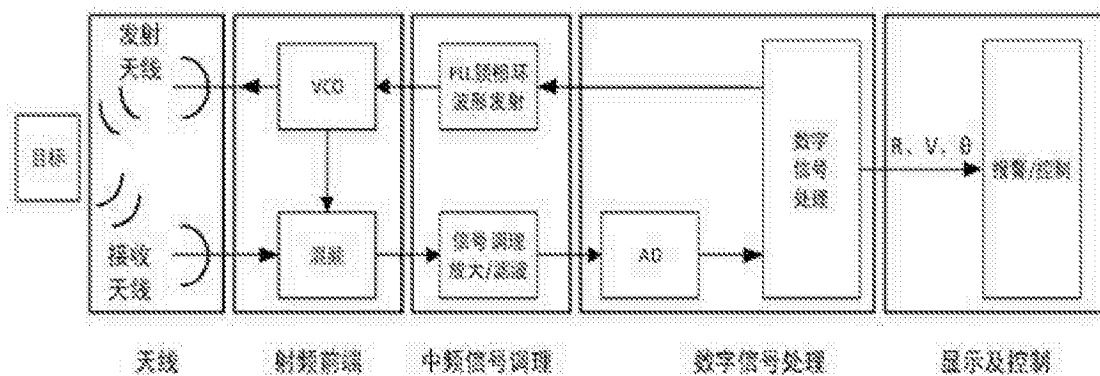


图1

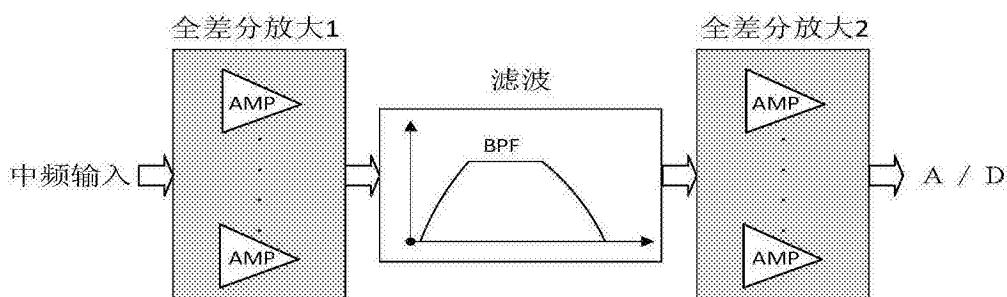


图2

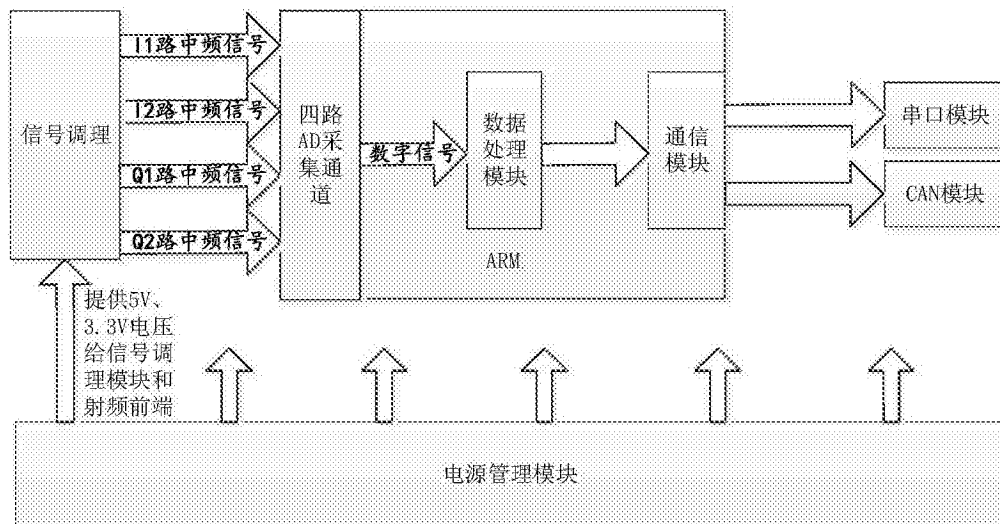


图3

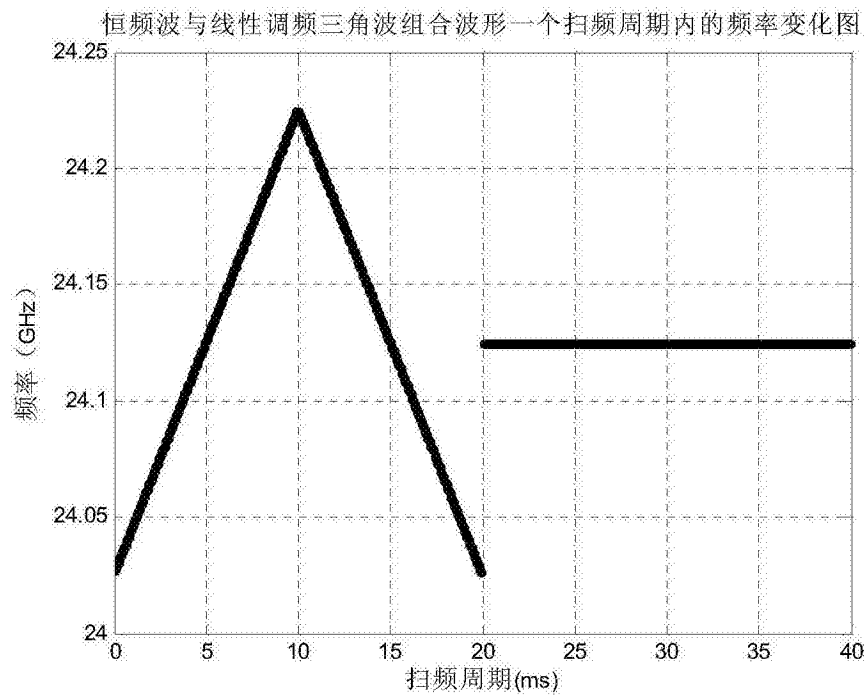


图4

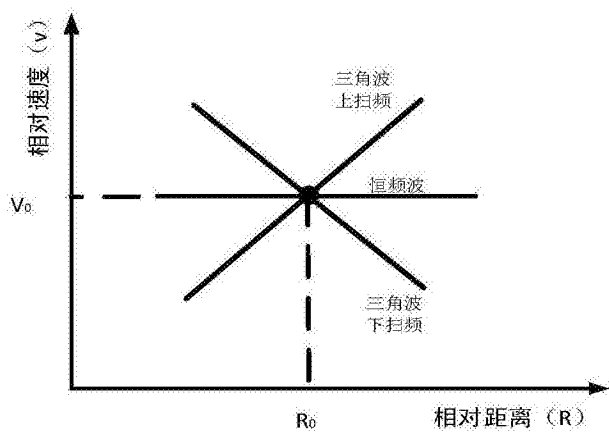


图5

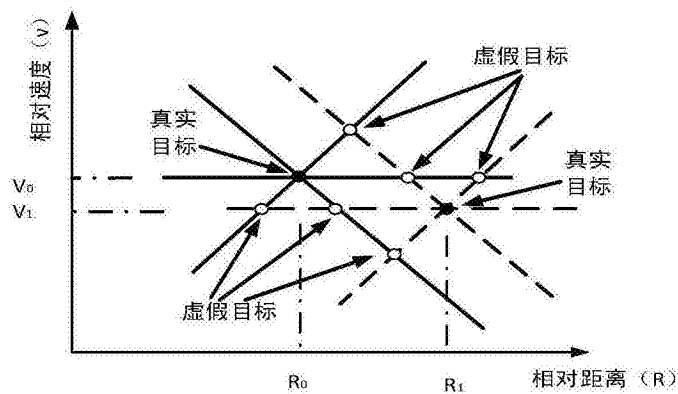


图6

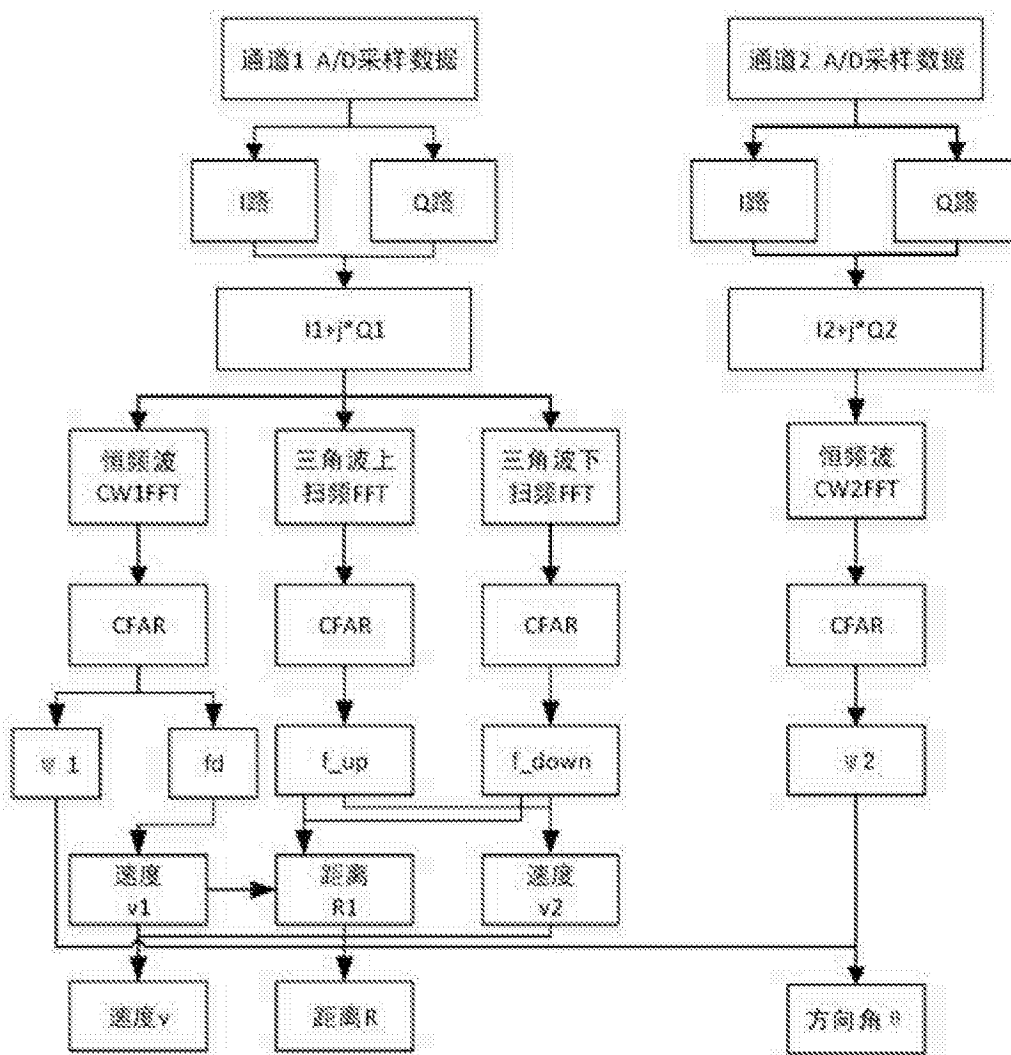


图7