



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110632587 A

(43)申请公布日 2019. 12. 31

(21)申请号 201910956944.9

(22)申请日 2019.10.10

(71)申请人 南京凌云科技发展有限公司
地址 210019 江苏省南京市建邺区梦都大街132号408室

(72)发明人 房晓辉 韩海峰

(74)专利代理机构 南京乐羽知行专利代理事务所(普通合伙) 32326

代理人 李玉平

(51) Int. Cl.

G01S 13/58(2006.01)

G01S 7/41(2006.01)

G01S 7/35(2006.01)

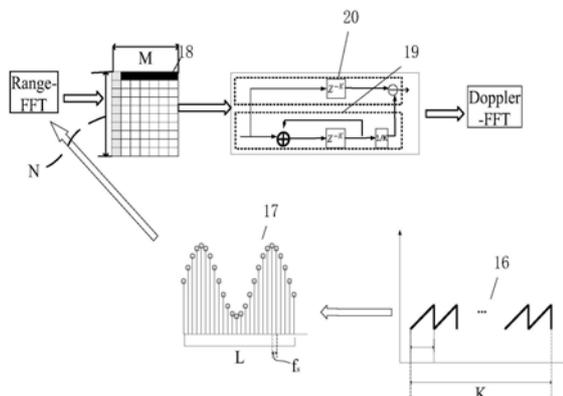
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,具体包括如下内容:通过安装在道路上方的快速FMCW雷达产生频率调制的发射信号;发射信号和快速FMCW雷达接收到的回波经过混频得到差拍信号s,经过二次混频变成正交基带信号;经过ADC采样的数字信号数据输出给后端处理电路板,进行计算处理,在对得到的差拍信号进行二维FFT中的多普勒FFT之前,将具有微弱信号的多普勒回波从静止杂波中分离,利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,再进行多普勒FFT,得到速度信息。



1. 一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,其特征在于,具体包括如下内容:通过安装在道路上方的快速FMCW雷达产生陡坡线性频率调制的发射信号;发射信号和快速FMCW雷达接收到的回波经过混频得到差拍信号s,经过二次混频变成正交基带信号;经过ADC采样的数字信号数据输出给后端处理电路板,进行计算处理,在对得到的差拍信号进行二维FFT中的多普勒FFT之前,将具有微弱信号的多普勒回波从静止杂波中分离,利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,再进行多普勒FFT,得到速度信息。

2. 如权利要求1所述的基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,其特征在于,第m个距离单元X(m,k)为:

$$X(m, k) = A_c e^{2\pi j \varphi_c} + A_m e^{2\pi j \Delta \varphi (k-1)} \quad (3)$$

式(3)的前半部分为杂波,后半部分为运动目标;

所述利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,主要分两步进行:相干积分和相干相减;在第一步相干积分中,将一帧内K个的扫频的距离FFT后的X(m,k)积分求和,然后除以K,求出平均值:

$$C(m) = \frac{\sum_{k=1}^K X(m, k)}{K} = A_c e^{2\pi j \varphi_c} + \frac{\sum_{k=1}^K A_m e^{2\pi j \Delta \varphi (k-1)}}{K} \quad (4)$$

$$\approx A_c e^{2\pi j \varphi_c}$$

第二步,相干相减,根据式(3)和(4),得:

$$\gamma(m, k) = X(m, k) - C(m) \approx A_m e^{2\pi j \Delta \varphi_m (k-1)} \quad (5)$$

上式可以看出,只会含有运动物体的相位变化;再对 $\gamma(m, k)$ 进行多普勒FFT,得到速度信息。

3. 如权利要求1或2所述的基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,其特征在于,后端处理电路板,进行计算处理还包括:进行距离的确定,不同扫频中的差拍信号拍频相同,但相位变化 $\Delta\varphi$ 对距离微小的变化会做出相对敏感的反应,可以由下式得到:

$$\Delta\varphi = 4\pi f_0 v T_{chirp} / c \quad (1)$$

其中 $|\Delta\varphi| < \pi$,那么可以针对不同扫频之间的相位变化的FFT来体现目标运动速度,这时的FFT称为多普勒FFT;

差拍信号s可以用以k,l为参数的函数表示:

$$s(l, k) = e^{j(2\pi f_r l / f_s + \varphi_0 + k \Delta \varphi)} \quad (2)$$

其中k代表扫频数,l代表单个扫频的差拍信号经过 f_s 采样得到的采样点的个数, φ_0 表示初始相位偏置。

4. 如权利要求1所述的基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,其特征在于,快速FMCW雷达线性调制波形的扫频周期在1us到100us之间,以帧为单位的发射序列中包含有50到1000个扫频,单个扫频的带宽以GHz为单位。

5. 如权利要求1所述的基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,其特征在于,快速FMCW雷达前端组成为开环VCO电路,发射天线,接收天线,以及混频器;混频器将发射波和接收波进行混频,产生差拍信号,输出给后端ADC,后端DSP芯片接收到ADC的数据,在对差拍信号做距离FFT后,将具有微弱信号的速度信息从杂波中分离,再进行速度FFT运算,最终可以

准确的得到弱运动物体的速度距离信息。

一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,具体是一种从静止物体的杂波中监测弱运动目标距离和速度的方法,属于雷达监测技术领域。

背景技术

[0002] 在道路目标监测技术中,只有雷达监测系统不受天气,光线,雾霾等环境因素影响。所以,雷达系统被广泛应用。在雷达系统中,调频连续波(FMCW)雷达与脉冲波雷达相比,其硬件要求更低,设计简单,所以更受欢迎。

[0003] 传统FMCW雷达中,对于静止物体,差拍信号的拍频 f_b 取决于雷达发射波和回波之间的延迟时间,确定目标与雷达的距离。然而,对于运动目标,必定存在着多普勒效应,并且影响着拍频 f_b ,所以单斜率(只有上升沿或只有下降沿)调制的锯齿波FMCW,由于时宽比较大,单个扫频周期往往示1到10ms,存在所谓的距离-速度耦合现象,并且是不能消除的。因此,单个扫频上拍频并不能准确的监测距离和速度。

[0004] 为了得到目标和雷达之间的距离和目标速度的唯一值,在传统FMCW雷达中通常是借助彼此交替上升和下降扫频进行调制,也就是用三角波进行频率线性调制。从而在R-v平面内会确定两条斜率相反的直线,即可确定目标距离和速度唯一值。但在多目标监测中,由于雷达参数相同,多个目标的发射信号处于频率扫频上升和下降的频段会产生多组平行的直线,比如两个目标时,就会有四个交点,那么其中两个是虚假目标。随着目标数量的增加,虚假目标会成倍增加。

[0005] 为了克服多值性,往往加入另外一种扫频率的直线,三个直线交于一点,从而确定真实目标。然而,目标增多时,通常就需要使用其他扫频率的扫频,以便更容易的分辨多值性。这样就增加了设计难度,以及硬件的要求。

[0006] 并且在传统FMCW雷达系统中,距离频移和多普勒频移往往在kHz的范围内,这也是有源器件的闪烁噪声范围,限制了FMCW雷达分辨率。为解决上述问题,采用快速FMCW,即增大锯齿调制的扫频率的FMCW波,带宽GHz量级,周期 μs 量级,用传统的VCO和PLL组成的闭环系统很难达到这样的量级,所以为了达到快速FMCW的要求,应用开环雷达系统,即不再用锁相环PLL产生线性chirp信号,而是直接利用DAC信号控制VCO输出所需的高斜率的线性频率信号。可以解决锯齿波的距离-速度耦合问题,同时避免了三角波调制出现的多值问题。

[0007] 另外,真实道路上,有许多来自静止物体的强烈回波。在这种情况下,虽然杂波与行人在多普勒频域中位置明显分离,但是杂波的旁瓣可能完全掩盖行人。为了防止这种失真,一个流行的解决方案是在做FFT之前加上一个窗函数,该窗在距离频域和多普勒频域对不需要的回波提供旁瓣抑制。但由于加窗函数的缘故,势必使得频谱在相邻谱线上溢出,使得多普勒频域内的杂波主瓣变宽,从而掩盖行人等弱运动目标。

发明内容

[0008] 发明目的:针对现有技术中存在的问题与不足,本发明提供一种基于快速FMCW雷

达的弱运动物体监测方法。快速FMCW雷达系统,其中,FMCW线性调制波形的扫频周期在1us到100us之间,以帧为单位的发射序列中包含有50到1000个扫频,单个扫频的带宽以GHz为单位,这样发射的FMCW信号的扫频率远远大于传统的FMCW信号,由此使得运动目标产生的多普勒频移相对于距离频移可以忽略不计,从而消除FMCW单扫频产生的距离-速度耦合现象。本发明对得到的差拍信号进行二维快速傅里叶变换,得到距离速度信息。利用相干相位的方法消除静止物体产生的杂波,从而区分出弱运动目标。

[0009] 技术方案:一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,具体包括如下内容:

[0010] 通过安装在道路上方的快速FMCW雷达产生陡坡线性频率调制的发射信号;发射信号和接收到的回波经过混频得到差拍信号s,经过二次混频变成正交基带信号;经过ADC采样的数字信号数据输出给后端处理电路板,进行计算处理,由于弱运动物体产生的多普勒效应是微弱的,很容易被周边的静止物体的反射波以及噪声所掩盖,所以在对得到的差拍信号进行二维FFT中的多普勒FFT之前,利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,将具有微弱信号的回波中多普勒信息从杂波中分离,从而可靠地监测出之前在杂波中被遮掩的慢速运动目标,再进行多普勒FFT,得到速度信息。

[0011] 后端处理电路板,进行计算处理:首先进行距离的确定,不同扫频中的差拍信号拍频(为距离频移)相同,但相位变化 $\Delta\varphi$ 对距离微小的变化会做出相对敏感的反应,可以由下式得到:

$$[0012] \quad \Delta\varphi = 4\pi f_0 v T_{\text{chirp}} / c \quad (1)$$

[0013] 其中 $|\Delta\varphi| < \pi$,v为被监测物体的速度, T_{chirp} 为一个chirp(线性调频信号)周期,c为光速, f_0 为FMCW波形扫频的中心频率。那么可以针对不同扫频之间的相位变化的FFT来体现目标运动速度,这时的FFT称为多普勒FFT。

[0014] 差拍信号s可以用以k、l为参数的函数表示:

$$[0015] \quad s(l, k) = e^{j(2\pi f_r l / f_s + \varphi_0 + k\Delta\varphi)} \quad (2)$$

[0016] 其中k代表扫频数,即chirp数,l代表单个扫频的差拍信号经过 f_s 采样得到的采样点的个数, φ_0 表示初始相位偏置;

[0017] 设第r个距离单元 $X(r, k)$,即经过式距离FFT的计算得到第r个单元:

$$[0018] \quad X(r, k) = A_c e^{2\pi j\varphi_c} + A_r e^{2\pi j\Delta\varphi(k-1)} \quad (3)$$

[0019] 式(3)的前半部分为杂波,后半部分为运动目标;也就是说运动目标的相位会随扫频数做周期变化,杂波的相位则不会变;

[0020] 所述利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,从而可靠地监测出之前在杂波中被遮掩的慢速运动目标,主要分两步进行:相干积分和相干相减;在第一步相干积分中,将一帧内K个的扫频的距离FFT后的 $X(m, k)$ 积分求和,然后除以K,求出平均值:

$$[0021] \quad C(m) = \frac{\sum_{k=1}^K X(m, k)}{K} = A_c e^{2\pi j\varphi_c} + \frac{\sum_{k=1}^K A_m e^{2\pi j\Delta\varphi(k-1)}}{K} \quad (4)$$

$$\approx A_c e^{2\pi j\varphi_c}$$

[0022] 一般K的值为50到1000,运动目标在扫频上的相位变化会被抵消,而杂波的相位 φ_c 就会保留下来;第二步,相干相减,根据式(3)和(4),得:

$$[0023] \quad \gamma(m, k) = X(m, k) - C(m) \approx A_m e^{2\pi j \Delta \varphi_m(k-1)} \quad (5)$$

[0024] 上式可以看出,只会含有运动物体的相位变化;再对 $\gamma(m, k)$ 进行多普勒FFT,得到弱运动速度信息。

附图说明

[0025] 图1是现有技术中识别运动目标距离和速度的方法原理图;

[0026] 图2是快速FMCW雷达系统前端的框图;

[0027] 图3是本发明方法中识别弱运动目标的方法原理图;

[0028] 1、雷达前端,2、行人,3、静止物体,4、采样频率,5、混频器,6、VCO,7、发射天线,8、接收天线,9、正交混频中的频率,10、ADC采样,11、发射波在f-t坐标上的波形,12、ADC采样后差拍信号的时域中的波形,13、数列矩阵模块,14、相干平均模块,15、相干减模块。

具体实施方式

[0029] 下面结合具体实施例,进一步阐明本发明,应理解这些实施例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围,在阅读了本发明之后,本领域技术人员对本发明的各种等价形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

[0030] 一种基于快速FMCW雷达的弱运动物体监测方法,雷达前端组成为开环VCO电路,发射天线,接收天线,以及混频器;混频器将发射波和接收波进行混频,产生差拍信号,经过正交混频以降低采样频率,输出给后端ADC,后端DSP芯片接收到ADC的数据,由于弱运动物体产生的多普勒效应是微弱的,很容易被周边的静止物体的反射波以及噪声所掩盖,在对差拍信号做距离FFT后,将具有微弱信号的速度信息从杂波中分离,再进行速度FFT运算,最终可以准确的得到弱运动物体的速度距离信息。本发明在二维FFT中的多普勒FFT之前,将具有微弱信号的多普勒回波从静止杂波中分离,利用相干相位差法抑制包括干扰在内的平稳回波,从而可靠地监测出之前在杂波中被遮掩的行人等慢速运动目标。具体包括如下内容:

[0031] 通过安装在道路上方的快速FMCW雷达产生频率调制的发射信号,发射信号频率与时间在扫频周期 T_{chirp} 内呈线性关系, B 为带宽, f_0 为中心频率, T_{chirp} 为扫频周期, $S=B/T_{\text{chirp}}$ 为扫频率;快速FMCW雷达接收到的回波相当于是延迟了 t_d 的发射信号;经过混频得到差拍信号 s ,经过二次混频变成正交基带信号。如图1所示,经过ADC采样的数字信号数据输出给后端处理电路板,进行计算处理。

[0032] 首先进行距离的确定,对于快速FMCW,扫频率 S 较大,则距离引起的频移 f_r 远大于速度的多普勒频移 f_v ,则拍频 f_b 主要由距离频移决定。同样在进行FFT后,在频域中,由于扫频周期 T_{chirp} 较小,频谱分辨率为 $1/T_{\text{chirp}}$, f_v 无法大于频谱分辨率的情况下,映射到频谱上无法区别出来,拍频 f_b 单体现距离特征,其中的多普勒频移 f_v 完全可以忽略。这时的FFT称为距离FFT。这时尖峰对应频率位置即认为是 f_r 。这样也就不考虑距离-速度耦合的问题了,直接通过距离FFT得到距离频移的信息,从而由 $f_r = \frac{2Sd}{c}$ 得到距离,其中 S 为扫频率,即FMCW波形中chirp的斜率, d 为物体与雷达之间的距离, c 为光速,即电磁波的速度。这也是快速FMCW优于传统FMCW的地方。

[0033] 由前面所述,不同扫频中的差拍信号拍频(为距离频移)相同,但相位变化 $\Delta\varphi$ 对距

离微小的变化会做出相对敏感的反应,可以由下式得到:

$$[0034] \quad \Delta\varphi = 4\pi f_0 v T_{\text{chirp}} / c \quad (1)$$

[0035] 其中 $|\Delta\varphi| < \pi$, v 为被监测物体的速度, T_{chirp} 为一个chirp(扫频)周期, c 为光速, f_0 为FMCW波形的中心频率。那么可以针对不同扫频之间的相位变化的FFT来体现目标运动速度,这时的FFT称为多普勒FFT。

[0036] 综上所述,差拍信号 s 可以用以 k 、 l 为参数的函数表示:

$$[0037] \quad s(l, k) = e^{j(2\pi f_r l / f_s + \varphi_0 + k\Delta\varphi)} \quad (2)$$

[0038] 其中 k 代表扫频数, l 代表单个扫频的差拍信号经过 f_s 采样得到的采样点的个数。 φ_0 表示初始相位偏置。

[0039] 快速FMCW进行二维FFT的数学表达式可以描述为首先对 $s(l, k)$ 单个扫频做 M 点傅里叶变换:

$$[0040] \quad X(m, k) = \sum_{l=1}^L s(l, k) \cdot e^{-2\pi j \frac{l}{M} m}$$

[0041] 其中, L 为一个扫频中采样样点, k 表示扫频数, M 为距离FFT的点数, 下面称为距离单元数, 那么 m 就是距离单元的编号, $m=1 \sim M$ 。

[0042] 一帧范围内由 K 个chirp, 那么同一个距离单位上就有 K 个点, 再对 $s(l, k)$ 的同一个单位距离上 K 个点做 N 点傅里叶变换:

$$[0043] \quad Z(m, n) = \sum_{k=1}^K X(m, k) e^{-2\pi j \frac{k}{N} n}$$

[0044] 其中, N 为多普勒FFT的点数, 多普勒FFT的点称为多普勒单元, 那么, n 即为多普勒单元的编号。

[0045] 基于上述快速FMCW雷达对道路目标进行监测, 静止物体产生的强噪声就可能将弱运动目标淹没在其主瓣或者多个旁瓣中, 所以一般是在时域上加一个合适的窗。然而时域中加窗, 虽然抑制了旁瓣, 但也会导致频域中频谱在相邻谱线上扩散, 使得多普勒频域中的杂波主瓣变宽, 掩盖了移动的目标。

[0046] 为了克服这个问题, 本发明针对上述的二维FFT进行相应的改进, 提出一个针对弱运动物体监测的方法, 即在多普勒FFT处理之前, 保存运动分量, 抑制零多普勒分量。设第 r 个距离单元 $X(r, k)$, 即经过式(3)的计算得到, 简化为:

$$[0047] \quad X(r, k) = A_c e^{2\pi j \varphi_c} + A_r e^{2\pi j \Delta\varphi(k-1)} \quad (3)$$

[0048] 其中, A_c 为杂波幅度, φ_c 为杂波相位, $\Delta\varphi(k-1)$ 为第 k 个扫频的多普勒效应引起的相位变化, 式(3)的前半部分为杂波, 后半部分为运动目标。也就是说运动目标的相位会随扫频数做周期变化, 杂波的相位则不会变。

[0049] 这里提出基于相干相位差的监测弱运动的方法。主要分两步进行: 相干积分和相干相减。在第一步相干积分中, 我们将一帧内 K 个的扫频的距离FFT后的 $X(m, k)$ 积分求和, 然后除以 K , 求出平均值。

$$\begin{aligned}
 [0050] \quad C(m) &= \frac{\sum_{k=1}^K X(m, k)}{K} = A_c e^{2\pi j \varphi_c} + \frac{\sum_{k=1}^K A_m e^{2\pi j \Delta \varphi (k-1)}}{K} & (4) \\
 &\approx A_c e^{2\pi j \varphi_c}
 \end{aligned}$$

[0051] 一般K的值为50到1000,由于上述的相位周期性变化,运动目标在扫频上的相位变化会被抵消,而杂波就会保留下来。第二步,相干相减,根据式(3)和(4),得:

$$[0052] \quad \gamma(m, k) = X(m, k) - C(m) \approx A_m e^{2\pi j \Delta \varphi_m (k-1)} \quad (5)$$

[0053] 上式可以看出,只会含有运动物体的相位变化。再对 $\gamma(m, k)$ 进行多普勒FFT,得到速度信息。

[0054] 图2标明了本发明的整个流程,发射信号发射一帧为K个扫频的FMCW信号,经过混频后,得到差拍信号,并用 f_s 的采样率进行采样,单个扫频的采样点数为L。

[0055] 如图3所示,对K个扫频分别进行M点的快速傅里叶变换,存放到账列矩阵模块18的行中。相干平均模块19为进行式9的过程,得到平均值。相干减模块20为进行式(5)的过程。

[0056] 经过模块19和20后,结果只有运动目标的相位变化,达到了抑制杂波的目的。此时对式(5)的结果进行多普勒FFT,就可以得到相位的频谱信息。经过式(1)的换算,得到速度信息。

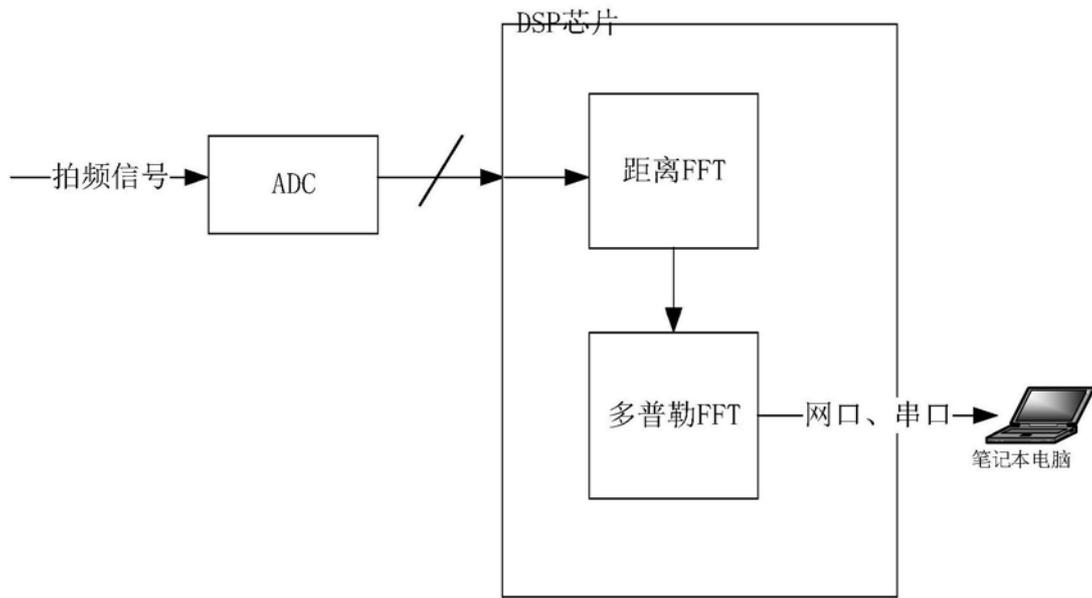


图1

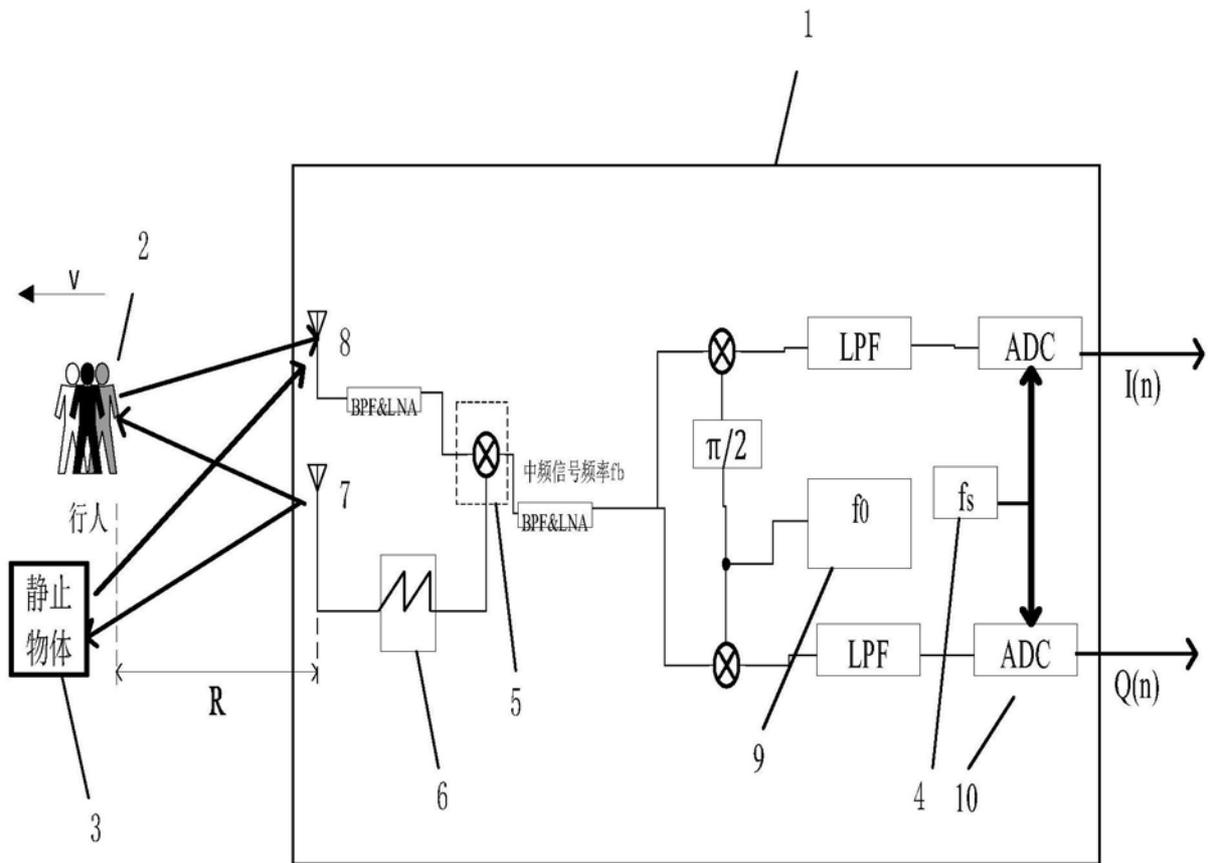


图2

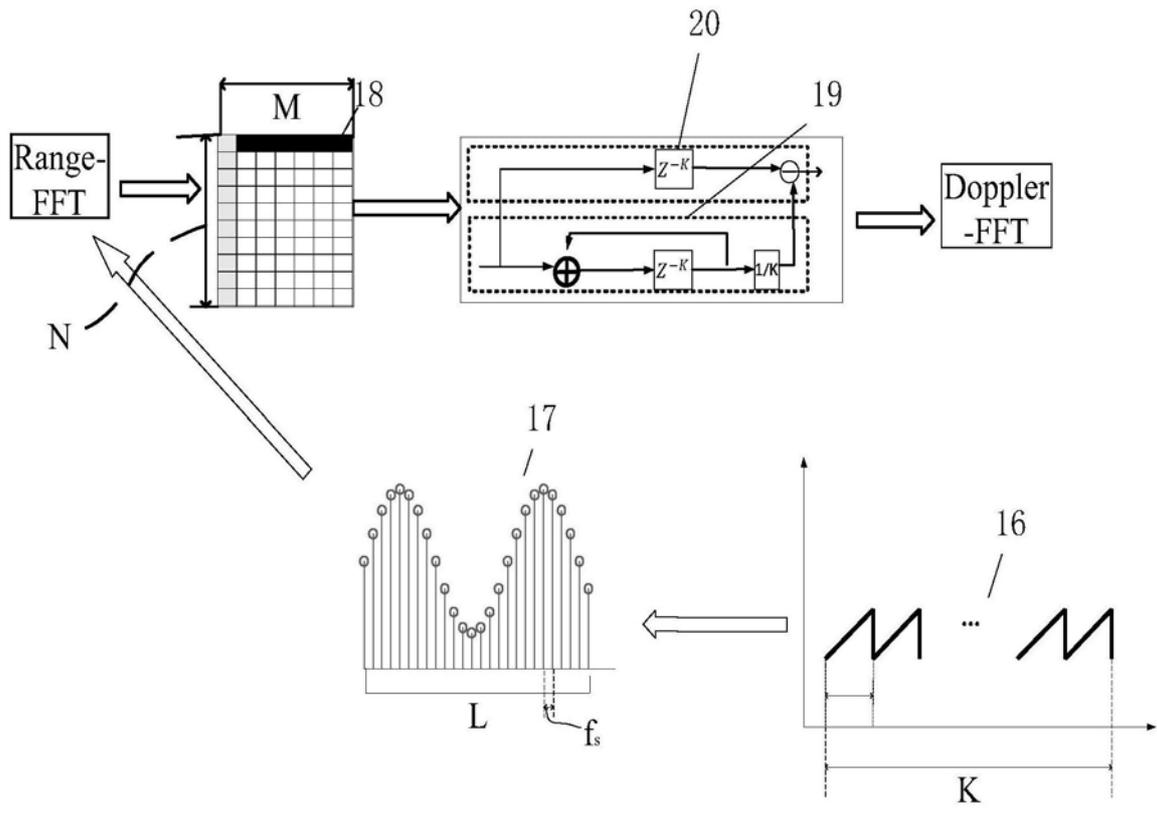


图3