



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710072478.5

[43] 公开日 2008年1月23日

[11] 公开号 CN 101109798A

[22] 申请日 2007.7.6

[21] 申请号 200710072478.5

[71] 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号1号楼哈尔滨工程大学科研处知识产权办公室

[72] 发明人 司锡才 司伟建 张忠民 谢纪岭

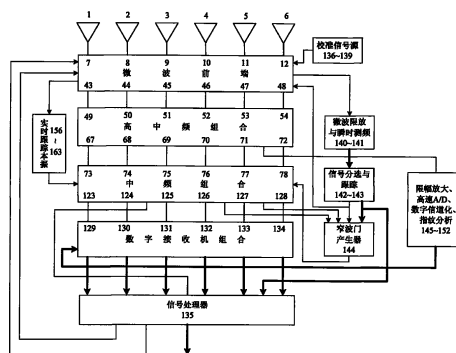
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

P、L 波段辐射源精确测向装置及测向方法

[57] 摘要

本发明涉及的是 P、L 波段辐射源精确测向装置及测向方法。它由六个阵元组成的天线阵列和相应的 6 个接收机、信号处理器以及校准信号源等组成，由空中目标发射的微波信号经六个天线接收并送入其后的六个微波接收机，然后经过高中频和中频接收机的变频、放大等处理后送入数字接收机，数字接收机经高速 A/D 变换提取 6 路信号对应的相位值并送入信号处理器，信号处理器采用空间谱估计 MUSIC 算法，解算出信号的入射角 θ ，实现了对 P、L 波段辐射源的高精度测向。



1 一种 P、L 波段辐射源精确测向装置，其特征是：由六个天线、六路微波接收机、六路高中频接收机、六路中频接收机、六路数字接收机、信号处理器和基于信号的实时跟踪本振组成，天线接收空中目标发射出的微波信号并将其输入到微波接收机，微波接收机连接高中频接收机，高中频接收机连接中频接收机，中频接收机连接数字接收机，数字接收机连接信号处理器。

2、根据权利要求 1 所述的 P、L 波段辐射源精确测向装置，其特征是：六个天线布置呈圆形的天线阵列，其中一个天线位于圆心且高出其它天线 30mm，另外五个沿圆周等间距分布。

3、根据权利要求 2 所述的 P、L 波段辐射源精确测向装置，其特征是：微波接收机与中频接收机之间连接着基于信号的实时跟踪本振。

4、根据权利要求 3 所述的 P、L 波段辐射源精确测向装置，其特征是：它还包括校准信号源，校准信号源连接微波接收机。

5、一种 P、L 波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：6 个布成圆阵的天线阵列接收空间辐射的信号并将其送入微波前端，进入微波前端的信号经过宽波门选通、放大，将该信号输入到高中频组合，由输入信号与频综器输出的本振信号经混频器变成带宽为 240MHz 的高中频信号，将这个信号放大后输入到中频组合，中频组合中的第二次混频器是将输入的高中频信号和实时跟踪本振的信号混频，输出中频信号，保留了输入信号相位和幅度的相对关系，将中频信号输入到数字接收机，数字接收机将模拟信号经 A/D 变成数字信号，经过数字混频和滤波，提取信号的相位 ϕ ，数字接收机配有对脉冲压缩信号进行匹配的匹配滤波器，如果信号是脉冲压缩的，则采用匹配滤波器，滤波器的参数由数字信道化指纹分析的参数进行装订；由中频组合输入到数字接收机的中频信号是经声表面波延迟 2us 后的信号，再经窄波门选通延迟 2us 后的信号前沿；由数字接收机提出的各路信号的相位 ϕ 值并输入到信号处理器，信号处理器根据阵列流型有关参数、输入的频率码，用空间谱估计 MUSIC 算法解算出空间谱峰的位置，即信号的入射角度。

6、根据权利要求 5 所述的 P、L 波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：基于信号的实时跟踪本振，是以输入的信号作为参考，将信号 f_s 减一个固定中频的信号 f_L （即 $f_s - f_L$ ）作为本振信号。

7、根据权利要求6所述的P、L波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：频率码由瞬时测频接收机测出，经分选与跟踪器分选与识别选择出的信号频率，输入到信号处理器。

8、根据权利要求7所述的P、L波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：宽波门产生器由瞬时测频接收机输入到预分选跟踪器的频率码和脉冲流，经预分选和跟踪器产生宽波门，选通微波前端的开关。

9、根据权利要求8所述的P、L波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：窄波门产生器由输入的宽波门和宽波门内的脉冲流，和方位面与俯仰面输入的相位差，经过对比较大的噪声尖冲的滤除和宽波门内的异部信号剔除。

10、根据权利要求9所述的P、L波段辐射源精确测向装置的测向方法，其特征是：校准信道的相位不一致性，在微波前端设置开关，用信号脉冲前沿进行对信号的测向，信号处理器在脉冲后沿延迟0.2~0.5us，产生一个脉冲信号，关闭信号的开关，打开接校准信号的开关，使同一个校准信号进入各信道，校准各信道的相位不一致性。

P、L 波段辐射源精确测向装置及测向方法

技术领域

本发明涉及的是一种通信技术中的阵列信号处理高精度测向技术。

背景技术

现今国内外反辐射导弹导引头大都采用测向精度比较高的相位干涉仪测向方法,这种测向方法在 2GHz 以上可获得比较高的精度,一般可以达到 $1^\circ/\sigma$ 以上。但辐射源辐射频率在 P、L 波段即 0.2~2GHz 时,由于受导弹体积的限制,导引头安装天线的面积不能太大,所以由相位干涉仪测向误差公式:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi L \cos\theta}$$

可知 λ/L 的比值比较大,并且 $\Delta\phi$ 不可能为零,而且最好也只能做到 5° 左右,因此 $\Delta\theta$ 比较大,即测角精度比较低。要想在 0.2~2GHz 频段内获得高的测角精度必须寻找其他的测向方法。

发明内容

本发明的目的在于提供一种测角精度可达 $1^\circ/\sigma$ 的 P、L 波段(0.2~2GHz)辐射源精确测向装置。本发明的目的还在于提供一种针对 P、L 波段辐射源的精确测向方法。

本发明是这样实现的:本发明的 P、L 波段辐射源精确测向装置由六个天线、六路微波接收机、六路高中频接收机、六路中频接收机、六路数字接收机和信号处理器组成,天线接收空中目标发射出的微波信号并将其输入到微波接收机,微波接收机连接高中频接收机,高中频接收机连接中频接收机,中频接收机连接数字接收机,数字接收机连接信号处理器。

本发明的 P、L 波段辐射源精确测向装置还包括:

1、六个天线布置呈圆形的天线阵列,其中一个天线位于圆心且高出其它天线 30mm,另外五个沿圆周等间距分布。

- 2、微波接收机与中频接收机之间连接着基于信号的实时跟踪本振。
- 3、它还包括校准信号源，校准信号源连接微波接收机。
- 4、它还包括微波限放与瞬时测频机、信号分选与跟踪器、窄波门产生器。

本发明的 P、L 波段辐射源精确测向方法为：

6 个布成圆阵的天线阵列接收空间辐射的信号并将其送入微波前端，进入微波前端的信号经过宽波门选通、放大，将该信号输入到高中频组合，由输入信号与频综器输出的本振信号经混频器变成带宽为 240MHz 的高中频信号，将这个信号放大后输入到中频组合，中频组合中的第二次混频器是将输入的高中频信号和实时跟踪本振的信号混频，输出中频信号，保留了输入信号相位和幅度的相对关系，将中频信号输入到数字接收机，数字接收机将模拟信号经 A/D 变成数字信号，经过数字混频和滤波，提取信号的相位 ϕ ，数字接收机配有对脉冲压缩信号进行匹配的匹配滤波器，如果信号是脉冲压缩的，则采用匹配滤波器，滤波器的参数由数字信道化指纹分析的参数进行装订；由中频组合输入到数字接收机的中频信号是经声表面波延迟 2us 后的信号，再经窄波门选通延迟 2us 后的信号前沿；由数字接收机提出的各路信号的相位 ϕ 值并输入到信号处理器，信号处理器根据阵列流型有关参数、输入的频率码，用空间谱估计 MUSIC 算法解算出空间谱峰的位置，即信号的入射角度。

本发明的方法还可以包括：

- 1、基于信号的实时跟踪本振，是以输入的信号作为参考，将信号 f_s 减一个固定中频的信号 f_L （即 $f_s - f_L$ ）作为本振信号。

- 2、频率码（CF）由瞬时测频接收机测出，经分选与跟踪器分选与识别选择出的信号频率，输入到信号处理器。

- 3、宽波门产生器由瞬时测频接收机输入到预分选跟踪器的频率码和脉冲流，经预分选和跟踪器产生宽波门，选通微波前端的开关。

- 4、窄波门产生器由输入的宽波门和宽波门内的脉冲流，和方位面与俯仰面输入的相位差，经过对比较大的噪声尖冲的滤除和宽波门内的异部信号剔除，实现稳定准确的跟踪目标。

- 5、校准信道的相位不一致性，在微波前端设置开关，用信号脉冲前沿进行对信号的测向，信号处理器在脉冲后沿延迟 0.2~0.5us，产生一个脉冲信号，关

闭信号的开关，打开接校准信号的开关，使同一个校准信号进入各信道，校准各信道的相位不一致性。

附图说明

图 1 是测向装置的天线阵列示意图；

图 2 是测向装置组成方框图；

图 3 是测向装置的工作过程方框图；

具体实施方式

下面结合附图和具体工作过程对本发明作进一步的说明：

结合图 1，六个天线 1~6 布置呈圆形的天线阵列，其中一个天线位于圆心且高出其它天线 30mm，另外五个沿圆周等间距分布。

结合图 2 和图 3，6 个天线 1~6 组成的天线阵列接收的六路信号分别输入到六路微波前端，六路微波前端 7~12 的 6 个双态衰减器作为输入级，经过开关 13~18 的 6 路开关、6 路低噪声高频放大器 HFA19~24，再经过 6 路分路器 25~30 和宽波门选通开关 31~36、滤波器 37~42，将 6 路信号输入到 6 路混频器，混频器将 6 路输入信号与频综器 155 送来的 6 路本振信号进行混频变成 $f_s + f_L$ 即 0.2~2G 与 5.8~4G 相加，变成 6GHz 的信号，其带宽为 240MHz，将这个 6GHz 的信号输入到高中频组合。高中频组合中的 6 路放大器 HIFA49~54 作为 6 路输入级，经 6 路分路器 55~60、6 路滤波器 61~66 将 6 路滤波器输出的 6 路信号输入到混频器 67~72 与基于信号的实时本振 156~163 送来的信号进行混频，混出 $f_{\text{HF}} - f_{\text{HF}} + f_L = 70\text{MHz} + \phi_{1-6}$ 的中频信号输入到中频组合。中频组合的输入级是 6 路中频放大器 73~78，这 6 路信号再经 6 个分路器 79~84、延迟线 85~90 输入到 6 个开关 91~96，这 6 个开关由窄波门 144 选通，选通后的信号再经 6 路各自滤波器的滤波、6 路中频放大器 IFA103~108 的放大、分路器 109~114 的分路和 6 路各自的限幅放大和 6 路的滤波后输入到数字接收机组合。数字接收机组合由 129~134 组成，它们是 6 个数字接收机，与 6 路射频前端相对应，完成与 LPI 雷达信号的匹配和 6 路信号的相位提取，将相位 ϕ 输入到信号处理器 135，信号处理器根据输入的载频码和阵列流型的参数将输入的 6 路信号的相位 ϕ 值，用 MUSIC 算法解算出空间谱峰的位置即信号的入射角 θ 。

实时跟踪本振 156~163，是以信号为参考产生的频率为 $f_s - f_L$ 的信号作为混

频器 67~72 的本振信号实现实时跟踪频率捷变雷达信号，使系统的灵敏度提高 18dB；校准信号源 136~139 用来完成实时校准各个信道的幅、相不一致性，以提高测角精度；微波限放与瞬时测频 140~141，实现实时测频，为信号分选与跟踪器以及信号处理提供载频码；信号分选与跟踪器 142~143，根据输入的频率码和脉冲流进行分选和跟踪，给出宽波门对微波前端的 6 个开关 31~36 进行控制。

窄波门产生器 144 是根据输入的宽波门及其宽波门内的脉冲流和天线 1、2、5、6 构成的比相支路输出的相位差，产生一个窄波门，选通中放组合中经 2us 延迟线延迟的脉冲前沿，以消除多路径效应的影响，这一点是通过选通开关 91~96 实现的。

结合图 3，天线 1、2、3、4、5、6，双稳态衰减器 7、8、9、10、11、12，开关 13、14、15、16、17、18，低噪声高频放大器 HFA 19、20、21、22、23、24，分路器 25、26、27、28、29、30，开关 31、32、33、34、35、36，滤波器 37、38、39、40、41、42 组成微波前端。天线接收的信号经过各自的功能块输入到混频器，双态衰减器是应对强信号时，由信号处理器控制衰减将信号衰减 50dB；开关 13~18 是校准开关，同样由信号处理器在信号脉冲的后沿延迟 0.2~0.5us 产生一个 0.3~0.5us 的脉冲信号关闭入射信号端，开启校准信号端，使同一个校准信号同时输入到 6 个信道中进行相位和幅度校准，放大器 HFA 19~24 用来提高接收机的灵敏度，开关 31~36 是由宽波门控制来选通信号的。

混频器 43、44、45、46、47、48，高中频放大器 HIFA 49、50、51、52、53、54，分路器 55、56、57、58、59、60，滤波器 61、62、63、64、65、66 组成高中频组合。混频器 43~48 将微波前端的信号与频综器 155 的本振信号混频，其输出信号为一个高中频，经放大器 49~54 放大后，再经分路器 55~60 分路，其中分路器 57 分出 1 路用于产生基于信号的实时本振信号，分路器 59 分出一路用于数字信道化，提取信号脉内指纹信息，分路器 55、56、58、60 是为使各路平衡而设置的。

混频器 67、68、69、70、71、72，中频放大器 IFA73、74、75、76、77、78，分路器 79、80、81、82、83、84，延迟线 85、86、87、88、89、90，开关 91、92、93、94、95、96，滤波器 97、98、99、100、101、102，中频放大器 IFA 103、104、105、106、107、108，分路器 109、110、111、112、113、114，限幅器 115、116、117、120、121、122 和 DLVA 118、119，滤波器 123、124、125、

126、127、128 组成中频组合。由高中频组合输入到混频器 67~72 的信号与实时跟踪本振信号经混频器 67~72 混出的中频信号，是带宽为 10MHz 的中频信号，这样就实现了实时跟踪脉间频率捷变的雷达信号，分路器 79、78，分路器 83、84 各分出一路作为方位面和俯仰面的相位鉴相，分路器 81、82 各分出 1 路产生宽脉冲内的脉冲流，延迟线 85~90，各延迟 2us，以弥补窄波门产生器占用的时间，保证窄波门能采到信号脉冲前沿或靠近脉冲前沿的部分，实现消除多路径效应的影响和宽波门内异物信号的干扰；开关 91~96 是窄波门选通开关选通上述的信号前沿，放大器 103~108 是将信号放大，分路器 111、112 各分出一路进行 DLVA 视频放大取其幅值，其他 4 个分路器 109、110、113、114 是为了使各路平衡而设置的，限幅放大器 115~122 是为了增大信号的动态范围，滤波器 123~128 满足 60dB（最好 64 dB）的通带与止带的抑制比。

数字接收机 129、130、131、132、133、134 将中频组合输出的模拟信号进行 A/D 变换，数字混频和数字匹配滤波，最终提取各路的相位 ϕ 值，输入到信号处理器。

信号处理器根据 1~6 路输入的相位 ϕ 值和输入的信号频率码 CF 和天线阵列流型的参数，用 MUSIC 算法解算出空间谱峰的位置即信号的入射角 θ ，完成测向。根据输入信号的幅度对双稳态衰减器进行控制；由信号脉冲后沿延迟 0.3~0.5us，产生一个 0.3~0.5us 脉冲控制开关 13~18，进行各信道的相位与幅度不一致性的校准。

锁相源 156、中频放大器 IFA 137、滤波器 158、功分器 159、调制器 160、滤波器 161、高中频放大器 HIFA 162 和 6 路分路器 163 组成基于信号的实时跟踪本振，由分路器 57 分出的一路信号 f_s 输入到调制器 160，被锁相源信号 f_L 经分路器变成正交的信号调制单边带的 $f_s - f_L$ ，作为实时跟踪频率捷变的本振信号。

限幅放大器 140，瞬时测频 141，信号分选 142，信号跟踪器 143 构成信号分选与跟踪支路，限幅放大器可以增加动态范围，瞬时测频实时测出信号的频率并给出脉冲流，经过预分选和跟踪器给出宽波门，输入到窄波门产生器和选通开关 31~36。

限幅放大器 145，混频器 146，锁相源 147，放大器 148，滤波器 149，高速 A/D150，数字信道化 151，信号分选与指纹分析 152 组成数字信道化与脉内指

纹分析组合，限幅放大器 145 增大动态范围，混频器 146 将分路器 59 分出的高频信号与锁相源本振信号混频后，输出一个带宽为 Δf 频率为 f 的信号，经滤波器 149 滤波后，进行高速 A/D 变换，再经数字信道化后输入到信号分选与指纹分析器 152，对信号进行分选和脉内指纹分析，给出雷达类型、雷达参数、脉内指纹参数去装订数字接收机 129~134 中的滤波器的系数。

限幅放大器 164、165，鉴相器 166，限幅放大器 167、168，鉴相器 169，窄波门产生器 144，DLVA 170、171，相加器 172，整形器 173 组成窄波门产生系统。由鉴相器 166，169 输出的方位面和俯仰面的相位差、信号跟踪器输出的宽波门、载频 CF 码，整形器 173 输出的信号，将这些信号输入到窄波门产生器经滤波，消除噪声中大的尖冲信号的干扰和剔除宽波门中异部信号的干扰，产生一个窄波门，选通经延迟线 85~90 延迟后的信号前沿。

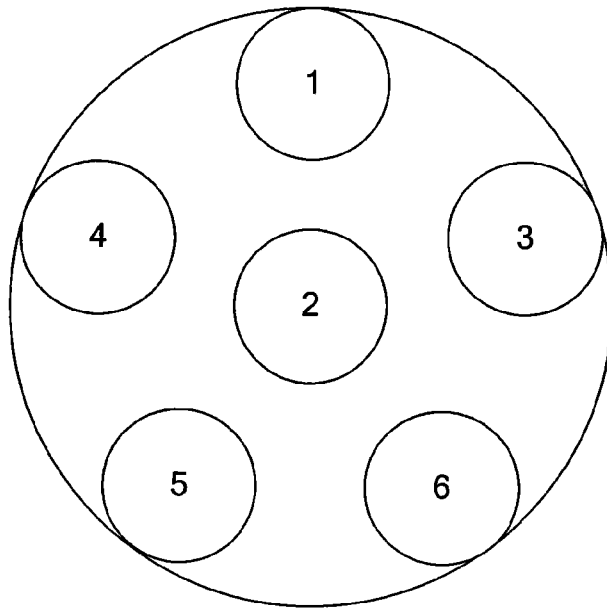


图 1

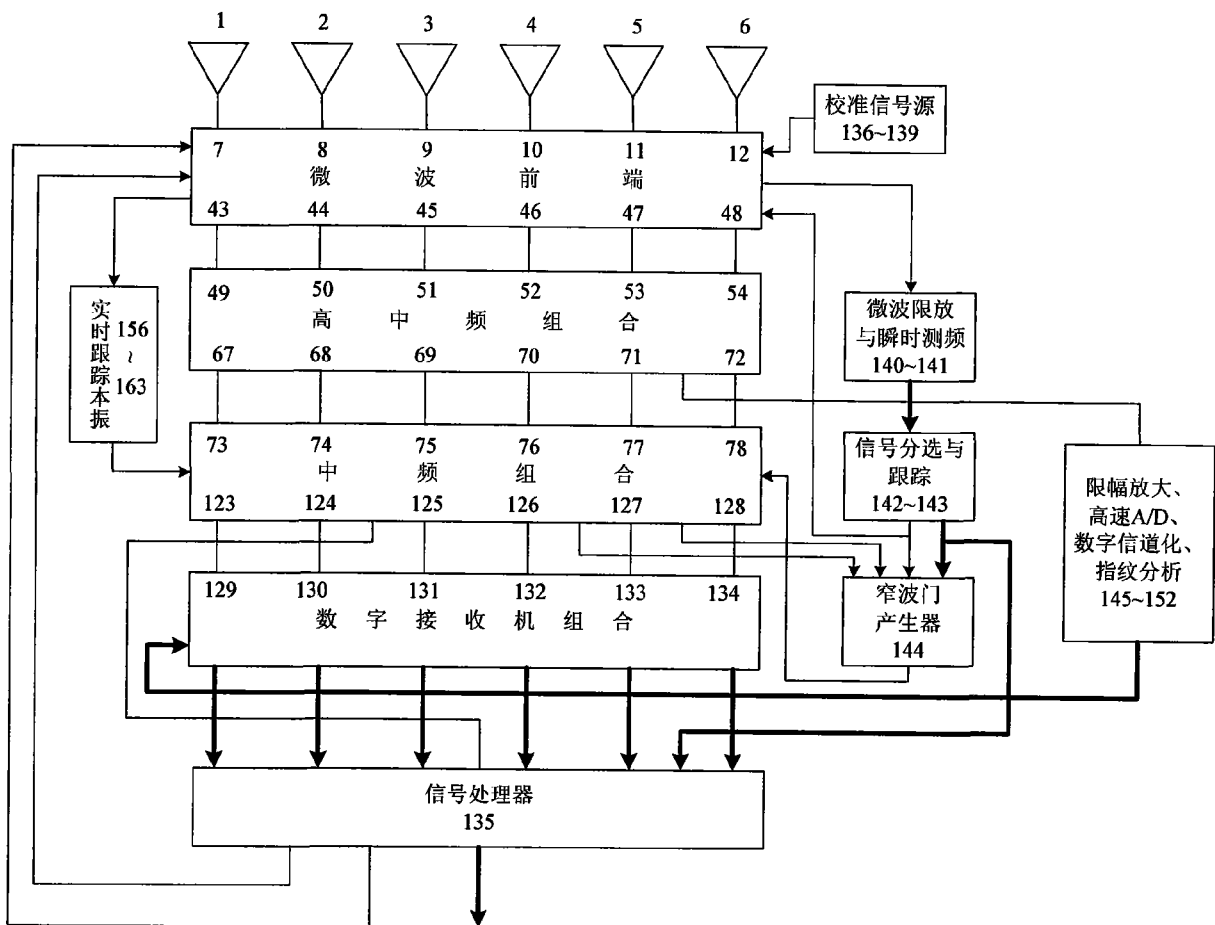


图 2

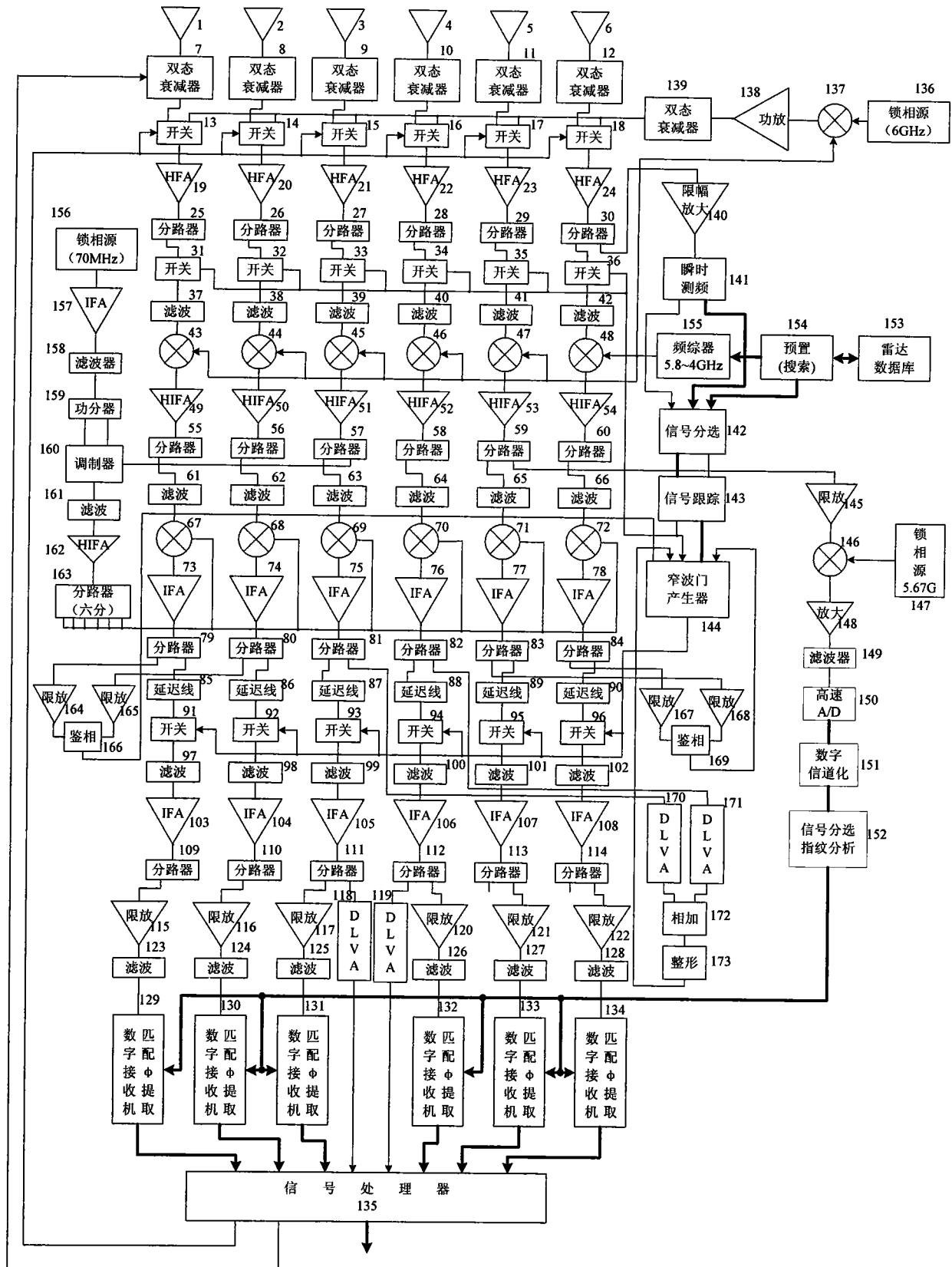


图 3