



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105182372 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201510621462. X

(22) 申请日 2015. 09. 25

(71) 申请人 中国人民解放军国防科学技术大学

地址 410073 湖南省长沙市砚瓦池正街 47

号中国人民解放军国防科学技术大学

机电工程与自动化学院

(72) 发明人 樊彦 杨俊 杨建伟 周永彬

杨光 李献斌

(74) 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所 43008

代理人 周长清

(51) Int. Cl.

G01S 19/24(2010. 01)

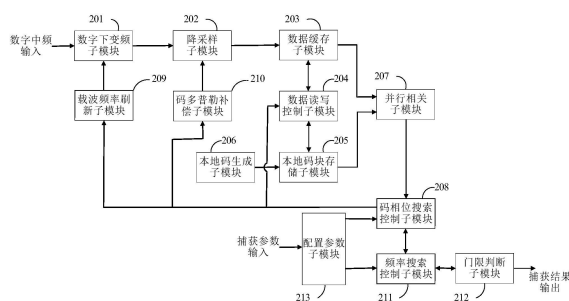
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

## (54) 发明名称

一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统

## (57) 摘要

一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法及系统, 该方法的步骤为: S1: 采用三个高速模数转换器同时对三频段模拟中频信号进行低通采样, 得到数字中频信号; S2: 三频段数字中频信号同时按照各自设定的载波频率, 进行下变频处理, 得到三频段待解扩的数据流; S3: 采用时分复用捕获的方式实现三频段多通道信号的捕获; S4: 进行码相位搜索; S5: 等待下一个存储器切换时刻; S6: 利用一个数据采样周期完成一个频率单元搜索的速度, 逐级收敛多普勒频率搜索范围, 获得信号的载波参数; S7: 搜索时间估计峰值点信号的码相位时延; S8: 获得准确的即时码相位, 输出捕获结果。该系统用来实现上述方法。本发明具有易实现、精度高、能够满足当前工程化条件等优点。



1. 一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法,其特征在于,步骤为:

S1:采用三个高速模数转换器同时对三频段模拟中频信号进行低通采样,得到数字中频信号;

S2:三频段数字中频信号同时按照各自设定的载波频率,进行下变频处理,并以标称扩频码速率 2 倍的频率加上搜索载波频率下的码多普勒补偿频率进行降采样处理,得到三频段待解扩的数据流;

S3:采用时分复用捕获的方式实现三频段多通道信号的捕获,利用提取的捕获参数控制当前的捕获搜索过程,并通过捕获参数中的搜索完成状态和通道参数分别进行波段切换和通道切换;

S4:存储器切换时刻,刷新搜索频率和码多普勒补偿频率,存储当前搜索频率下的采样数据,并在高倍时钟的驱动下循环快速的读取上一个搜索频率缓存的数据,以滑动相关的方式进行码相位搜索;

S5:完成采样数据的码相位搜索等待下一个存储器切换时刻;

S6:利用一个数据采样周期完成一个频率单元搜索的速度,逐级收敛多普勒频率搜索范围,获得信号的载波参数;

S7:利用门限判别时刻的载波搜索时间估计峰值点信号的码相位时延,并对搜索的码相位结果进行相位补偿处理;

S8:采用一次部分并行的相位搜索获得准确的即时码相位,输出捕获结果。

2. 根据权利要求 1 所述的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法,其特征在于,所述步骤 S4 中,采用统一的捕获延时参数控制当前待解扩数据流乒乓缓存的切换时间,实现数据的无缝缓存或固定延时缓存。

3. 根据权利要求 1 所述的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法,其特征在于,所述步骤 S8 中,所述捕获结果包括最大相关值、次大相关值、以及在设计误差范围内的即时频率、即时码相位。

4. 一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的,其特征在于,包括:

数字下变频器模块 (201),用来按照设定的搜索频率对中频数字信号进行下变频处理;

降采样子模块 (202),用来以 2 倍码速率对下变频后的数据进行降采样,得到当前频率搜索单元下待解扩积分的数据流;

数据缓存子模块 (203),用来根据延时参数控制两个双端口存储器对待解扩积分的数据流进行缓存处理,通过统一的延时参数确定数据无缝缓存或固定延时缓存的等待时间;

数据读写控制子模块 (204),用来利用高倍时钟快速读取缓存数据,并通过控制本地码存储子模块 (205) 同步读取由本地码生成子模块 (206) 在捕获初始阶段存储的本地码表,在并行相关子模块 (207) 中完成解扩积分;

码相位搜索控制子模块 (208),用来对并行结果进行逐次比较,完成相位搜索;

频率搜索控制子模块 (211),用来根据相位搜索完成指示,更新频率搜索参数等待缓存器切换时刻使能下一个频率单元的相位搜索,同时完成码相位补偿处理;

门限判断子模块 (210),用来逐次比较每个频率搜索单元的信号峰值并估计出噪声均值,利用信噪比门限判断信号是否存在;

输出模块,用来将捕获结果输出。

5. 根据权利要求 4 所述的捕获三频多通道无线电测量系统信号的系统,其特征在于,在存储器切换时刻,控制刷新载波频率子模块 (209) 更新下变频频率,同时利用当前搜索的载波频率、标称射频中心频率以及标称码速率获得当前搜索频率下对应的码多普勒补偿频率,并控制码多普勒补偿子模块 (210) 更新降采样中的抽取速率。

6. 根据权利要求 4 所述的捕获三频多通道无线电测量系统信号的系统,其特征在于,所述数据缓存子模块 (203) 中包括乒乓写缓存切换控制模块 (301)、双端口存储器 A、B(302) 及循环读缓存切换控制模块 (303),所述乒乓写缓存切换控制 (301) 根据捕获延迟参数完成数据无缝缓存或固定延时缓存;所述双端口存储器 A、B(302) 封装了存储器的读写控制端口,并集成了延时计数器和地址计数器;所述循环读缓存切换控制 (303) 根据相位滑动搜索的状态,循环读取写满的缓存器,产生快速相位搜索的积分数据。

7. 根据权利要求 4 所述的捕获三频多通道无线电测量系统信号的系统,其特征在于,还包括配置参数子模块 (211),用来在捕获起始阶段初始化通道控制,搜索范围,码多普勒补偿固定因子,码相位补偿以及判断门限参数。

## 一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统

### 技术领域

[0001] 本发明主要涉及到无线电测量信号领域,特指一种适用于多波束、多通道无线电测量信号捕获的方法与系统。

### 背景技术

[0002] 高精度卫星多普勒测量定轨与无线电定位组合系统 (Doppler Orbitography by Radio Positioning Intergrated on Satellite, DORIS) 是由法国国家空间研究中心 CNES (Centre National d'études Spatiales) 与法国国家地理研究所 IGN (Instiut Geographique National) 和法国国家大地测量研究组织 GRGS (Groupe de Recherches en Geodesie Spatiale) 合作研制的,可以提供全弧段高精度轨道产品。DORIS 系统由星上部分和地面部分组成。星上部分包括双频全向天线、接收机和超稳石英振荡器 USO (ultra-stable oscillator)。地面部分主要包括多功能数据处理中 SSALTO (Altimetry Orbitogra-phy and Positioning Multi-mission Center)、测站网和 IDS (International DORIS Service),其中测站网由主控测站、定轨测站和普通测站组成。地面信标机发出的双频信号为星载 DORIS 接收机所接收,具体的测量量就是双频多普勒频移。通过对双频无线电信号的观测量消除电离层的影响。一旦提供了很好的卫星运动力学模型,这样的观测量通过数学处理 (例如统计定轨方法) 就可以获得搭载该接收机的飞行器的轨道。

[0003] 随着我国高分辨率对地观测项目的发展需求,发展我国自己的卫星跟踪测量系统具有重要意义。作为我国天基北斗卫星跟踪测量系统的有效补充,高精度无线电轨道测量体制是我国在法国 DORIS 工作原理的基础上,改进并重新设计的一种卫星高精度测定轨系统,该系统利用三频无线电信号观测量获得了更丰富的大气参数测量值,实现了卫星的高精度授时,采用扩频信号体制提高了上行通信链路的容量、系统的可扩展性和可维护性等。

[0004] 高精度无线电轨道测量系统采用三频多通道直接扩频信号体制,星载终端设备配备有三频接收通道,星载终端的数字基带需要同步捕获三个不同频段的直接扩频信号。一方面,由于三频信号的伪码速率、多普勒动态范围,灵敏度指标不同,使得三频信号的捕获过程相对独立。另一方面,地面分布的信标站由多个码组进行区分,在卫星过境弧段内,可能同时接收至少 2 个通道的信号,使得一个波束内的捕获至少需要搜索 2 个码组。在一定的速度指标约束下,这势必会增加数字基带的实现复杂度。

[0005] 扩频码捕获有几个重要的指标,捕获灵敏度、捕获时间、可适应的动态范围。其中,捕获灵敏度主要由积分长度决定,在不进行非相干积分和信息符号跳变检测的条件下,积分长度的选择直接取决于信息码源和扩频码源的同步关系。而捕获时间则与可适应动态范围指标有密切关系,捕获时间越短可适应的动态范围就越大。对于一次完整的捕获过程来说,捕获时间包括数据采样时间和处理时间。处理时间可以通过增加资源和优化算法来实现,当处理时间明显小于采样时间时,采样时间对整个捕获时间有着决定性的影响,要缩短整个捕获时间只能通过减少采样时间来完成。目前针对卫星扩频信号的快速捕获,传统时域并行相关捕获方法运算复杂度低,容易进行参数配置实现通道切换,但捕获时间受制于

捕获处理时间,唯有增加并行搜索码相位的相关路数来减少捕获处理时间,这在星载设备资源有限的情况下很难做到。

[0006] 如何更高效的减少捕获时间并满足三频多通道测量信号的灵敏度和动态范围指标成为了捕获方法需要突破的核心技术难点。

## 发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题就在于:针对现有技术存在的技术问题,本发明提供一种易实现、精度高、能够满足当前工程化条件的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:

[0009] 一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法,其步骤为:

[0010] S1:采用三个高速模数转换器同时对三频段模拟中频信号进行低通采样,得到数字中频信号;

[0011] S2:三频段数字中频信号同时按照各自设定的载波频率,进行下变频处理,并以标称扩频码速率 2 倍的频率加上搜索载波频率下的码多普勒补偿频率进行降采样处理,得到三频段待解扩的数据流;

[0012] S3:采用时分复用捕获的方式实现三频段多通道信号的捕获,利用提取的捕获参数控制当前的捕获搜索过程,并通过捕获参数中的搜索完成状态和通道参数分别进行波段切换和通道切换;

[0013] S4:存储器切换时刻,刷新搜索频率和码多普勒补偿频率,存储当前搜索频率下的采样数据,并在高倍时钟的驱动下循环快速的读取上一个搜索频率缓存的数据,以滑动相关的方式进行码相位搜索;

[0014] S5:完成采样数据的码相位搜索等待下一个存储器切换时刻;

[0015] S6:利用一个数据采样周期完成一个频率单元搜索的速度,逐级收敛多普勒频率搜索范围,获得信号的载波参数;

[0016] S7:利用门限判别时刻的载波搜索时间估计峰值点信号的码相位时延,并对搜索的码相位结果进行相位补偿处理;

[0017] S8:采用一次部分并行的相位搜索获得准确的即时码相位,输出捕获结果。

[0018] 作为本发明方法的进一步改进:所述步骤 S4 中,采用统一的捕获延时参数控制当前待解扩数据流乒乓缓存的切换时间,实现数据的无缝缓存或固定延时缓存。

[0019] 作为本发明方法的进一步改进:所述步骤 S8 中,所述捕获结果包括最大相关值、次大相关值、以及在设计误差范围内的即时频率、即时码相位。

[0020] 本发明进一步提供一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的系统,包括:

[0021] 数字下变频子模块,用来按照设定的搜索频率对中频数字信号进行下变频处理;

[0022] 降采样子模块,用来以 2 倍码速率对下变频后的数据进行降采样,得到当前频率搜索单元下待解扩积分的数据流;

[0023] 数据缓存子模块,用来根据延时参数控制两个双端口存储器对待解扩积分的数据流进行缓存处理,通过统一的延时参数确定数据无缝缓存或固定延时缓存的等待时间;

[0024] 数据读写控制子模块,用来利用高倍时钟快速读取缓存数据,并通过控制本地码

存储子模块同步读取由本地码生成子模块在捕获初始阶段存储的本地码表,在并行相关子模块中完成解扩积分;

[0025] 码相位搜索控制子模块,用来对并行结果进行逐次比较,完成相位搜索;

[0026] 频率搜索控制子模块,用来根据相位搜索完成指示,更新频率搜索参数等待缓存器切换时刻使能下一个频率单元的相位搜索,同时完成码相位补偿处理;

[0027] 门限判断子模块,用来逐次比较每个频率搜索单元的信号峰值并估计出噪声均值,利用信噪比门限判断信号是否存在;

[0028] 输出模块,用来将捕获结果输出。

[0029] 作为本发明系统的进一步改进:在存储器切换时刻,控制刷新载波频率子模块)更新下变频频率,同时利用当前搜索的载波频率、标称射频中心频率以及标称码速率获得当前搜索频率下对应的码多普勒补偿频率,并控制码多普勒补偿子模块更新降采样中的抽取速率。

[0030] 作为本发明系统的进一步改进:所述数据缓存子模块中包括乒乓写缓存切换控制模块、双端口存储器 A、B 及循环读缓存切换控制模块,所述乒乓写缓存切换控制根据捕获延迟参数完成数据无缝缓存或固定延时缓存;所述双端口存储器 A、B 封装了存储器的读写控制端口,并集成了延时计数器和地址计数器;所述循环读缓存切换控制根据相位滑动搜索的状态,循环读取写满的缓存器,产生快速相位搜索的积分数据。

[0031] 作为本发明系统的进一步改进:还包括配置参数子模块,用来在捕获起始阶段初始化通道控制,搜索范围,码多普勒补偿固定因子,码相位补偿以及判断门限参数。

[0032] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0033] 1、本发明的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统,利用统一的捕获延迟参数控制两个双端口存储器实现降采样数据流的无缝缓存或固定延时缓存控制,隔离数据采集与处理过程,以便于高倍时钟快速搜索不同动态和灵敏度信号条件下的捕获数据。

[0034] 2、本发明的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统,采用载波辅助码多普勒补偿的方法,提取出固定补偿因子,在降采样的抽取阶段实现码多普勒的补偿,简化了捕获过程中码多普勒补偿的实现。

[0035] 3、本发明的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统,结合数据流的缓存处理、频率单元搜索和相位单元搜索的时序关系,对搜索峰值点信号的码相位进行相位补偿处理,有利于快速获得信号的即时码相位。

[0036] 4、本发明的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法与系统,三频段多通道数字中频信号在时域进行分时捕获处理,运算过程简单,有助于捕获的参数提取和通道控制,适合于多波束,多信道数测量系统信号的捕获。

## 附图说明

[0037] 图 1 是三频多通道无线电轨道测量系统接收机的框架结构示意图。

[0038] 图 2 是本发明系统的拓扑结构示意图。

[0039] 图 3 是本发明在具体应用实例中数据缓存子模块的结构原理示意图。

[0040] 图 4 是本发明在具体应用实例中进行频率搜索的时序示意图。

[0041] 图 5 是本发明在具体应用实例中接收机三频多通道的基带捕获处理流程图。

[0042] 图例说明：

[0043] 101、第一螺旋天线；102、第二螺旋天线；103、第三螺旋天线；104、第一频段射频通道；105、第二频段射频通道；106、第三频段射频通道；107、第一模数转换器；108、第二模数转换器；109、第三模数转换器；110、数字基带处理 FPGA；111、快速捕获模块；112、基带控制模块；113、跟踪解调模块；114、数据采样模块；115、接口模块；116、时间同步处理模块；117、星上时间；201、数字下变频子模块；202、降采样子模块；203、数据缓存子模块；204、数据读写控制子模块；205、本地码存储子模块；206、本地码生成子模块；207、并行相关子模块；208、码相位搜索控制子模块；209、刷新载波频率子模块；210、门限判断子模块；211 配置参数子模块；212、配置参数子模块；301、乒乓写缓存切换控制模块；302 双端口存储器 A、B；303、循环读缓存切换控制模块。

### 具体实施方式

[0044] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。

[0045] 三频多通道无线电测量系统的基带处理部分是星载终端接收机的核心。考虑到无线电轨道测量系统还需要进行复杂的定轨运算，因此三频多通道无线电信号的链路解算均设计在同一片 FPGA 中实现。为方便起见，本发明中“接收机”均指“三频多通道无线电轨道测量系统的基带处理 FPGA”。

[0046] 如图 1 所示，为一个三频多通道无线电测量系统接收机的结构框图，这是一个完整的三频多通道无线电测量系统上行链路解算结构框图，包括了不同直径的螺旋天线（第一螺旋天线 101、第二螺旋天线 102、第三螺旋天线 103），三频段射频通道（第一频段射频通道 104、第二频段射频通道 105、第三频段射频通道 106），不同采样率的模数转换器（第一模数转换器 107、第二模数转换器 108、第三模数转换器 109），数字基带处理 FPGA110。数字基带处理 FPGA110 由快速捕获模块 111、基带控制模块 112、若干个通道跟踪解调模块 113、数据采样模块 114、接口模块 115、时间同步处理模块 116 和星上时间 117 组成。基带处理部分从三频段射频通道获得三频段模拟中频信号，三频模拟中频信号分别由采样率为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  的高速模数转换器转换为三频数字中频信号进入数字基带处理 FPGA110，其信号处理分为捕获处理、跟踪解算两个阶段。捕获处理基带控制模块 112 控制快速捕获模块 111 的输入进行当前波段下的载波频率域、码域二维搜索，获得关于接收信号载波频率（含多普勒频含多普勒频偏）和即时码相位。跟踪处理由基带控制模块 112 控制快速捕获模块 111 的输出把当前波段下的捕获结果送给对应的跟踪解调模块 113 实现对应通道的信号同步，并解算信息帧、构筑地面发射时间等。所述的同步包括载波同步、码同步、比特同步和帧同步。数据采样模块 114 根据星上时间 117 等间隔的对所有通道解算的信息进行采样获得测量数据，并由接口模块 115 进行并串转换输出。时间同步处理模块 116 根据已知的地面坐标、接收到的地面时标和轨道参数计算各自的传输延时，获得星地起始同步时间，完成星地时间同步处理。

[0047] 本发明的捕获三频多通道无线电测量系统信号的方法，其流程为：

[0048] S1：采用三个高速模数转换器同时对三频段模拟中频信号进行低通采样，得到数字中频信号；

[0049] S2 :三频段数字中频信号同时按照各自设定的载波频率,进行下变频处理,并以标称扩频码速率 2 倍的频率加上搜索载波频率下的码多普勒补偿频率进行降采样处理,得到三频段待解扩的数据流;

[0050] S3 :采用时分复用捕获的方式实现三频段多通道信号的捕获,利用提取的捕获参数控制当前的捕获搜索过程,并通过捕获参数中的搜索完成状态和通道参数分别进行波段切换和通道切换。

[0051] S4 :采用统一的捕获延时参数控制当前待解扩数据流乒乓缓存的切换时间,实现数据的无缝缓存或固定延时缓存。存储器切换时刻,刷新搜索频率和码多普勒补偿频率,存储当前搜索频率下的采样数据,并在高倍时钟的驱动下循环快速的读取上一个搜索频率缓存的数据,以滑动相关的方式进行码相位搜索。

[0052] S5 :完成采样数据的码相位搜索等待下一个存储器切换时刻;

[0053] S6 :利用一个数据采样周期完成一个频率单元搜索的速度,逐级收敛多普勒频率搜索范围,获得信号的载波参数;

[0054] S7 :利用门限判别时刻的载波搜索时间估计峰值点信号的码相位时延,并对搜索的码相位结果进行相位补偿处理;

[0055] S8 :采用一次部分并行的相位搜索获得准确的即时码相位,输出捕获结果。其中,捕获结果可以包括但不限于最大相关值、次大相关值、以及在设计误差范围内的即时频率、即时码相位等。

[0056] 本发明进一步的一种捕获三频多通道无线电测量系统信号的系统,在应用实例中,快速捕获模块 111 采用了上述系统,它包括数字下变频子模块 201、降采样子模块 202、数据缓存子模块 203、数据读写控制子模块 204、本地码存储子模块 205、本地码生成子模块 206、并行相关子模块 207、码相位搜索控制子模块 208、刷新载波频率子模块 209、门限判断子模块 210、配置参数子模块 211 及输出模块。根据本发明快速捕获的实现方法,首先在灵敏度要求的预检积分时长下,以固定的频率搜索间隔将多普勒变化范围依次分成多个频率搜索单元。数字下变频子模块 201 按照设定的搜索频率对中频数字信号进行下变频处理,降采样子模块 202 以 2 倍码速率对下变频后的数据进行降采样,得到当前频率搜索单元下待解扩积分的数据流。数据缓存子模块 203 根据延时参数控制两个双端口存储器对待解扩积分的数据流进行缓存处理,通过统一的延时参数确定数据无缝缓存或固定延时缓存的等待时间。数据读写控制子模块 204 利用高倍时钟快速读取缓存数据,并通过控制本地码存储子模块 205 同步读取由本地码生成子模块 206 在捕获初始阶段存储的本地码表,在并行相关子模块 207 中完成解扩积分。码相位搜索控制子模块 208 对并行结果进行逐次比较,采用滑动相干法完成相位搜索。在存储器切换时刻,控制刷新载波频率子模块 209 更新下变频频率,同时利用当前搜索的载波频率、标称射频中心频率以及标称码速率获得当前搜索频率下对应的码多普勒补偿频率,并控制码多普勒补偿子模块 210 更新降采样中的抽取速率。频率搜索控制子模块 211 根据相位搜索完成指示,更新频率搜索参数等待缓存器切换时刻使能下一个频率单元的相位搜索,同时完成码相位补偿处理。门限判断子模块 210 逐次比较每个频率搜索单元的信号峰值并估计出噪声均值,利用信噪比门限判断信号是否存在。配置参数子模块 211 在捕获起始阶段初始化通道控制,搜索范围,码多普勒补偿固定因子,码相位补偿以及判断门限等参数。



[0057] 在具体应用实例中,如图3所示,数据缓存子模块203中包括乒乓写缓存切换控制模块301、双端口存储器A、B302及循环读缓存切换控制模块303,乒乓写缓存切换控制301根据捕获延迟参数完成数据无缝缓存或固定延时缓存;双端口存储器A、B302封装了存储器的读写控制端口,并集成了延时计数器和地址计数器;循环读缓存切换控制303根据相位滑动搜索的状态,循环读取写满的缓存器,产生快速相位搜索的积分数据。

[0058] 如图4所示,为本发明系统进行内部频率搜索时序示意图。

[0059] 捕获开始时,在时刻(401)到时刻(402)的时段内进行捕获过程控制的初始化处理;接着,地址计数器产生存储器A的写地址,将第一个搜索频点的数据存储在存储器A中。在存储器A写满时刻(401<sub>1</sub>),启动第一个搜索频点的码相位搜索过程,循环快速的读取存储器A中的数据进行滑动相关搜索直到(403<sub>1</sub>)时刻获得起始搜索频率单元所对应的信号峰值及其码相位。与此同时,在存储器A写满时刻(401<sub>1</sub>),刷新至第二个搜索频点,启动延时计数器等待设定的延时量,在(402<sub>1</sub>)时刻启动地址计数器产生存储器B的写地址,将刷新的搜索频点数据存储在存储器B中。在存储器B写满时刻(401<sub>2</sub>),启动第二个频率点的码相位搜索过程,循环快速的读取存储器B中的数据进行滑动相关搜索直到(403<sub>2</sub>)时刻获得第二个搜索频率单元所对应的信号峰值及其码相位。与此同时,在存储器B写满时刻(401<sub>2</sub>),刷新至第三个搜索频点,启动延时计数器等待设定的延时量,在(402<sub>2</sub>)时刻启动地址计数器产生存储器A的写地址,将刷新的搜索频点数据存储在存储器A中,以此往复完成M次存储器切换,搜索完成M个频率单元。搜索过程中,采用排序冒泡法搜索出峰值频点的信号功率及其对应的码相位,并估计出噪声功率,在(404)时刻进行门限判断。其中两个存储器的数据存储深度均为预检积分周期下的抽取点数。

[0060] 数据缓存子模块(203)中的固定延时参数  $T_{wait}$  由捕获数据采样时间  $T_{wram}$  与处理时间  $T_{freq}$  进行确定:

$$[0061] \quad T_{wram} = \frac{P \cdot N}{f_c} \quad (1)$$

$$[0062] \quad T_{freq} = \left\lceil \frac{2 \cdot N}{M} \right\rceil \cdot \left( \frac{P \cdot 2 \cdot N}{f_{sys}} + \frac{N_{sys} \cdot M}{f_{sys}} + T_{sys} \right) \quad (2)$$

[0063] 式(1)中P为预检积分的伪码周期数,N为伪码周期的码片长度, $f_c$ 为扩频码速率, $T_{wram}$ 为写满一个缓存器的时间,即捕获数据采样时间;式(2)中 $f_{sys}$ 为高倍时钟频率,M为并行相关路数, $N_{sys}$ 为串行搜索中功率计算的系统延时拍数, $T_{sys}$ 为串行搜索的系统延时, $T_{freq}$ 为每个频率单元的搜索时间,即捕获数据处理时间。

[0064] 为了保证捕获过程中频率维和相位维搜索过程的相对独立,达到一个数据采样周期完成一个频率单元搜索的速度,则存在时序约束条件:

$$[0065] \quad (T_{wram} + T_{wait}) > T_{freq} \quad (3)$$

[0066] 由式(3)可得数据缓存子模块(203)中最小固定延时参数  $T_{wait}$  的计算式(4):

$$[0067] \quad T_{wait} = \begin{cases} T_{freq} - T_{wram} & T_{wram} < T_{freq} \\ 0 & T_{wram} \geq T_{freq} \end{cases} \quad (4)$$

[0068] 采用载波辅助码多普勒补偿方法提取固定补偿因子即可获得码多普勒补偿的频率控制字。下面采用具体的实施例对固定补偿因子的提取方法进行说明:

[0069] 假设当前搜索频率单元下的多普勒频率的相位控制字为  $f_{d\_pinc}$ , 对应的相位累加时钟为  $f_{d\_s}$ ; 标称码速率的相位控制字为  $f_{c\_pinc}$ , 补偿后码速率的相位控制字为  $f_{cp\_pinc}$ , 对应的相位累加时钟均为  $f_{c\_s}$ ; 所有相位累加字长均设定为 32 位; 那么根据 DDS 原理可知, 当前搜索频率单元下的多普勒频率  $f_d$ , 标称码速率频率为  $f_c$ , 补偿后的码速率为  $f_{cp}$  分别为:

$$[0070] \quad f_d = f_{d\_pinc} \cdot \frac{f_{d\_s}}{2^{32}} \quad (5)$$

$$[0071] \quad f_c = f_{c\_pinc} \cdot \frac{f_{c\_s}}{2^{32}} \quad (6)$$

$$[0072] \quad f_{cp} = f_{cp\_pinc} \cdot \frac{f_{c\_s}}{2^{32}} \quad (7)$$

[0073] 码多普勒由卫星与接收机在其连线方向上的相对运动造成, 补偿后的码速率计算公式为:

$$[0074] \quad f_{cp} = f_c \cdot \left(1 + \frac{f_d}{F_0}\right) \quad (8)$$

[0075] 式 (8) 中,  $F_0$  为测量信号的标称射频中心频率;

[0076] 将式 (5)、(6)、(7) 代入式 (8), 化简可得:

$$[0077] \quad f_{cp\_pinc} = f_{c\_pinc} + f_{d\_pinc} \cdot \frac{f_{c\_pinc} \cdot \frac{f_{d\_s}}{2^{32}}}{F_0} \quad (9)$$

[0078] 由于搜索过程中, 下变频的控制量为当前搜索载波频率的相位控制字  $f_{d\_pinc}$ , 而且降采样抽取速率的控制量为补偿后码速率的相位控制字为  $f_{cp\_pinc}$  的 2 倍, 因此对式 (9) 的等号两边同时乘以 2, 可得:

$$[0079] \quad 2 \cdot f_{cp\_pinc} = 2 \cdot f_{c\_pinc} + f_{d\_pinc} \cdot \frac{2 \cdot f_{c\_pinc} \cdot \frac{f_{d\_s}}{2^{32}}}{F_0} \quad (10)$$

[0080] 式 (9) 中, 利用标称码速率的相位控制字  $f_{c\_pinc}$ 、载波 DDS 的相位累加时钟  $f_{d\_s}$  以及测量信号的标称射频中心频率  $F_0$ , 即可获得载波辅助下的码多普勒补偿方法的固定乘数因子  $\nabla$ , 即:

$$[0081] \quad \nabla = \frac{f_{c\_pinc} \cdot \frac{2 \cdot f_{d\_s}}{2^{32}}}{F_0} \quad (11)$$

[0082] 将式 (6) 代入式 (11), 化简可得:

$$[0083] \quad \nabla = \frac{2}{M} \cdot \frac{f_c}{F_0} \quad (12)$$

[0084] 式 (12) 中,  $M = f_{c\_s}/f_{d\_s}$ ;

[0085] 在时域搜索过程中, 数字下变频前不需要对数字中频信号进行变速率处理, 一般情况下, 载波 DDS 的相位累加时钟  $f_{d\_s}$  可取为数据采样时钟, 而码速率的相位累加时钟  $f_{c\_s}$  可取为捕获的快速处理时钟, 两者通过双端口存储进行时钟域的隔离。为了有效的提高捕获速度, 一般  $M$  取  $\geq 2$  的正整数, 且不能使捕获处理时钟  $f_{c\_s}$  超过器件的最快处理速度。

[0086] 在捕获阶段, 由于搜索时延的存在, 快速搜索获得的码相位与即时码相位间均存

在着较大的偏差,为了更快的获得即时信号对应的码相位,以便直接迁入跟踪环路,必须考虑信号动态条件的影响。下面结合具体的实施例对快速获得即时信号码相位的相位补偿方法进行说明:

[0087] 参照图 4 中频率搜索和相位搜索的时序关系,在遍历整个多普勒变化范围后,以搜索信号峰值对应的载波频点为中心,根据配置参数子模块 (212) 提取的搜索控制参数再次进行小范围的频率搜索,收敛在搜索频率单元下,数据采样完成时刻 ( $401_1 \sim M$ ) 与门限判决时刻 (404) 之间,由多普勒变化率引起的最大频率偏移。同时输出峰值信号对应的码相位参数,并对相位参数进行延时补偿处理获得门限判决时刻 (404) 的即时信号码相位估计值,根据图 4 所示,可以归纳出即时信号的相位补偿方法:

$$[0088] \quad T_{\text{comp}} = (M - f_{\text{idx}}) \cdot (T_{\text{wait}} + T_{\text{wram}}) \quad (13)$$

$$[0089] \quad N_{\text{comp}} = T_{\text{comp}} \cdot (2 \cdot f_c) \quad (14)$$

[0090] 式 (13) 中,  $M$  为搜索的频率单元数,  $f_{\text{idx}}$  为当前搜索的频点索引号,索引范围  $0 \sim M-1$ ,  $T_{\text{comp}}$  为当前搜索频率峰值对应码相位与门限判决时刻之间的延时量;式 (14) 中,  $N_{\text{comp}}$  为当前搜索频点对应相位的补偿码片。

[0091] 如图 5 所示,为本发明在具体应用实例中接收机三频多通道的基带捕获处理流程图,这是一个完整的三频多通道数字中频信号复用一個捕获模块的处理流程。

[0092] 步骤 601:初始化捕获输出数据,设定起始捕获波段 1 的状态;

[0093] 步骤 602:采样捕获输出数据,判断当前波段捕获的完成状态并根据捕获成功与否,输出相应通道的捕获成功的数据;

[0094] 步骤 603:判断波段 1 搜索状态为未完成状态;

[0095] 步骤 604:初始化波段 1 的捕获参数,包括搜索通道的码组,捕获门限,控制参数,补偿参数等;

[0096] 步骤 605:使能波段 1 的数字中频  $f_1$  数据通路;

[0097] 步骤 606:锁存使能波段对应 ADC 输出的数字中频数据,启动捕获;

[0098] 步骤 607:复用快速捕获模块完成使能波段的捕获处理。

[0099] 步骤 607 的捕获处理过程描述如下:a. 由参数设置中的起始搜索频点对输入中频数据进行数字下变频处理;b. 以 2 倍码速率对下变频数据进行降采样,获得搜索频率单元下待解扩积分的数据流;c. 采用两个存储器对抽取后的数据流进行缓存处理,并在存储器的切换时刻刷新搜索频点;d. 根据参数设置中的固定延时量确定当前写存储阶段的延时等待时间;e. 用高倍时钟快速读取已存储的数据,同步产生部分并行的本地码进行解扩积分计算;f. 循环读取已存储的数据以滑动码块的方式进行码相位搜索;g. 利用频率变化范围内各搜索单元的峰值估计出检测信号的峰均比;h. 根据设定的捕获控制参数对捕获载波进行再次搜索获得载波数据,同时利用估计的相位时延对峰值点相位数据进行补偿获得估计的即时码相位;i. 用一次部分并行相位搜索获得最小时延的码相位数据;

[0100] 步骤 608:锁存捕获输出的载波、相位以及状态数据,并更新波段搜索状态至步骤 602;

[0101] 步骤 609:判断波段 1 搜索状态为完成状态,将捕获成功数据分配至对应的跟踪通道,结束对应通达的捕获,并开始判断波段 2 的搜索状态。

[0102] 步骤 610:判断波段 2 搜索状态为未完成状态;

[0103] 步骤 611 :初始化波段 2 的捕获参数,包括搜索通道的码组,捕获门限,控制参数,补偿参数等;

[0104] 步骤 612 :使能波段 2 的数字中频  $f_2$  数据通路;

[0105] 同步骤 606 ~ 608 :锁存使能波段对应 ADC 输出的数字中频数据,复用快速捕获模块完成使能波段的捕获处理并锁存捕获输出的载波、相位以及状态数据,并更新波段搜索状态至步骤 602。

[0106] 步骤 613 :判断波段 2 搜索状态为完成状态,将捕获成功数据分配至对应的跟踪通道,结束对应通达的捕获,并开始判断波段 3 的搜索状态。

[0107] 步骤 614 :判断波段 3 搜索状态为未完成状态;

[0108] 步骤 615 :初始化波段 3 的捕获参数,包括搜索通道的码组,捕获门限,控制参数,补偿参数等;

[0109] 步骤 616 :使能波段 3 的数字中频  $f_3$  数据通路;

[0110] 同步骤 606 ~ 608 :锁存使能波段对应 ADC 输出的数字中频数据,复用快速捕获模块完成使能波段的捕获处理并锁存捕获输出的载波、相位以及状态数据,并更新波段搜索状态至步骤 602。

[0111] 步骤 617 :判断波段 3 搜索状态为完成状态,将捕获成功数据分配至对应的跟踪通道,结束对应通达的捕获,并开始判断波段 1 的搜索状态。

[0112] 以此顺序循环捕获三波段信号,利用初始化搜索波段的码组参数,实现时分复用的三波段多通道搜索。

[0113] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不仅局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

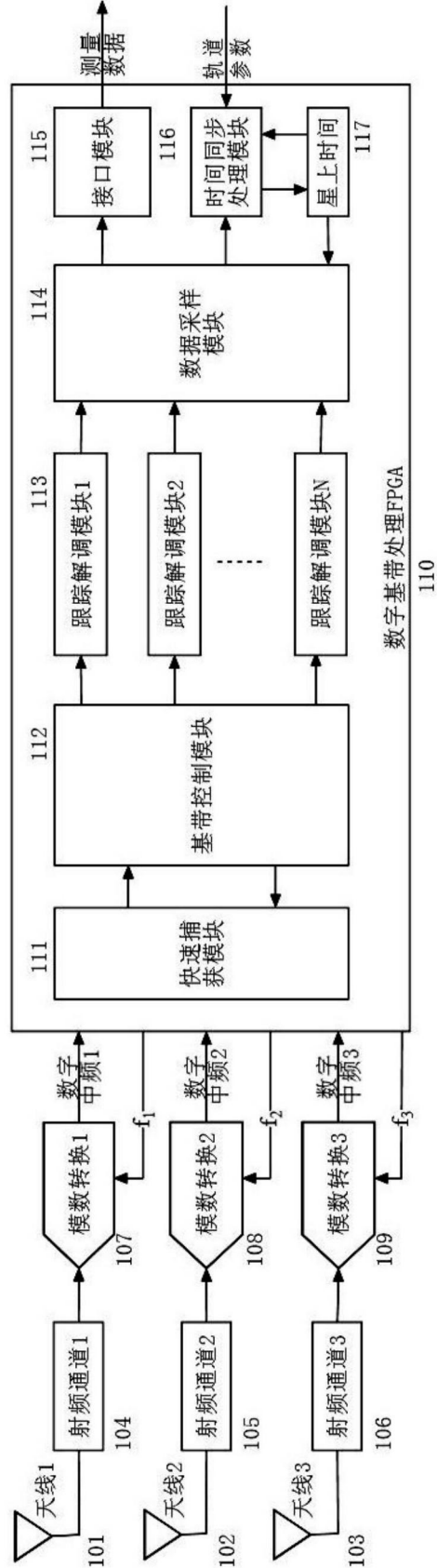


图 1

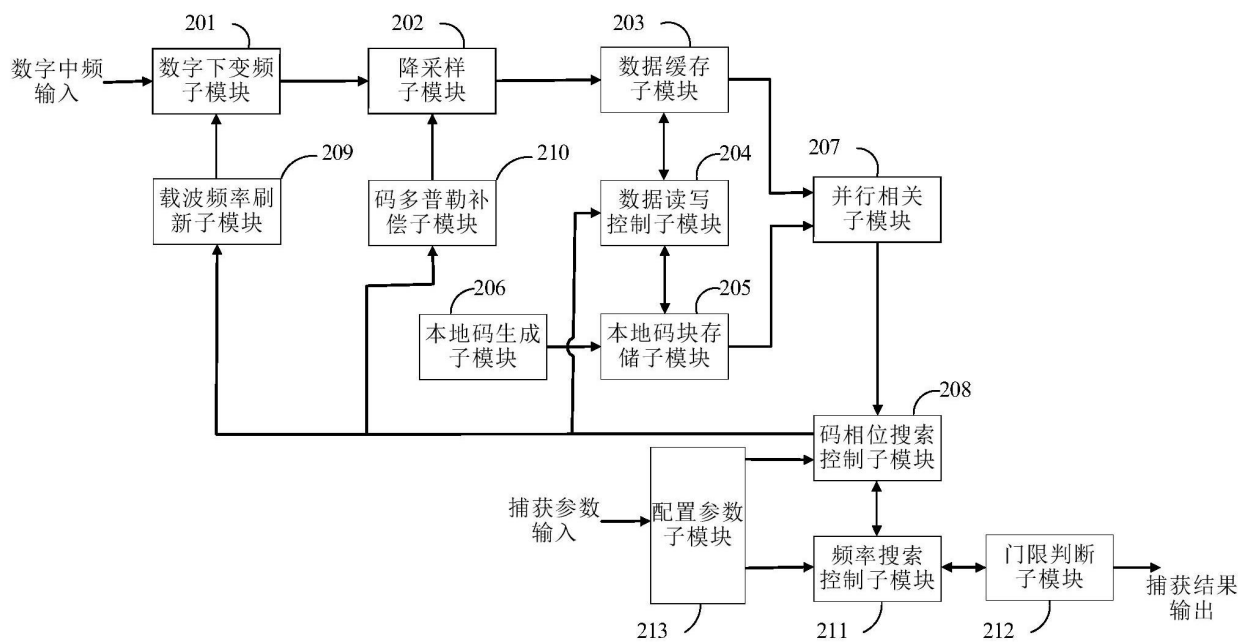


图 2

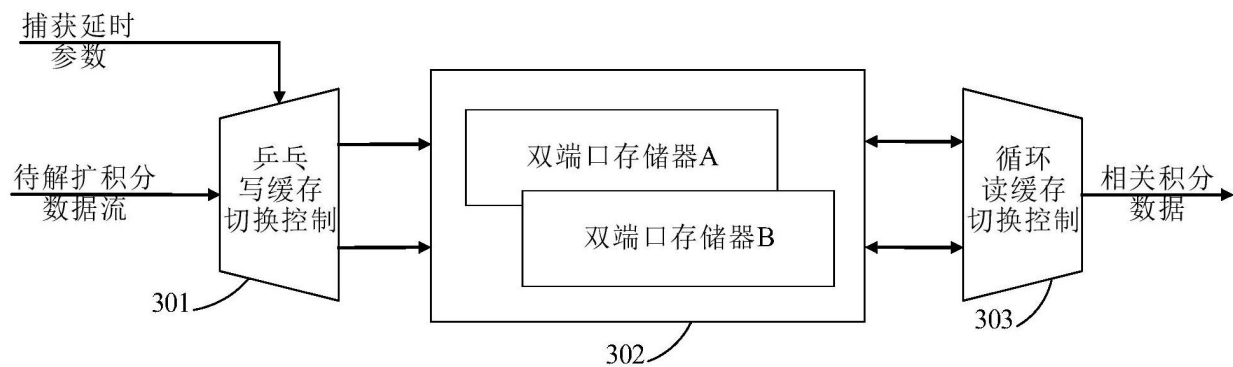


图 3

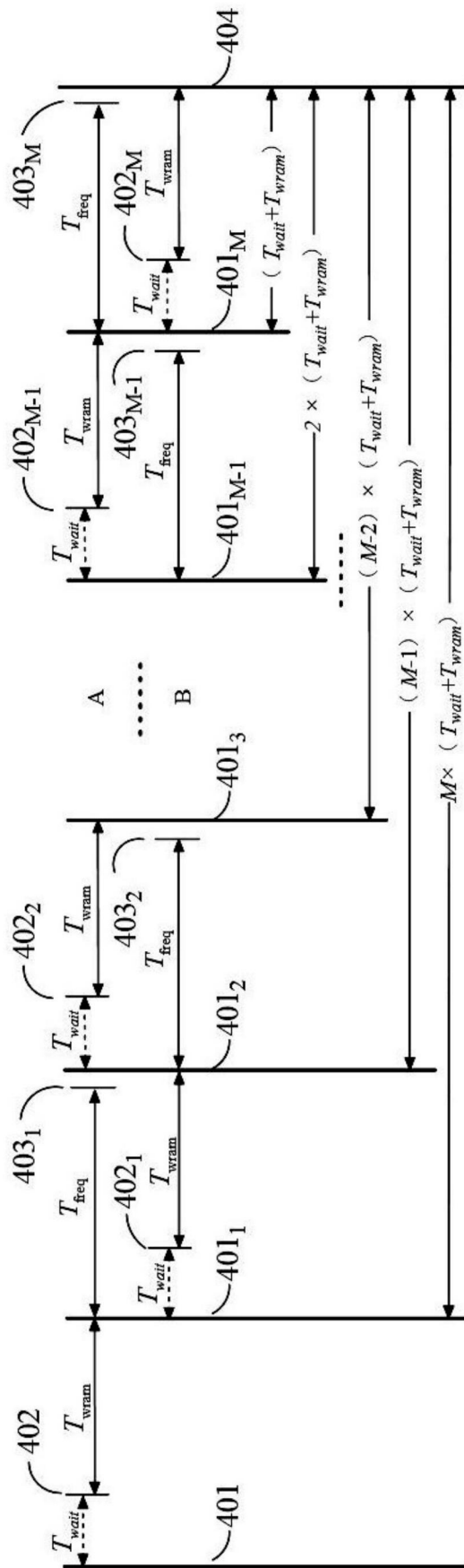


图 4

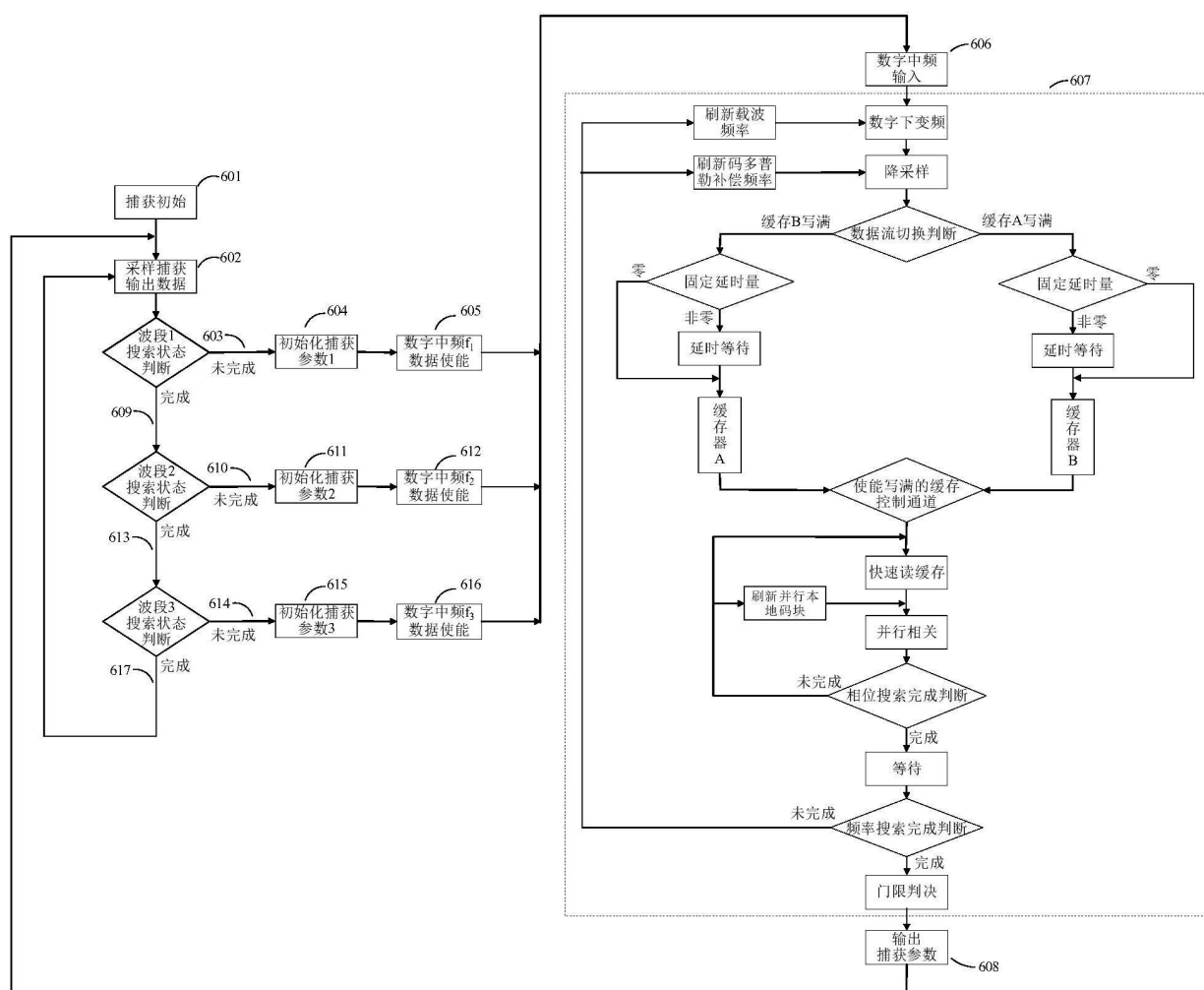


图 5