

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103226484 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 31

(21) 申请号 201310129675. 1

(22) 申请日 2013. 04. 15

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38 号

(72) 发明人 汪宏浩 王慧泉 郑阳明 金仲和
童杰文

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限
公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

G06F 9/445 (2006. 01)

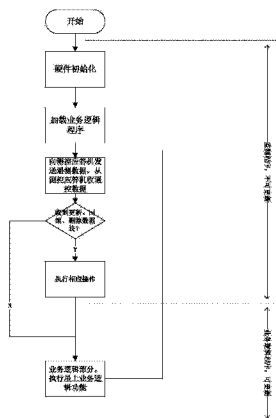
权利要求书1页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法

(57) 摘要

本发明公开了一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法,包括:将星载综合电子系统程序分为监测程序和业务逻辑程序两部分,监测程序从地面收取待更新业务逻辑程序中目标程序块的更新数据块,并检测目标程序块是否在运行,若在运行则待其执行完毕后执行更新,否则立即执行更新;执行更新时,监测程序从待更新业务逻辑程序获取程序执行权,将目标程序块的当前版本及其版本号保存至外存,再将更新数据块携带的新版本程序块导入内存,最后将程序执行权交还给待更新业务逻辑程序,待更新业务逻辑程序更新目标程序块的原始版本号为新版本号。与现有技术相比,本发明通用性强;更新颗粒度为函数;能够执行回滚和删除操作。



1. 一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法,其特征在于,包括:

将星载综合电子系统程序分为监测程序和业务逻辑程序两部分,监测程序用于实现业务逻辑程序的部分更新,业务逻辑程序用于实现卫星功能;

监测程序从地面收取待更新业务逻辑程序中目标程序块的更新数据块,并检测目标程序块是否在运行,若在运行则待其执行完毕后执行更新,否则立即执行更新;

执行更新时,监测程序从待更新业务逻辑程序获取程序执行权,将目标程序块的当前版本及其版本号保存至外存,再将更新数据块携带的新版本程序块导入内存,最后将程序执行权交还给待更新业务逻辑程序,待更新业务逻辑程序更新目标程序块的原始版本号为新版本号。

2. 如权利要求1所述的在轨更新方法,其特征在于,监测程序接收到更新数据块后,首先验证该更新数据块是否正确,若不正确,监测程序要求地面重新上注该更新数据块。

3. 如权利要求1所述的在轨更新方法,其特征在于,检测目标程序块是否在运行的方法为:

监测程序通过查看当前函数调用栈,获取组成目标程序块的函数的调用情况;若存在函数正在被调用,则目标程序块在运行,否则未在运行。

4. 如权利要求1所述的程序在轨更新方法,其特征在于,监测程序还从地面收取目标程序块的回滚数据块,用于执行版本回滚操作。

5. 如权利要求4所述的在轨更新方法,其特征在于,所述版本回滚操作包括:

监测程序根据回滚数据块查询到需回滚到的版本号和与该版本号对应的程序块,在外存中找到该程序块并载入内存,执行更新,将目标程序块回滚到历史版本。

6. 如权利要求5所述的在轨更新方法,其特征在于,监测程序查询到需回滚到的版本号和与该版本号对应的程序块后,先判断该版本号与当前版本号是否一致,若一致,则不作任何操作;若不一致,则执行版本回滚操作。

7. 如权利要求1所述的在轨更新方法,其特征在于,监测程序还从地面收取目标程序块的删除数据块,用于执行版本删除操作,将确认不再使用的版本删除。

8. 如权利要求7所述的在轨更新方法,其特征在于,所述版本删除操作包括:

监测程序根据删除数据块查询到需删除的版本号和与该版本号对应的程序块,在外存中找到该程序块并将其删除。

9. 如权利要求8所述的在轨更新方法,其特征在于,监测程序查询到需删除的版本号和与该版本号对应的程序块后,先判断该版本号与当前版本号是否一致,若一致,则不作任何操作;若不一致,则执行版本删除操作。

10. 如权利要求1~9任一所述的在轨更新方法,其特征在于,更新过程中,监测程序将更新状态通过遥测数据发送给地面;所述遥测数据包括:当前操作的类型、状态、函数地址和程序版本号。

一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种微小卫星的程序更新方法,尤其涉及一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法。

背景技术

[0002] 微小卫星作为一种通用性强、可靠性高的科学实验平台,需要适应各种情况下的不同的任务需求,以及应对各种突发的故障,因此要求其星载综合电子系统具有程序在轨更新能力。

[0003] 目前星地通信一般采用 PCM 测控体制,其遥控码速率最大为 4000bps,而现有测控应答机的解调能力一般为 2000bps。在不考虑天基中继与多站接力的情况下,低地球轨道卫星的单个测控弧段长度一般不超过 10min (仰角 5 度以上),即单个测控弧段中注入数据块的最大规模为 $2000\text{bps} \times 10\text{min} \times 60\text{s}/\text{min} / (8\text{bit}/\text{byte}) = 146.5\text{Kbyte}$ 。考虑到信道衰落可能引起误码,一般须在注入数据块中引入较强的纠错编码(如 R-S 码);则可认为注入数据块中有效数据的规模为总规模的一半,在 70Kbyte 左右。而微小卫星综合电子系统的程序规模一般在 200Kbyte 以上,若要对程序进行完整更新则需要多个连续的测控弧段。为避免大规模数据上注对遥控通道的长时间占用,一般只对程序进行部分更新。

[0004] 现有地面计算机已有比较成熟的更新方法,但其方法通常基于复杂的通用操作系统,通过采用“补丁”程序形成新的程序将原有 bug 程序替换来达到更新的目的。这种方式不适用于星载程序在轨更新,主要原因有:(1) 星上计算机通常资源受限,一般不会运行地面上的复杂通用操作系统;(2) 受星地链路的测控限制,需要上传的更新数据量越小越好,而地面“补丁”程序数据量较大。

[0005] 公开号为 CN 101980161 B 的中国专利文献公开了一种星载计算机软件的在轨更新方法,该方法将软件分为固定程序块和可变程序块,并在可变程序块中加入控制旗标;更新前,通过遥控指令关掉相应程序块的控制旗标,使该程序块的代码不参与星上程序的运行;更新成功后,通过遥控指令打开修改后程序块的控制旗标,使修改后程序块的代码参与星上程序的运行,从而完成星载计算机软件的更新。

[0006] 该方法的不足之处在于:

[0007] (1) 需要在可变程序块加入控制旗标,因此其更新颗粒度由控制旗标决定;而在实际应用中,若插入控制旗标过多,会导致可变程序块代码量膨胀从而影响星上程序执行效率;而若插入控制旗标过少,会造成更新颗粒度过粗,使得上注的数据量过大,对测控圈次造成压力;

[0008] (2) 需要在星上业务逻辑程序中设计在轨更新程序块,增加了业务逻辑程序设计复杂性,降低了程序通用性;

[0009] (3) 更新后新版本程序块会覆盖原版本程序块,若更新后不符合要求,无法还原至原版本。

发明内容

[0010] 本发明公开了一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法,该在轨更新方法不仅可靠性高、通用性强,而且具有灵活的版本控制能力。

[0011] 一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法,包括:

[0012] 将星载综合电子系统程序分为监测程序和业务逻辑程序两部分,监测程序用于实现业务逻辑程序的部分更新,业务逻辑程序用于实现卫星功能;

[0013] 监测程序从地面收取待更新业务逻辑程序中目标程序块的更新数据块,并检测目标程序块是否在运行,若在运行则待其执行完毕后执行更新,否则立即执行更新;

[0014] 执行更新时,监测程序从待更新业务逻辑程序获取程序执行权,将目标程序块的当前版本及其版本号保存至外存,再将更新数据块携带的新版本程序块导入内存,最后将程序执行权交还给待更新业务逻辑程序,待更新业务逻辑程序更新目标程序块的原始版本号为新版本号。

[0015] 具体地,该在轨更新方法包括:

[0016] (1) 构建包含有星载综合电子系统程序和测控应答机的卫星系统,该星载综合电子系统程序通过测控应答机与地面进行通信;

[0017] 测控应答机与地面之间可采用微小卫星平台常用的协议进行通信,如 SPI 协议、CAN 总线、1553B 总线等;星载综合电子系统程序的处理器采用微小卫星平台常用的低功耗 CPU,如 DSP, ARM 等。

[0018] (2) 将星载综合电子系统程序分为监测程序和业务逻辑程序两部分,监测程序用于实现业务逻辑程序的部分更新,业务逻辑程序用于实现卫星功能;

[0019] 整星启动过程中,监测程序进行硬件初始化、业务逻辑程序加载;

[0020] 整星运行过程中,地面通过测控应答机的遥测遥控接口上注待更新业务逻辑程序中目标程序块的注入数据块,测控应答机接收到该注入数据块后将其转发给监测程序。

[0021] 注入数据块中包含的信息有:帧同步字、模式字、分组数、分组编码、有效数据、有效数据长度和校验和;为方便地进行在轨更新,本发明为目标程序块和注入数据块设置版本号,该版本号信息包含在有效数据中。每个版本的目标程序块和注入数据块都具有一个唯一的版本号,有利于程序块的快速查询并执行相应的操作。

[0022] 注入数据块的类型分为:更新数据块、回滚数据块和删除数据块;监测程序通过注入数据块的类型执行相应的操作,即版本更新操作、版本回滚操作或版本删除操作。

[0023] (3) 执行版本更新操作前,地面首先对目标程序块的当前版本程序代码进行修改,获得新版本程序代码并进行编译连接,获得二进制码;对目标程序块中待更新函数的入口地址进行定位,将与该入口地址对应的二进制码提取出来,用于制作更新数据块;

[0024] 更新数据块的有效数据包含的信息有:版本号、函数入口地址、函数二进制码;监测程序接收到更新数据块后,首先验证该更新数据块是否正确,若不正确,监测程序要求地面重新上注该更新数据块。

[0025] 验证更新数据块是否正确的方法为:

[0026] 监测程序首先根据帧同步字判定接收到了有效的更新数据块;再根据模式字来判断该更新数据块的模式,针对不同的模式将采用不同的处理方法,执行版本更新操作时,模式字为 0x11;再根据分组数来判断完整的更新数据块有多少帧,并根据分组编码判断本帧

数据在该更新数据块中的位置,根据有效数据长度得到本帧数据中有效数据的长度;然后获得有效数据,在星上再计算一次有效数据的CRC(Cyclic Redundancy Check,循环冗余校验码),并将该CRC与校验和进行比对;若不同则该更新数据块不正确,由地面重新发送该更新数据块;若相同则该更新数据块正确,执行版本更新操作。

[0027] 本发明可在星上直接判断更新数据块的正确性,不必发回地面进行判断,加快了在轨更新的效率。当更新数据块具有多帧数据时,监测程序应当在接收到完整的更新数据块后再执行更新操作。

[0028] 执行版本更新操作时,监测程序判断目标程序块是否正在运行,若正在运行则待其运行完毕后再执行版本更新操作,否则立即执行版本更新操作。

[0029] 检测目标程序块是否在运行的方法为:

[0030] 监测程序通过查看当前函数调用栈,获取组成目标程序块的函数的调用情况;若存在函数正在被调用,则目标程序块在运行,否则未在运行。

[0031] 本发明通过函数调用栈判断待更新函数是否在运行,再执行版本更新操作,使得业务逻辑程序无需进行特殊设计或增加额外开销、额外语句等用于函数更新;并且更新颗粒度为函数,即最小可仅更新一个函数,颗粒度远小于程序整体,易于配置小的注入数据块,节省了测控资源。

[0032] (4)为处理更新出错或更新不符合要求的情况,监测程序还从地面收取目标程序块的回滚数据块,用于执行版本回滚操作。

[0033] 所述版本回滚操作包括:

[0034] 监测程序根据回滚数据块查询到需回滚到的版本号和与该版本号对应的程序块,在外存中找到该程序块并载入内存,执行更新,将目标程序块回滚到历史版本。

[0035] 回滚数据块的有效数据仅为需回滚到的版本号,监测程序查询到需回滚到的版本号和与该版本号对应的程序块后,先判断该版本号与当前版本号是否一致,若一致,则不作任何操作;若不一致,则执行版本回滚操作。

[0036] (5)由于星上存储资源有限,不可能无限制地保存程序版本;因此监测程序还从地面收取目标程序块的删除数据块,用于执行版本删除操作,将确认不再使用的版本删除。

[0037] 所述版本删除操作包括:

[0038] 监测程序根据删除数据块查询到需删除的版本号和与该版本号对应的程序块,在外存中找到该程序块并将其删除。

[0039] 删除数据块的有效数据仅为需删除的版本号,监测程序查询到需删除的版本号和与该版本号对应的程序块后,先判断该版本号与当前版本号是否一致,若一致,则不作任何操作;若不一致,则执行版本删除操作。

[0040] 更新过程中,监测程序将更新状态通过遥测数据发送给地面;所述遥测数据包括:当前操作的类型、状态、函数地址和程序版本号。如此地面可通过查看遥测数据了解星上更新的状态,方便地对整个在轨更新过程进行及时、准确地监控。

[0041] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0042] (1)本发明的在轨更新方法通用性强,可用于对所有未经特殊设计的业务逻辑程序进行在轨更新,无需人为插入控制旗标等标识;

[0043] (2)本发明的更新颗粒度为函数,即最小可仅更新一个函数,颗粒度远小于程序整

体,易于配置小的注入数据块,节省了测控资源;

[0044] (3) 本发明的在轨更新方法能够将业务逻辑程序回滚至历史版本,以消除新版本存在的未知错误或漏洞,增强了整星的可靠性;相应地,本发明也能将确认不再使用的程序版本删除,释放星上存储资源。

附图说明

[0045] 图 1 为卫星系统与地面之间的通信网络结构示意图;

[0046] 图 2 为星载综合电子系统程序的工作流程图;

[0047] 图 3 为监测程序对更新数据块正确性的验证流程图;

[0048] 图 4(a) 为含相同入口地址的更新数据块的拼接方式示意图;

[0049] 图 4(b) 为不含相同入口地址的更新数据块的拼接方式示意图;

[0050] 图 5 为监测程序的版本更新操作流程图;

[0051] 图 6 为监测程序的版本回滚操作流程图;

[0052] 图 7 为监测程序的版本删除操作流程图。

具体实施方式

[0053] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0054] 一种星载综合电子系统程序的在轨更新方法,具体包括:

[0055] (1) 构建包含有星载综合电子系统程序和测控应答机的卫星系统,该星载综合电子系统程序通过测控应答机与地面进行通信;

[0056] 测控应答机与地面之间可采用 SPI 协议进行通信,星载综合电子系统程序采用的 CPU 为 DSP,地面设备为由地面站、天线等设备组成的地面测控网;

[0057] 卫星系统与地面之间的通信网络结构如图 1 所示;地面测控网发送遥控指令给测控应答机,测控应答机将遥控指令转发给星载综合电子系统,由星载综合电子系统程序执行相应的遥控指令,执行完成后再由星载综合电子系统硬件接口将遥测数据通过测控应答机发回地面测控网。

[0058] (2) 将星载综合电子系统程序分为监测程序和业务逻辑程序两部分,监测程序用于实现业务逻辑程序的部分更新,业务逻辑程序用于实现卫星功能;

[0059] 星载综合电子系统程序的工作流程如图 2 所示;整星启动,监测程序首先进行硬件初始化、业务逻辑程序加载;整星运行过程中,测控应答机通过遥测遥控接口接收地面上注的遥控指令并将该遥控指令转发给监测程序;

[0060] 若该遥控指令为更新数据块、回滚数据块或删除数据块,则监测程序对相应的业务逻辑程序执行相应操作,即版本更新操作、版本回滚操作或版本删除操作,若不是,则业务逻辑程序执行星上业务逻辑功能。

[0061] (3) 当需要对星上某业务逻辑程序中的目标程序块执行版本更新操作时,地面首先做如下准备工作:

[0062] 对目标程序块的当前版本程序代码进行修改,获得新版本程序代码并进行编译连接,获得二进制码;对目标程序块中待更新函数的入口地址进行定位,将与该入口地址对应的二进制码提取出来,用于制作更新数据块,并将该更新数据块上注到测控应答机;

[0063] 更新数据块的格式参见表 1；

[0064] 表 1 更新数据块的格式

[0065]

名称	数据大小	备注
帧同步字	2 Byte	参照标准，一般为 0xEB90
模式字	1 Byte	0x11，代表本注入数据块为更新数据块
分组数	1 Byte	代表更新数据块的帧数 N
分组编码	1 Byte	代表在同一模式字下，本帧数据在完整的更新数据块中的位置，数值范围为 1~N
有效数据长度	1 Byte	代表更新数据块中有效数据的长度 M
有效数据	M Byte	需要注入的数据，用于对待更新函数进行更新
校验和	2 Byte	有效数据的 CRC 值，用于校验该帧有效数据的正确性

[0066]

[0067] 其中，更新数据块中有效数据的格式如表 2 所示；

[0068] 表 2 更新数据块中有效数据的格式

[0069]

名称	数据大小	备注
版本号	2 Byte	本次更新数据块版本号，需要地面保证其唯一性
入口地址	4 Byte	待更新函数的入口地址
函数二进制码	(M-6) Byte	新版本函数的二进制码，用于对当前版本的待更新函数的二进制码进行更新

[0070] 监测程序接收到更新数据块后，首先根据帧同步字判定接收到了有效的更新数据块；再根据模式字 0x11 判定其为更新数据块；再根据分组数来判断完整的更新数据块有多少帧，并根据分组编码判断本帧数据在该更新数据块中的位置，根据有效数据长度得到本帧数据中有效数据的长度；然后获得有效数据，在星上再计算一次有效数据的 CRC (Cyclic Redundancy Check, 循环冗余校验码)，并将该 CRC 与校验和进行比对；若不同则该更新数据块不正确，由地面重新发送该更新数据块；若相同则该更新数据块正确，执行更新操作；验证流程如图 3 所示。

[0071] 当更新数据块具有多帧数据时，监测程序应在接收到完整的更新数据块后再执行操作。

[0072] 举例说明，若卫星接收到的注入数据块 A 的模式字为 0x11，分组数为 2，分组编码为 1，有效数据长度为 365；说明该注入数据块 A 为更新数据块，有效数据长度为 365；分组数为 2 而分组编码为 1 表明该有效数据不完整，其后续还有 1 帧。因此在验证该帧数据为正确后，监测程序将本帧数据暂存至内存中；而后卫星应收到模式字为 0x11、分组数为 2、

分组编码为 2、假设有效数据长度为 111 的注入数据块 B,该注入数据块 B 是上一帧数据的补充;监测程序在验证该帧数据为正确后,在内存中将两帧数据进行拼接,获得一个完整的更新数据块,有效数据的长度为 $365+111=476$ 。

[0073] 将注入数据块 A、B 进行拼接的过程如下(A 为已经拼接过或分组编号小的注入数据块,B 为新上注的注入数据块):

[0074] 首先查看注入数据块 A、B 的版本号是否一致,若一致才可进行拼接;

[0075] 然后查看注入数据块 A、B 是否含有相同的入口地址;

[0076] 若含有相同的入口地址,说明注入数据块 A、B 的函数二进制码属于同一个目标程序块,则直接将注入数据块 B 的函数二进制码追加到注入数据块 A 的函数二进制码的末尾;

[0077] 如图 4(a) 所示,注入数据块 A1 的版本号为 2,包含 2 个入口地址:0xC0332512 和 0xC0357782;注入数据块 B1 的版本号为 2,包含 1 个函数入口地址 0xC0357782,则 A1 和 B1 拼接后成 C1 的样式;

[0078] 若不含相同的入口地址,则将 B 的入口地址和函数二进制码加到 A 的函数二进制码的末尾;

[0079] 如图 4(b) 所示,注入数据块 A2 数据块版本号为 3,包含 2 个入口地址:0xC0332512 和 0xC0357782;注入数据块 B2 数据块的版本号为 3,包含 1 个入口地址 0xC0357982,则 A2 和 B2 拼接后成 C3 的样式。

[0080] 监测程序将完整的更新数据块验证为正确后,监测程序通过 CPU 寄存器确定函数调用栈的位置,在函数调用栈中获取组成目标程序块的函数的入口地址,将该入口地址与更新数据块的入口地址进行匹配,若匹配则说明该函数为待更新函数且正在运行,则待其运行完毕后再执行版本更新操作,否则立即执行版本更新操作。

[0081] 更新时,将当前版本的待更新函数按照表 2 中有效数据的格式保存至外存,其版本号为上次更新时的版本号(若从未进行更新,则版本号为 1);而后将更新数据块中的函数二进制码加载到待更新函数在内存中的入口地址,并修改当前版本号为更新数据块的版本号(新版本号),至此更新完毕。更新流程如图 5 所示。

[0082] (4) 当需要对星上某业务逻辑程序中的目标程序块执行版本回滚操作时,地面监测网上注回滚数据块,回滚数据块的格式参见表 3;

[0083] 表 3 回滚数据块的格式

[0084]

名称	数据大小	备注
帧同步字	2 Byte	参照标准, 一般为 0xEB90
模式字	1 Byte	0x55, 代表回滚数据块
分组数	1 Byte	代表回滚数据块的帧数 1
分组编码	1 Byte	代表在同一模式字下, 本帧数据在完整的回滚数据块中的位置, 仅为 1
有效数据长度	1 Byte	代表实际注入数据的有效长度 1
有效数据	1 Byte	需要注入的有效数据, 即为需回滚到的版本号
校验和	2 Byte	有效数据的 CRC 校验, 用于校验该帧有效数据的正确性

[0085] 监测程序接收到回滚数据块后, 先判断该回滚数据块是否正确(验证方法与验证更新数据块时相同), 验证正确后再判断需回滚到的版本号与当前版本号是否一致, 若一致, 则不做任何操作; 若不一致, 则在外存中找到需回滚的版本号和与该版本号对应的二进制码, 并将其载入内存替换掉当前的二进制码及其版本号, 完成版本回滚操作。操作流程如图 6 所示。

[0086] (5) 当需要对星上某业务逻辑程序中的目标程序块执行版本删除操作时, 地面监测网上注删除数据块, 删除数据块的格式参见表 4;

[0087] 表 4 删除数据块的格式

[0088]

名称	数据大小	备注
帧同步字	2 Byte	参照标准, 一般为 0xEB90
模式字	1 Byte	0x66 代表删除数据块
分组数	1 Byte	代表删除数据块的帧数 1
分组编码	1 Byte	代表在同一模式字下, 本帧数据在完整的删除数据块中的位置, 仅为 1
有效数据长度	1 Byte	代表实际注入数据的有效长度 1
有效数据	1 Byte	需要注入的有效数据, 即为需删除的版本号
校验和	2 Byte	有效数据的 CRC 校验, 用于校验该帧有效数据的正确性

[0089]

[0090] 监测程序接收到删除数据块后, 先验证该删除数据块是否正确(验证方法与验证更新数据块时相同), 验证正确后再判断删除数据块中的版本号与当前版本号是否一致, 若一致, 则不做任何操作; 若不一致, 则根据删除数据块中的版本号在外存中找到需删除的版本号和与该版本号对应的二进制码, 将该二进制码及其版本号删除, 完成版本删除操作。操作流程如图 7 所示。

[0091] (6) 在执行版本更新、版本回滚、版本删除操作的同时, 监测程序通过向地面发送

如表 5 所示的遥测数据来表征当前更新状态；

[0092] 表 5 遥测数据的格式

[0093]

名称	数据大小	备注
帧同步字	2 Byte	参照标准，一般为 0xEB90
格式模式字	1 Byte	0xBF，代表实时遥测。
当前操作的类型	1 Byte	其中 0x15 代表更新操作，0x8C 代表回滚操作，0xC0 代表删除操作
当前操作的状态	1 Byte	其中 0x11 代表操作成功，0x66 代表操作失败，0x88 代表正在执行
当前操作的函数地址	4 Byte	代表当前操作所针对的目标程序模块的函数入口地址
当前操作的版本号	1 Byte	当前操作所针对的目标程序模块的程序版本号
帧尾标识	1 Byte	参照标准，一般为 0x66
校验和	2 Byte	有效数据的 CRC 校验，用于校验该遥测数据的正确性

[0094] 地面可以通过观察遥测数据判断星上更新的状态，从而更好的了解在轨更新的过程。

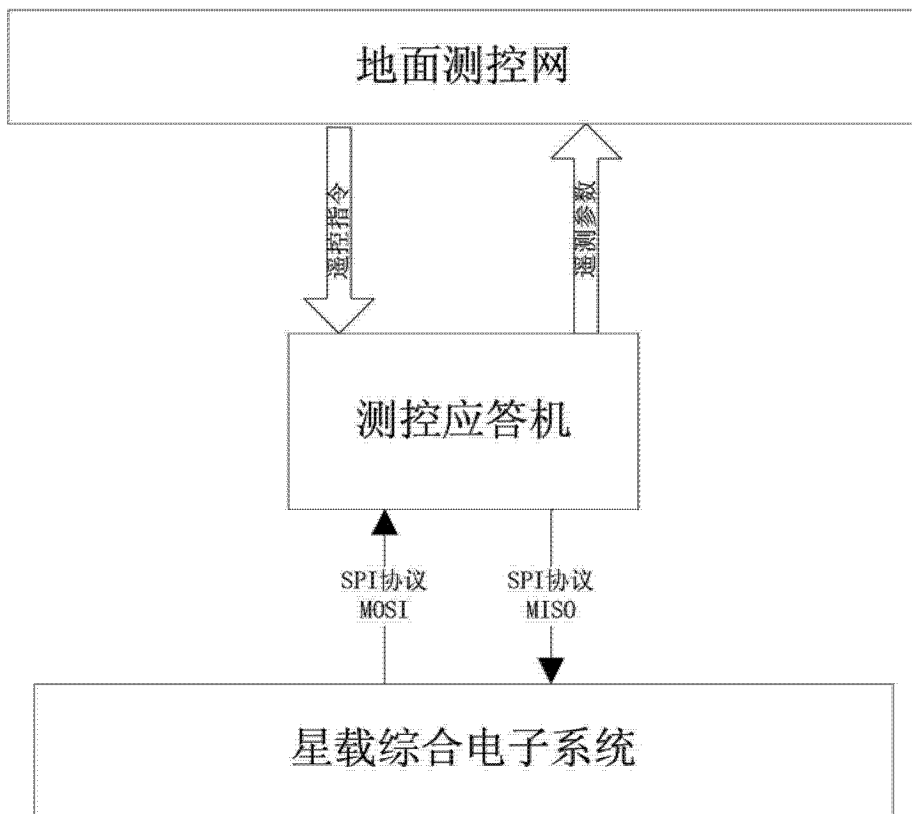


图 1

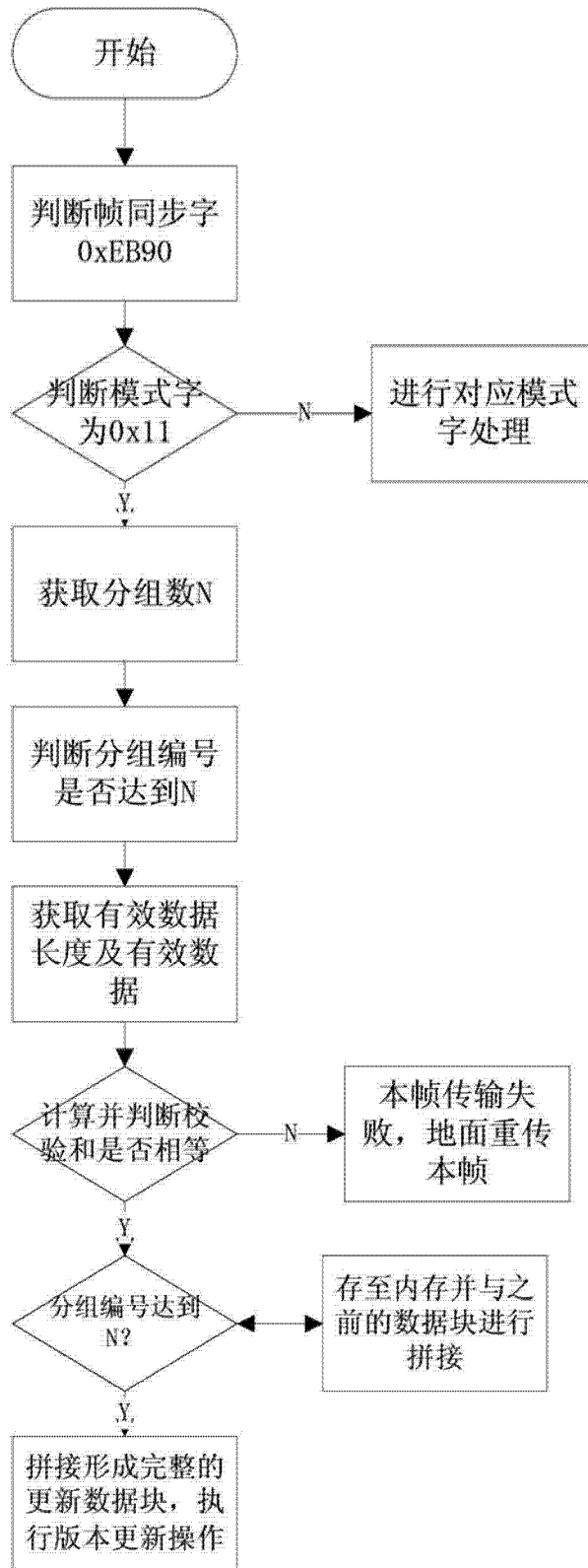


图 3

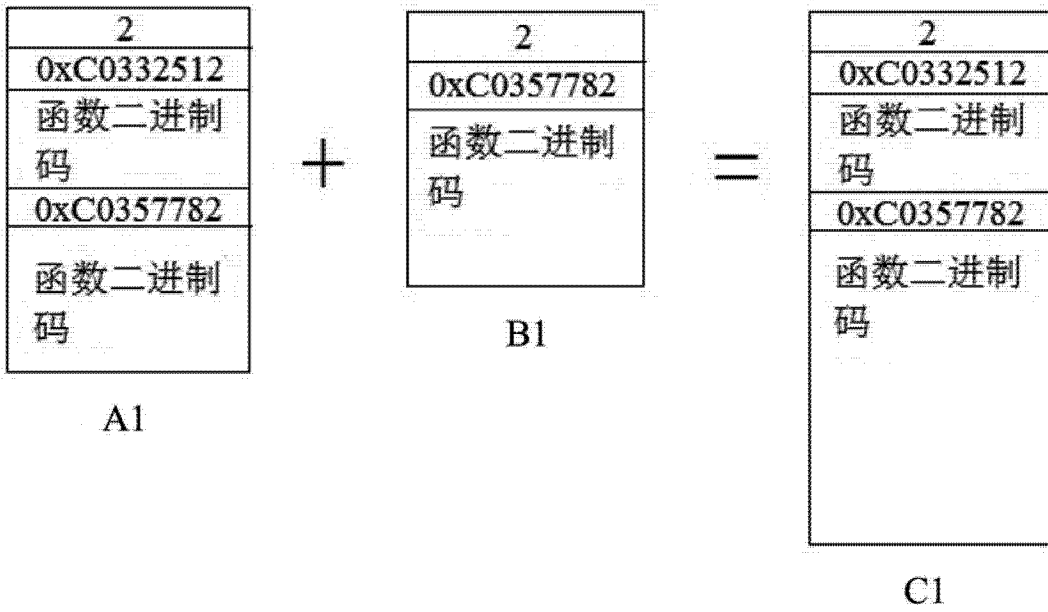


图 4(a)

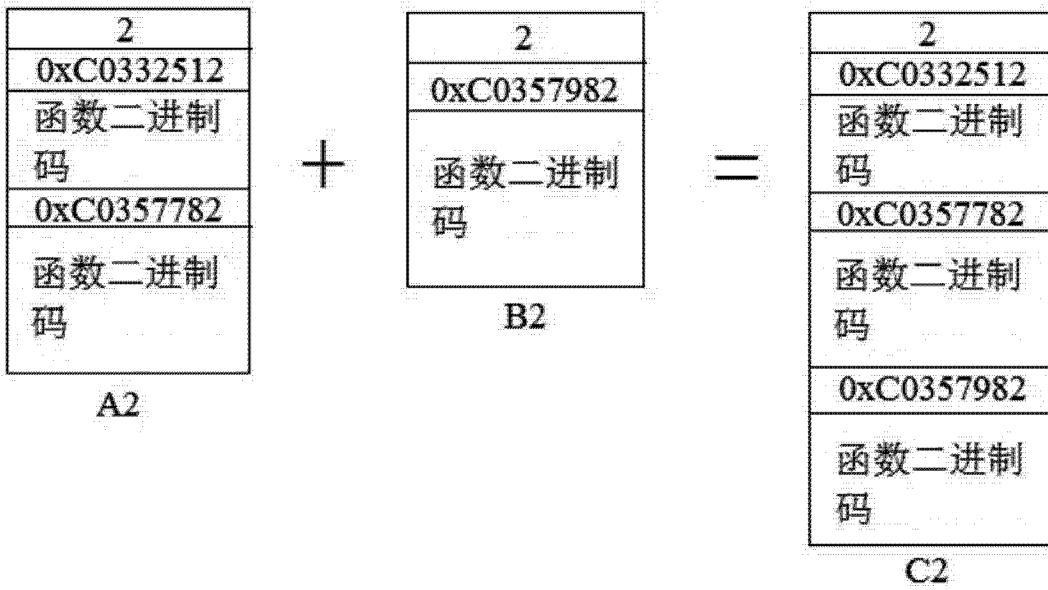


图 4(b)

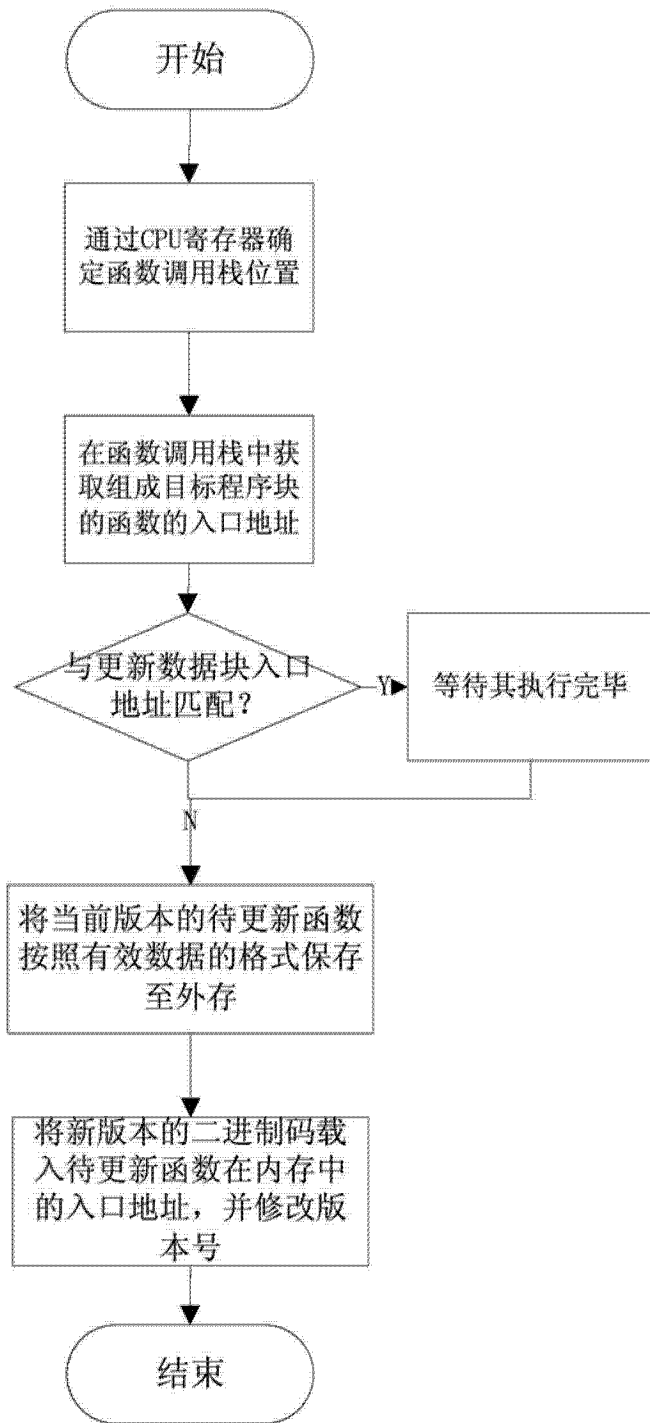


图 5

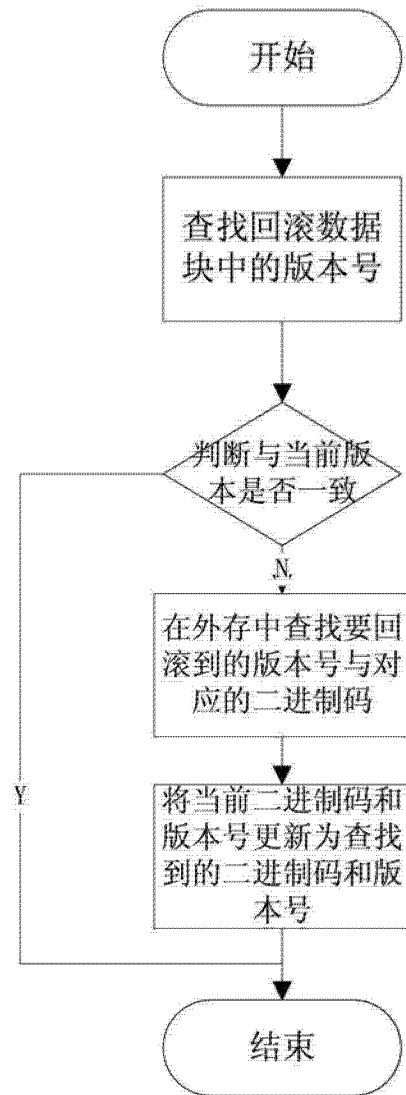


图 6

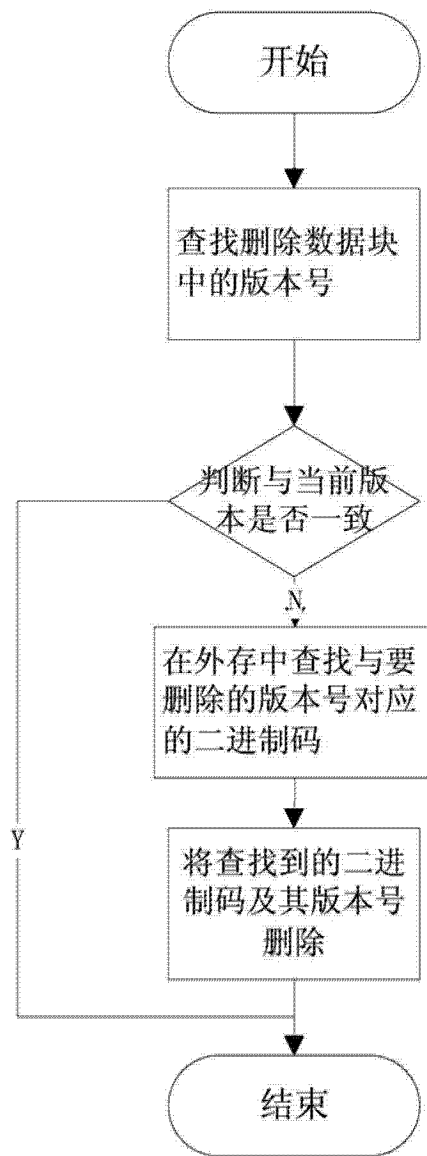


图 7