



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110049514 A
(43)申请公布日 2019.07.23

(21)申请号 201910250743.7

(22)申请日 2019.03.29

(71)申请人 中国科学院计算技术研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村科学院南路6号

(72)发明人 曹欢 苏泳涛 周一青 胡金龙 石晶林

(74)专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有限公司 11280

代理人 王勇

(51) Int. Cl.

H04W 28/08(2009.01)

H04W 28/24(2009.01)

H04B 7/185(2006.01)

H04B 7/0408(2017.01)

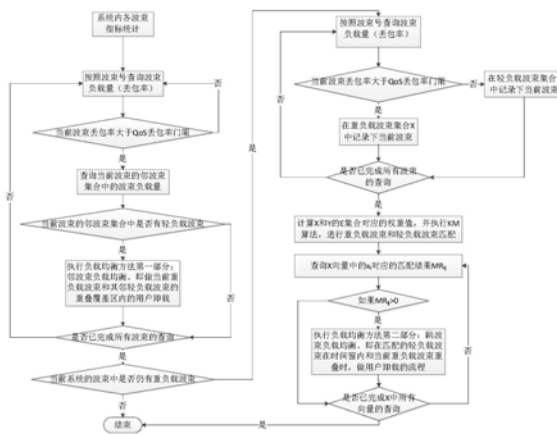
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法

(57)摘要

本发明基于当前卫星网络中多波束蜂窝组网的情况下,提出了一种基于QoS保障的联合邻波束和跳波束负载均衡的方法,既考虑到了用户的服务质量保障,又利用了相邻波束重叠覆盖区内用户多波束可卸载的特性进行负载均衡,同时还采用跳波束技术解决了波束中心用户无法卸载的问题,有效的降低了全网波束的丢包率,并提升了全网各波束的有效吞吐。本发明通过有效利用全网的空闲资源,解决用户分布不均带来的资源分配两极化的问题,有效降低网络平均丢包率,提升网络吞吐。



1. 一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,包括:

S1、统计各用户的丢包率、吞吐以及各波束的丢包率、吞吐,根据丢包率的QoS保障要求设置每个波束的丢包率门限值;

S2、以丢包率门限值作为判断标准,识别网络中的重负载波束和轻负载波束;

S3、采用邻波束负载均衡方法进行波束卸载,将重负载波束与相邻轻负载波束重叠覆盖区内的用户卸载到其相邻轻负载波束。

2. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

所述步骤S1包括如下步骤:

Q1、根据每个用户的业务对应的QoS参数,以用户业务包中的最大时延作为用户的QoS参数;

Q2、根据所有用户的QoS参数计算用户平均时延;

Q3、根据用户平均时延,指定用户平均时延的QoS保障策略。

3. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

QoS保障策略的指定标准为使用户实际分配到的比特速率大于等于用户所需的比特速率和用户所有包在一个时隙内被传输所需要的比特速率中的最小值。

4. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

丢包率门限值为波束内各用户业务的丢包率门限值与其传输的包的个数的乘积之和/波束传输的所有用户的包的总个数。

5. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,所述步骤S2中,

丢包率大于等于其丢包率门限值的波束为重负载波束;

丢包率小于其丢包率门限值的波束为轻负载波束。

6. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

所述步骤S3包括如下步骤:

S31、针对重负载波束,建立其对应的邻波束集合;

S32、遍历重负载波束的邻波束集合,以丢包率门限值为判断标准从其邻波束集合中选出重负载波束对应的所有轻负载波束;

S33、从步骤S32中选出的轻负载波束中选择一个轻负载波束;

S34、从重负载波束与选出的轻负载波束的重叠覆盖区域内选择丢包率最高的用户,并将该用户卸载到轻负载波束;

S35、基于步骤S34中涉及的轻负载波束的丢包率是否达到其丢包率门限值,确定是否针对该轻负载波束继续执行步骤S34。

7. 根据权利要求1所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于还包括:

步骤S4、在采用邻波束负载均衡方法进行波束卸载后,卫星网络中还存在重负载波束

时,采用跳波束负载均衡方法将重负载波束非重叠区内的用户卸载到非相邻的其他轻负载波束,直到所有重负载波束完成用户卸载。

8. 根据权利要求7所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

步骤S4还包括如下子步骤:

P1、针对经过邻波束负载均衡方法进行用户卸载后的所有波束建立重负载波束向量集合、轻负载波束向量集合、以及重负载波束和轻负载波束的非零联通边,非零联通边具有一个权重值,权重值用于判断非零联通边涉及的重负载波束和轻负载波束之间的负载量差值;

P2、统计当前时刻卫星网络中各波束的负载情况,将重负载波束记录到重负载波束向量集合中,轻负载波束记录到轻负载波束向量集合中;

P3、计算轻负载和重负载波束匹配策略,得到针对重负载波束向量集合中每一个重负载波束的匹配策略,其中,同频的重负载和轻负载波束不能进行匹配;

P4、根据步骤P3中的匹配策略,对重负载波束匹配的轻负载波束进行跳波束模式切换,并设立跳波束时间窗,使该轻负载波束对当前覆盖区和其匹配策略对应的重负载波束内的用户按时间窗分时进行周期性服务;

P5、判断匹配策略中的重负载波束的丢包率是否小于其丢包率门限值或者轻负载波束的丢包率是否大于其丢包率门限值确定是否结束当前匹配策略中的重负载波束和轻负载波束之间的跳波束负载均衡。

9. 根据权利要求8所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

所述步骤P4中,跳波束模式中,轻负载波束对其原覆盖区内的用户,采用基于QoS的网络中资源管理方法在覆盖时间窗内重新分配资源;当轻负载波束跳变到其对应的重负载波束覆盖区时,将重负载波束内的用户卸载到轻负载波束上。

10. 根据权利要求8所述的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,其特征在于,

所述步骤P4包括如下步骤:

P41、从重负载波束和轻负载波束的重叠覆盖区内选择丢包率最高的用户,并将该用户卸载到轻负载波束;

P42、判断步骤P41中的轻负载波束的丢包率是否达到其丢包率门限值,若是,结束用户卸载;若否,则继续执行步骤P41。

11. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,其上存储有计算机程序,所述计算机程序在运行时执行权利要求1至10中任一项所述的方法。

12. 一种用于多波束卫星网络的负载均衡控制的计算机设备,包括存储器和处理器,在所述存储器上存储有能够在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现权利要求1至10中任一项所述的方法。

一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信技术领域的资源管理,具体来说涉及多波束卫星通信网络负载均衡,更具体地说,涉及一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法。

背景技术

[0002] 卫星通信具有不受地理位置限制,支持各种不同需求的用户随时随地接入的优势。近年来,卫星通信领域取得了前所未有的发展,用户对卫星通信网络的业务需求正在日益变大。但是,和传统的地面网络不同,卫星具有功率、频谱及轨道受限的特点,因此,在设计卫星网络时,需采用高效的资源管理方式来满足日益增长的用户需求。

[0003] 现有的移动通信卫星通常网络中采用多波束、频率复用等技术来提升网络容量和资源利用率。在资源管理方式上,现有的卫星通信网络多采用均匀部署的资源分配方式,在带宽和功率分配上均采用规则的分配方式,例如采用给每个波束分配固定的带宽和功率资源的静态分配方式;这种静态分配的方式具有结构简单,实现容易的特点;但是,现实的业务分布具有不均匀的特点,每个波束覆盖下的用户分布和业务需求是动态变化、且高度不均的;因此,现有的静态资源分配方式在应对这种负载不均匀的情况时,资源管理的性能比较差,调度机制缺少灵活性。具体体现在,对于用户分布较密集的波束,由于用户需求过于密集,且分配给该波束的频率、功率等资源有限,就会造成负载过重而无法保障所有用户的业务需求;对于用户分布较少的波束,由于用户业务需求较少,分配的带宽和功率资源因为闲置而被浪费。

[0004] 鉴于上述资源管理方式存在的负载不均问题,研究者从各自的角度提出了一些解决方案,如基于相邻波束流量卸载的负载均衡方法,该方法利用相邻波束重叠覆盖创造的多传输路径可选择的特性,让重叠覆盖区内的用户可以从重负载波束卸载到相邻的轻负载波束上去,从而达到负载均衡的效果。该方法能在重叠覆盖区较高的情况下(假设重叠覆盖率达到100%,如图1所示),获得比较高的增益,有效降低重负载波束的丢包率,提升网络的吞吐量。但是,目前的卫星网络多采用传统的蜂窝组网方式(30%重叠覆盖),如图3所示,考虑到密集组网的干扰问题,波束组网的重叠覆盖率比较低,处于波束中心附近的用户由于空间上的限制,无法被卸载到其他的波束上,因此,在现有的低重叠覆盖的组网方式中,基于重叠覆盖区用户卸载的方法取得的效果有限,算法的性能取决于分布在重叠覆盖区内的用户数量和相邻波束中轻负载波束的数量。另外研究者还提出一种不规则尺寸波束组网的方法来解决网络负载不均衡的问题,如图2所示,对于用户分布密集的区域,采用增益更大、容量更高的小尺寸波束来覆盖;对于用户分布稀疏的区域,采用增益低、容量小的大尺寸波束来覆盖。通过这种不规则的波束组网来解决负载不均的问题。但是,由于星上转发器的限制,目前,只能支持两种不同尺寸的波束,负载均衡的效果仍然是有限的。

[0005] 另外,目前的负载均衡方法研究均基于理想的假设,没有考虑到实际业务中用户的体验问题,没有考虑到不同业务的QoS(服务质量保障)保障需求,在实际网络中不太实用。

[0006] 因此,如何在满足用户服务质量保障需求的同时,实现资源负载均衡是一个亟待解决的问题。

发明内容

[0007] 因此,本发明的目的在于克服上述现有技术的缺陷,提供一种基于QoS保障的联合邻波束和跳波束负载均衡方法,有效利用全网的空闲资源,进行负载均衡,改善全网的丢包率,提升网络吞吐。

[0008] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0009] 根据本发明的第一方面,本发明的一种适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法,包括:

[0010] S1、统计各用户的丢包率、吞吐以及各波束的丢包率、吞吐,根据丢包率的QoS保障要求设置每个波束的丢包率门限值;QoS保障策略的指定标准为使用户实际分配到的比特速率大于等于用户所需的比特速率和用户所有包在一个时隙内被传输所需要的比特速率中的最小值;

[0011] S2、以丢包率门限值作为判断标准,识别网络中的重负载波束和轻负载波束;丢包率门限值为波束内各用户业务的丢包率门限值与其传输的包的个数的乘积之和/波束传输的所有用户的包的总个数;丢包率大于等于其丢包率门限值的波束为重负载波束;丢包率小于其丢包率门限值的波束为轻负载波束;

[0012] S3、采用邻波束负载均衡方法进行波束卸载,将重负载波束与相邻轻负载波束重叠覆盖区内的用户卸载到其相邻轻负载波束。

[0013] 其中,所述步骤S1包括如下步骤:

[0014] Q1、根据每个用户的业务对应的QoS参数,以用户业务包中的最大时延作为用户的QoS参数;

[0015] Q2、根据所有用户的QoS参数计算用户平均时延;

[0016] Q3、根据用户平均时延,指定用户平均时延的QoS保障策略。

[0017] 所述步骤S3包括如下步骤:

[0018] S31、针对重负载波束,建立其对应的邻波束集合;

[0019] S32、遍历重负载波束的邻波束集合,以丢包率门限值为判断标准从其邻波束集合中选出重负载波束对应的所有轻负载波束;

[0020] S33、从步骤S32中选出的轻负载波束中选择一个轻负载波束;

[0021] S34、从重负载波束与选出的轻负载波束的重叠覆盖区域内选择丢包率最高的用户,并将该用户卸载到轻负载波束;

[0022] S35、基于步骤S34中涉及的轻负载波束的丢包率是否达到其丢包率门限值,确定是否针对该轻负载波束继续执行步骤S34。

[0023] 根据本发明的第二方面,在采用邻波束负载均衡方法进行波束卸载后,卫星网络中还存在重负载波束时,采用跳波束负载均衡方法将重负载波束非重叠区内的用户卸载到非相邻的其他轻负载波束,直到所有重负载波束完成用户卸载,包括如下步骤:

[0024] P1、针对经过邻波束负载均衡方法进行用户卸载后的所有波束建立重负载波束向量集合、轻负载波束向量集合、以及重负载波束和轻负载波束的非零联通边,非零联通边具

有一个权重值,权重值用于判断非零联通边涉及的重负载波束和轻负载波束之间的负载量差值;

[0025] P2、统计当前时刻卫星网络中各波束的负载情况,将重负载波束记录到重负载波束向量集合中,轻负载波束记录到轻负载波束向量集合中;

[0026] P3、计算轻负载和重负载波束匹配策略,得到针对重负载波束向量集合中每一个重负载波束的匹配策略,其中,同频的重负载和轻负载波束不能进行匹配;

[0027] P4、根据步骤P3中的匹配策略,对重负载波束匹配的轻负载波束进行跳波束模式切换,并设立跳波束时间窗,使该轻负载波束对当前覆盖区和其匹配策略对应的重负载波束内的用户按时间窗分时进行周期性服务;跳波束模式中,轻负载波束对其原覆盖区内的用户,采用基于QoS的网络中资源管理方法在覆盖时间窗内重新分配资源;当轻负载波束跳变到其对应的重负载波束覆盖区时,将重负载波束内的用户卸载到轻负载波束上;

[0028] P5、判断匹配策略中的重负载波束的丢包率是否小于其丢包率门限值或者轻负载波束的丢包率是否大于其丢包率门限值确定是否结束当前匹配策略中的重负载波束和轻负载波束之间的跳波束负载均衡。

[0029] 所述步骤P4包括如下步骤:

[0030] P41、从重负载波束和轻负载波束的重叠覆盖区内选择丢包率最高的用户,并将该用户卸载到轻负载波束;

[0031] P42、判断步骤P41中的轻负载波束的丢包率是否达到其丢包率门限值,若是,结束用户卸载;若否,则继续执行步骤P41。

[0032] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明所提出的基于QoS保障的联合邻波束和跳波束负载均衡方法,以波束的丢包率和用户的丢包率作为评价指标,并根据丢包率的QoS保障要求作为门限,能够从网络中识别出负载较重的波束,并运用本发明提出的负载均衡机制,找到合适的轻负载波束,卸载重负载波束重叠覆盖区内的用户到轻负载邻波束,并通过跳波束技术可以卸载重负载波束非重叠覆盖区内的用户(波束中心用户)到其他合适的轻负载波束。通过有效利用全网的空闲资源,解决用户分布不均带来的资源分配两极化的问题,有效降低网络平均丢包率,提升网络吞吐。

附图说明

[0033] 以下参照附图对本发明实施例作进一步说明,其中:

[0034] 图1为现有技术重叠率100%的情况下卫星波束用户分布示意图;

[0035] 图2为现有技术重叠率100%的情况下卫星波束用户邻波束负载均衡示意图;

[0036] 图3为根据本发明实施例的适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法蜂窝组网卫星网络用户分布示意图;

[0037] 图4为根据本发明实施例的适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法多波束移动通信卫星网络架构示意图;

[0038] 图5为根据本发明实施例的适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法的基于QoS的网络中资源管理示意图;

[0039] 图6为根据本发明实施例的适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法跳波束负载均衡匹配方案示意图;

[0040] 图7为根据本发明实施例的适用于多波束卫星网络的负载均衡控制方法流程图示意图。

具体实施方式

[0041] 为了使本发明的目的,技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图通过具体实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0042] 概括地说,本专利针对现有技术存在的问题,设计了基于QoS保障体系的用户调度方法,并基于此提出了一种联合相邻波束和跳波束的负载均衡方法,用于解决网络负载不均的问题。本发明优先考虑从重负载波束的相邻波束中选择轻负载波束,用于将重负载波束与轻负载波束重叠覆盖区内的用户卸载到轻负载波束来做负载均衡,并且在可卸载用户的选择过程中设计了用户服务质量指标(丢包率),优先卸载体验较差的用户,以改善用户体验。如果邻波束中无轻负载波束或是重叠覆盖区内无用户可卸载,那么继续考虑非重叠覆盖区内的用户卸载,这时发明人采用跳波束技术,来解决非重叠覆盖区内的用户卸载问题。通过跳波束技术,发明人可以将网络中符合条件的轻负载波束切换到跳变模式,使得该波束可以按照预定的速率或时间窗对当前服务区和其他服务区(重负载波束的服务区)做按时间窗覆盖,这里跳变模式下的轻负载波束主要考虑对当前服务区和重负载波束的波束中心用户进行覆盖,当重负载波束和轻负载波束在同一时间段内重叠覆盖时,重负载波束中心的用户可以卸载到跳变的轻负载波束上,从而达到全网各波束的负载均衡效果。本发明的目的是解决现实多波束卫星网络中,由于用户分布不均,带来资源分配两极化的问题,既解决了轻负载波束的频率和功率资源由于闲置而被浪费的问题,也解决了重负载波束由于资源不够用,而造成用户无法被及时调度、丢包率高、体验差等问题。

[0043] 针对上述问题,本发明提出了一种基于QoS保障的联合邻波束和跳波束负载均衡的方法,有效利用全网的空闲资源,进行负载均衡,改善全网的丢包率,提升网络吞吐;尤其是针对现有的波束中心(非重叠覆盖区)用户无法卸载的问题,本发明提出了一种跳波束方法对重负载波束进行重叠覆盖,有效解决了现有方案中的这一缺陷。概括来说,本发明采用了基于QoS保障的用户服务质量评价体系,以不同业务类型(如语音、视频等)的丢包率为性能指标,设定了波束负载门限值指标即丢包率门限值,设计了波束的负载门限计算方法,通过该负载门限值指标可以判断出当前波束是重负载波束或是轻负载,丢包率大于等于丢包率门限值的波束为重负载波束,反之为轻负载波束。其次,本发明针对相邻波束重叠覆盖区内的用户卸载问题,设计了一套基于QoS保障的用户卸载流程,根据用户的地理位置,选择合适的轻负载邻波束做负载均衡,在均衡的过程中,以单个用户的丢包率为评价指标,优先卸载丢包率高体验差的用户,在改善网络中各丢包率和吞吐的过程中,更加关注单个用户的体验。最后,本发明针对卫星网络中,重负载波束的非重叠覆盖区内即波束中心区域用户无法选择其他波束进行流量卸载的问题,设计了跳波束负载均衡方法:当采用跳波束模式进行负载均衡时,采用本发明设计的门限判别法,识别网络中轻负载波束和重负载波束,并建立相应的轻负载波束和重负载波束集合;为了最大化利用全网的空闲资源,本发明提供了重负载波束和轻负载波束的(不同频率的波束,重叠覆盖策略)按权重匹配策略的方法,并给出了权重的计算方法;在跳波束进行当前服务区服务和跳变服务区服务时(即重负载

波束服务区),本发明提供了跳变服务时间窗的指标,跳变模式的轻负载波束必须按照时间窗的要求进行波束覆盖,在相匹配的轻负载波束(跳变波束)和重负载波束重叠覆盖时间(跳变服务时间窗)内,重负载波束可按照本发明提供的QoS保障的流程卸载用户(尤其是非重叠覆盖区内的用户)到轻负载波束,在改善网络中各丢包率和吞吐。

[0044] 为了更好的理解本发明,下面结合附图详细说明本发明。

[0045] 如图4所示全球移动卫星网络的架构,整个网络主要由卫星(GEO satellite)、地面关口站(Gateway)、地面运控(NCC)、核心网(Server)和用户终端(UT)构成。在传输体制上,下行采用TDM的多址方式,用户按照时间来共享下行的带框资源;上行采用多频点时分复用(MF-TDMA)的传输体制,允许用户在多个频点上进行跳变。另外,网络采用了频率复用技术来提升频率资源的利用率。

[0046] 用户的地理位置随机分布,每个用户的业务数据包到达规律符合泊松点过程,在相等时间间隔T内,n个数据包到达的可能性 p_n 服从下列分布 $P_n = \frac{(\alpha T)^n}{n!} \exp\{-\alpha T\}$,其中,到达速率 α 表示在一个时间间隔T内到达的数据包的平均值,在一个时间间隔T内无数据包到达的概率为 $f(T) = \exp\{-\alpha T\}$ 。

[0047] 将波束的集合表示为B,第i个波束的覆盖下的用户集合为 C_i ,第i个波束覆盖下且被第i个波束服务的用户集合为 $M_{RT}(i)$ 。对于单个波束的资源分配用比特速率来表示,以 $R_{i,m}(t)$ 表示为分配给第i个波束覆盖下第m个用户在第t个时隙的比特速率, $R_{i,m}(t) = BW_i \log_2(1 + \frac{P_{i,m}(t) * G_{i,m}(t)}{\sigma^2})$,其中, BW_i 表示分配给第i个波束的带宽,频率复用因子为 L_r ,网络中总带宽为 BW_{Total} ,则每个波束的带宽可表示为 $BW_i = BW_{Total}/FR$,空间信道为高斯白噪声信道, σ^2 为背景噪声, $G_{i,m}(t)$ 为信道的增益。

[0048] 如图5所示,为了充分满足网络中用户实时业务的服务质量保障的需求,本发明针对资源分配过程提出一种基于用户平均时延的QoS保障策略,每个用户的业务都有自己的QoS参数,如单个包的最大时延或业务的平均速率等,这里以包的最大时延(Delay bound)为用户的QoS参数,如果单个数据包在最大时延要求内没有被调度,该数据包将被丢掉。用户平均时延的QoS保障策略可表示为: $R_{i,m}^{actual}(t) \geq \min\{R_{i,m}^{req}(t), R_{i,m}^{max}(t)\}, \forall i, m, t$;其中, $R_{i,m}^{req}(t)$ 表示用

户m需要的比特速率(单位为bits/slot) $R_{i,m}^{req}(t) = \sum_{k=1}^{Q_{i,m}(t)} \frac{l_{i,m,k}}{e_{i,m,k}}$,

[0049] 其中 $l_{i,m,k}$ 表示用户m的队列中第k个数据包的长度, $e_{i,m,k}$ 表示用户m第k个数据包的调度剩余时延。 $R_{i,m}^{max}(t)$ 表示用户m队列中所有包在一个时隙内被传输需要的比特速率, $R_{i,m}^{actual}(t)$ 表示实际分配给用户m的比特速率。网络中各波束的吞吐量可表示为:

$$[0050] \quad R_i(t) = \sum_t \sum_{m \in M_{RT}(i)} \delta_{i,m}(t) R_{i,m}(t)$$

$$[0051] \quad \text{其中,} \quad \sum_{m \in M_{RT}(i)} P_{i,m}(t) \delta_{i,m}(t) \leq P_{total}, \forall i, t$$

$$[0052] \quad \sum_{m \in M_{RT}(i)} \delta_{i,m}(t) \leq 1, \forall i, t$$

[0053] 其中, $R_i(t)$ 表示第i个波束的吞吐量, $\delta_{i,m}(t)$ 表示当前时隙是否分配给用户m,0表

示不分配,1表示分配。

[0054] 在网络中运行期间,当存在波束的负载过重时,就要对该波束进行负载均衡处理,如图7所示,波束覆盖下的用户可分为三种类型:

[0055] (1) 被当前波束覆盖,但是被邻波束服务的用户;

[0056] (2) 被当前波束覆盖,被当前波束服务的用户;

[0057] (3) 被当前波束覆盖,可以通过跳波束技术卸载到其他波束,并被其他波束服务的用户

[0058] 令 $U_{i,m}(t) = \sum_t \delta_{i,m}(t) R_{i,m}(t)$, 波束*i*覆盖下的用户可表示为 $K_i(t)$:

$$[0059] \quad K_i(t) = \sum_{\forall j \in N_i} \sum_{m \in M_{RT}(j), \forall m \in C_i \cap C_j} U_{j,m}(t) + \sum_{m \in M_{RT}(i), \forall m \in C_i} U_{i,m}(t) + \sum_{\forall h \in H_i} \sum_{m \in M_{RT}(h), \forall m \in C_i} U_{h,m}(t)$$

[0060] 则负载均衡表示为:

$$[0061] \quad \sum_{i \in B} K_i(t)$$

[0062] 假定 $\delta_{i,m}(t) + \sum_{j \in N_i} \delta_{j,m}(t) + \sum_{h \in H_i} \delta_{h,m}(t) = 1, \forall i, j, h \in B, \forall t$

$$[0063] \quad D_i^{Total} \leq D_i^{Total_Threshold}$$

[0064] 其中, N_i 表示第*i*个波束的邻波束集合, H_i 表示第*i*个波束的跳波束集合(指集合中的跳变波束*h*可以覆盖波束*i*的覆盖区域,用于波束*i*的中心区域用户卸载)。 D_i^{Total} 表示当前波束的丢包率, $D_i^{Total_Threshold}$ 表示波束*i*的丢包率门限,可表示为:

$$[0065] \quad D_i^{Total_threshold} = \frac{\sum_{m \in M_{RT}(i)} d_{i,m}}{\sum_{m \in M_{RT}(i)} Q_{i,m}^{Total}} = \frac{\sum_{m \in M_{RT}(i)} D_{i,m}^{Threshold} Q_{i,m}^{Total}}{\sum_{m \in M_{RT}(i)} Q_{i,m}^{Total}}$$

[0066] 其中, $d_{i,m}$ 、 $Q_{i,m}^{Total}$ 分别表示第*i*个波束第*m*个用户的丢包个数和总的传送数据包, $D_{i,m}^{Threshold}$ 表示第*i*个波束第*m*个用户的QoS要求的丢包率指标。根据用户的QoS保障需求,每个波束的丢包率门限设置为波束内各用户业务的丢包率门限值与其传输的包的个数的乘积之和/波束传输的所有用户的包的总个数,当波束内的丢包率大于等于其丢包率门限值时,则该波束为重负载波束,反之为轻负载波束。

[0067] 根据本发明的一个实施例,采用邻波束负载均衡控制方法做负载均衡,进行用户卸载,此时,即 $H_i \in \emptyset, i \in B$, $\delta_{i,m}(t) + \sum_{j \in N_i} \delta_{j,m}(t) + \sum_{h \in H_i} \delta_{h,m}(t) = 1, \forall i, j, h \in B, \forall t$ 中第三项为0,包括如下步骤:

[0068] L1、采用基于QoS的网络中资源管理方法进行用户资源调度,进行网络中内各波束指标统计,即统计一段时间后的各用户的丢包率、吞吐,各波束的丢包率、吞吐;统计所有波束的负载情况,挑选出其中的重负载波束,并给每个重负载波束建立邻波束集合 $N_i, i \in B$;

[0069] L2、按照波束号查询波束负载量(丢包率);

[0070] L3、判断当前波束丢包率是否大于其QoS丢包率门限值,若是,则转到步骤L4,若否,转到步骤L2;

[0071] L4、查询当前波束的邻波束集合中是否有轻负载波束,若是,则转到步骤L5,若否,

则转到步骤L9;

[0072] L5、执行负载均衡方法的邻波束负载均衡,即做当前重负载波束和其邻轻负载波束的重叠覆盖区域内的用户卸载;

[0073] L6、遍历重负载波束*i*的邻波束集合 $N_i, i \in B$,从集合 N_i 中选择轻负载波束*j*,该波束满足条件 $D_j^{Total} < D_j^{Total_threshold}, j \in N_i$;

[0074] L7、从重负载波束*i*和邻波束*j*的重叠覆盖区内选择用户 $m \in M_{RT}(i)$,并将用户*m*卸载到邻波束*j*,卸载的原则是用户*m*的丢包率最高,即 $find(Max(D_{i,m}), m \in M_{RT}(i), \forall m \in C_i \cap C_j, \forall j \in N(i)$,其中 $D_{i,m}$ 表示用户的丢包率;

[0075] L8、判断邻波束*j*的负载是否超过门限值,即 $D_j^{Total} \geq D_j^{Total_threshold}, j \in N_i$ 是否满足,如果满足该条件,邻波束*i*中重叠覆盖区内的用户无法卸载到波束*j*,重复执行步骤L6;如果不满足,判断波束*i*和波束*j*的重叠覆盖区内是否还有用户可卸载到波束*j*,若是则重复执行步骤L7,若否,则推出当前重负载波束的邻波束负载均衡流程;

[0076] L9、针对每一波束重复执行步骤L2至L8,对每一重负载波束执行邻波束负载均衡。

[0077] 根据本发明的第二个实施例,采用采用跳波束负载均衡控制方法做负载均衡,进行用户卸载,包括如下步骤:

[0078] T1、按照波束号查询波束负载量(丢包率);如图7所示,建立二分图集合 $G(X, Y, E)$,其中, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示重负载波束向量集合, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 表示轻负载波束集合, $E < x_i, y_j >$ 表示 X 和 Y 中波束之间的非零联通边,每个边都有一个权重值,用于判断波束*i*和波束*j*之间的负载量差值,权重计算可表示为: $\mu_{ij} = D_{y_j}^{Total} - D_{x_i}^{Total}, x_i \in X, y_j \in Y, i \in n, j \in m$;

[0079] T2、判断当前波束丢包率是否大于其QoS丢包率门限值,若是,则在重负载波束集合 X 中记录下当前波束,若否,则在轻负载波束集合 Y 中记录下当前波束;

[0080] T3、判断是否已完成所有波束的查询,若是,转到步骤T4,若否,转到步骤T1;

[0081] T4、计算 X 和 Y 的 E 集合对应的权重值,并执行KM算法,进行重负载波束和轻负载波束匹配,以当前多波束网络中的频率因子 $FR \in \{1, 2, 3, 4, 7\}$ 为例,网络中的可用频点 $F = \{f_1, \dots, f_{FR}\}$,可用带宽 $BW_i = BW_{total}/FR$,波束*i*的频点 $f_i \in F$;采用二分图加权匹配算法(KM算法),查找最优的轻负载和重负载波束匹配策略,算法过程中需满足约束条件,即同频波束不能进行匹配($f_i \neq f_j$),原因在于轻负载波束需要通过跳波束技术对重负载波束的波束中心区域进行重叠覆盖,同频波束会造成较大干扰,以 MR_{ij} 表示KM算法后的匹配结果,通过该矩阵,可以查询到每个重负载波束*i*对应的轻负载波束*j*;

[0082] T5、查询 X 向量中的 x_i 对应的匹配结果 MR_{ij} ;

[0083] T6、判断 MR_{ij} 是否大于0,如果 $MR_{ij} > 0$,则执行跳波束负载均衡,即在匹配的轻负载波束在时间窗内和当前重负载波束重叠时,做用户卸载的流程,转到到步骤T7;如果 $MR_{ij} \leq 0$,则针对 X 中的下一向量执行步骤T5;

[0084] T7、切换波束*j*到跳波束模式,给波束*j*设立跳波束时间窗 T_{BH}^j ,波束*j*在跳变模式下,可以对当前覆盖区和重负载波束*i*覆盖区内的用户按时间窗 T_{BH}^j 分时进行周期性服务;对于原覆盖区内的用户,基于QoS保障的资源调度方法在覆盖时间窗 T_{BH}^j 内重新分配资源;对于重负载波束*i*内的用户,当波束*j*跳变到其覆盖区时,卸载用户到波束*j*上,从重负载波

束*i*和邻波束*j*的重叠覆盖区内选择用户 $m \in M_{RT}(i)$,并卸载到邻波束*j*,卸载的原则是用户*m*的丢包率最高,即 $find(Max(D_{i,m})), m \in M_{RT}(i), \forall m \in C_i \cap C_j, \forall j \in N(i)$,其中 $D_{i,m}$ 表示用户的丢包率;

[0085] T8、当重负载波束*i*的丢包率门限值满足 $D_i^{Total} < D_i^{Total_threshold}$ 或是轻负载波束无法接纳更多用户时 $D_j^{Total} \geq D_j^{Total_threshold}$,停止当前配对的轻负载波束和重负载波束之间的负载均衡;

[0086] T9、判断是否完成X向量中所有向量的查询,若是,结束负载均衡,若否,重复步骤T5至步骤T8,直到所有重负载波束完成跳波束卸载流程。

[0087] 根据本发明的第三个实施例,采用邻波束负载均衡和跳波束负载均衡联合方式对卫星网络进行负载均衡控制,包括如下步骤:

[0088] 步骤0:采用邻波束卸载的方法波束做负载均衡,此时网络还没有启动跳波束模式,即 $H_i \in \emptyset, i \in B$, $\delta_{i,m}(t) + \sum_{j \in N_i} \delta_{j,m}(t) + \sum_{h \in H_i} \delta_{h,m}(t) = 1, \forall i, j, h \in B, \forall t$ 中第三项为0,此时采用邻波束负载均衡方法进行波束卸载;

[0089] 步骤1:采用基于QoS的网络中资源管理方法进行用户资源调度,进行网络中内各波束指标统计,即统计一段时间后的各用户的丢包率、吞吐,各波束的丢包率、吞吐;统计所有波束的负载情况,挑选出其中的重负载波束,并给每个重负载波束建立邻波束集合 $N_i, i \in B$;

[0090] 步骤2:按照波束号查询波束负载量(丢包率);

[0091] 步骤3:判断当前波束丢包率是否大于其QoS丢包率门限值,若是,则转到步骤4,若否,转到步骤2;

[0092] 步骤4:查询当前波束的邻波束集合中是否有轻负载波束,若是,则转到步骤5,若否,则转到步骤9;

[0093] 步骤5、执行负载均衡方法的邻波束负载均衡,即做当前重负载波束和其邻轻负载波束的重叠覆盖区域内的用户卸载;

[0094] 步骤6:遍历重负载波束*i*的邻波束集合 $N_i, i \in B$,从集合 N_i 中选择轻负载波束*j*,该波束满足条件 $D_j^{Total} < D_j^{Total_threshold}, j \in N_i$;从重负载波束*i*和邻波束*j*的重叠覆盖区内选择用户 $m \in M_{RT}(i)$,并卸载到邻波束*j*,卸载的原则是用户*m*的丢包率最高,即 $find(Max(D_{i,m})), m \in M_{RT}(i), \forall m \in C_i \cap C_j, \forall j \in N(i)$,其中 $D_{i,m}$ 表示用户的丢包率;

[0095] 步骤7:判断邻波束*j*的负载是否超过门限值,即 $D_j^{Total} \geq D_j^{Total_threshold}, j \in N_i$ 是否满足,如果满足该条件,邻波束*i*中重叠覆盖区内的用户无法卸载到波束*j*,重复执行步骤6;如果不满足,判断波束*i*和波束*j*的重叠覆盖区内是否还有用户可卸载到波束*j*,若是则重复执行步骤6,若否,则转到步骤8;

[0096] 步骤8:继续下一个重负载波束的邻波束负载均衡,重复步骤6至7过程,直到所有重负载波束执行完邻波束负载均衡;

[0097] 步骤9、判断是否已经完成所有波束的查询,如是,转到步骤10,若否,转到2;

[0098] 步骤10、判断当前网络中的波束中是否仍有重负载波束,若是,转到步骤10A进行跳波束负载均衡控制,若否,则直接结束;

[0099] 步骤10A:按照波束号查询波束负载量(丢包率);如图6所示,建立二分图集合 $G(X, Y, E)$,其中, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 表示重负载波束向量集合, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 表示轻负载波束

集合, $E < x_i, y_j >$ 表示X和Y中波束之间的非零联通边, 每个边都有一个权重值, 用于判断波束i和波束j之间的负载量差值, 权重计算可表示为: $\mu_{ij} = D_{y_j}^{Total} - D_{x_i}^{Total}, x_i \in X, y_j \in Y, i \in n, j \in m$;

[0100] 步骤11: 判断当前波束丢包率是否大于其QoS丢包率门限值, 若是, 则在重负载波束集合X中记录下当前波束, 若否, 则在轻负载波束集合Y中记录下当前波束;

[0101] 步骤12: 判断是否已完成所有波束的查询, 若是, 转到步骤13, 若否, 转到步骤10A;

[0102] 步骤13、计算X和Y的E集合对应的权重值, 并执行KM算法, 进行重负载波束和轻负载波束匹配, 以当前多波束网络中的频率因子 $FR \in \{1, 2, 3, 4, 7\}$ 为例, 网络中的可用频点 $F = \{f_1, \dots, f_{FR}\}$, 可用带宽 $BW_i = BW_{total}/FR$, 波束i的频点 $f_i \in F$; 采用二分图加权匹配算法(KM算法), 查找最优的轻负载和重负载波束匹配策略, 算法过程中需满足约束条件, 即同频波束不能进行匹配 ($f_i \neq f_j$), 原因在于轻负载波束需要通过跳波束技术对重负载波束的波束中心区域进行重叠覆盖, 同频波束会造成较大干扰, 以 MR_{ij} 表示KM算法后的匹配结果, 通过该矩阵, 可以查询到每个重负载波束i对应的轻负载波束j;

[0103] 步骤14、查询X向量中的 x_i 对应的匹配结果 MR_{ij} ;

[0104] 步骤15, 判断 MR_{ij} 是否大于0, 如果 $MR_{ij} > 0$, 则执行跳波束负载均衡, 即在匹配的轻负载波束在时间窗内和当前重负载波束重叠时, 做用户卸载的流程, 到步骤16; 如果 $MR_{ij} \leq 0$, 则针对X中的下一向量执行步骤14;

[0105] 步骤16、切换波束j到跳波束模式, 给波束j设立跳波束时间窗 T_{BH}^j , 波束j在跳变模式下, 可以对当前覆盖区和重负载波束i覆盖区内的用户按时间窗 T_{BH}^j 分时进行周期性服务; 对于原覆盖区内的用户, 基于QoS保障的资源调度方法在覆盖时间窗 T_{BH}^j 内重新分配资源; 对于重负载波束i内的用户, 当波束j跳变到其覆盖区时, 卸载用户到波束j上, 从重负载波束i和邻波束j的重叠覆盖区内选择用户 $m \in M_{RT}(i)$, 并卸载到邻波束j, 卸载的原则是用户m的丢包率最高, 即 $find(Max(D_{i,m})), m \in M_{RT}(i), \forall m \in C_i \cap C_j, \forall j \in N(i)$, 其中 $D_{i,m}$ 表示用户的丢包率;

[0106] 步骤17: 当重负载波束i的丢包率门限值满足 $D_i^{Total} < D_i^{Total_threshold}$ 或是轻负载波束无法接纳更多用户时 $D_j^{Total} \geq D_j^{Total_threshold}$, 停止当前配对的轻负载波束和重负载波束之间的负载均衡。

[0107] 步骤18: 判断是否完成X向量中所有向量的查询, 若是, 结束负载均衡, 若否, 重复步骤14至步骤17, 直到所有重负载波束完成跳波束卸载流程。

[0108] 现有的多波束卫星网络中, 针对用户分布不均的问题, 提出的负载均衡方法均不能有效解决当前主流的点波束蜂窝组网情况下, 各波束间用户不均衡的问题, 不能有效利用卫星网络中稀缺的频率和功率资源。本发明针对上述存在的问题, 基于当前卫星网络中多波束蜂窝组网的情况下, 提出了一种基于QoS保障的联合邻波束和跳波束负载均衡方法, 既考虑到了用户的服务质量保障, 又利用了相邻波束重叠覆盖区内用户多波束可卸载的特性进行负载均衡, 同时还采用跳波束技术解决了波束中心用户无法卸载的问题, 有效的降低了全网波束的丢包率, 并提升了全网各波束的有效吞吐。本发明通过有效利用全网的空闲资源, 解决用户分布不均带来的资源分配两极化的问题, 有效降低网络平均丢包率, 提升网络吞吐。

[0109] 需要说明的是,虽然上文按照特定顺序描述了各个步骤,但是并不意味着必须按照上述特定顺序来执行各个步骤,实际上,这些步骤中的一些可以并发执行,甚至改变顺序,只要能够实现所需要的功能即可。

[0110] 本发明可以是网络中、方法和/或计算机程序产品。计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质,其上载有用于使处理器实现本发明的各个方面的计算机可读程序指令。

[0111] 计算机可读存储介质可以是保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以包括但不限于电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPR0M或闪存)、静态随机存取存储器(SRAM)、便携式压缩盘只读存储器(CD-ROM)、数字多功能盘(DVD)、记忆棒、软盘、机械编码设备、例如其上存储有指令的打孔卡或凹槽内凸起结构、以及上述的任意合适的组合。

[0112] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进,或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

用户分布

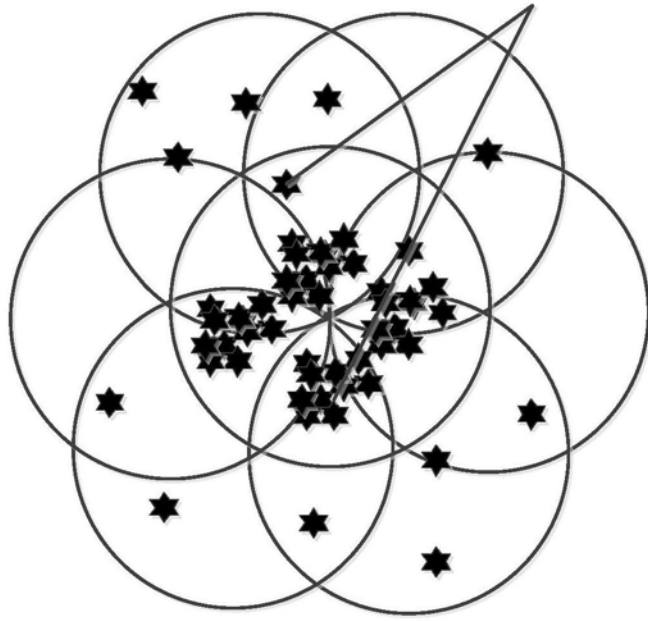


图1

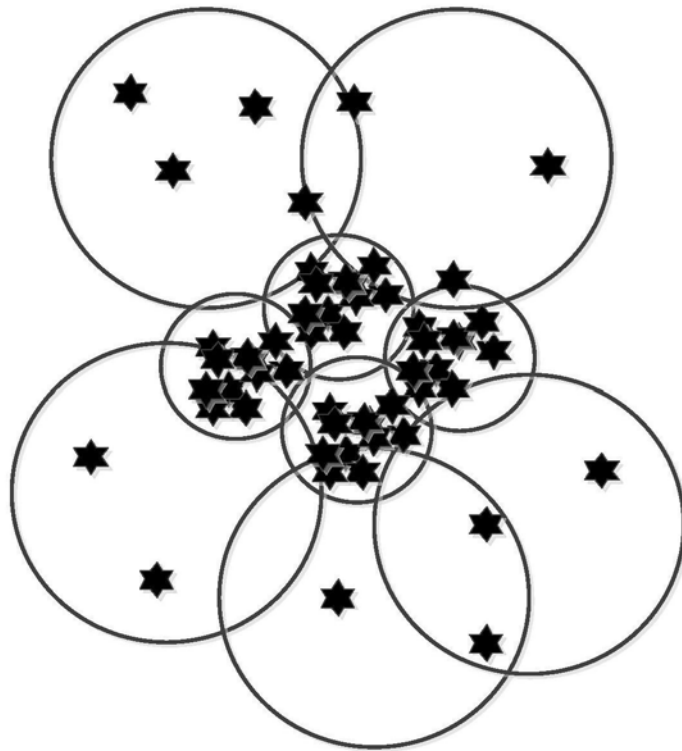


图2

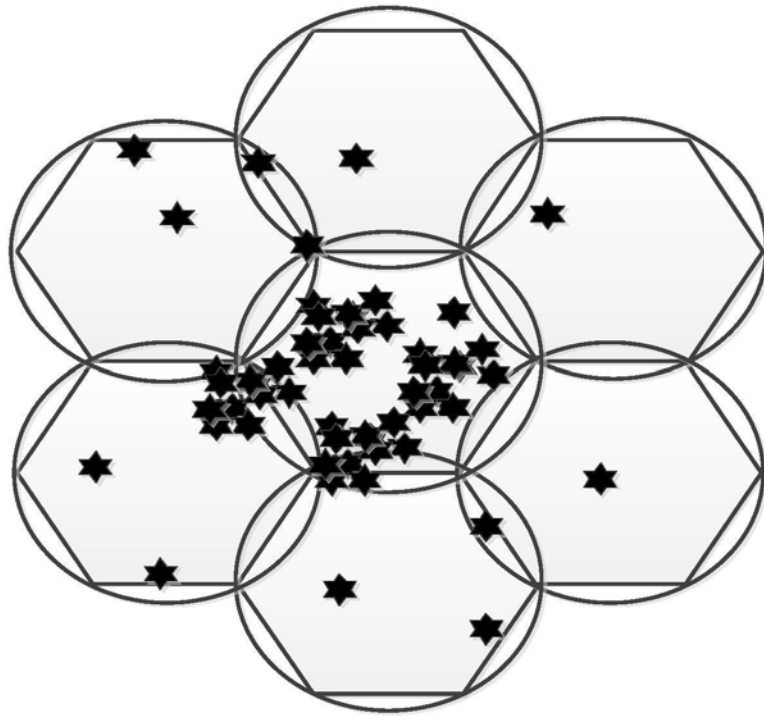


图3

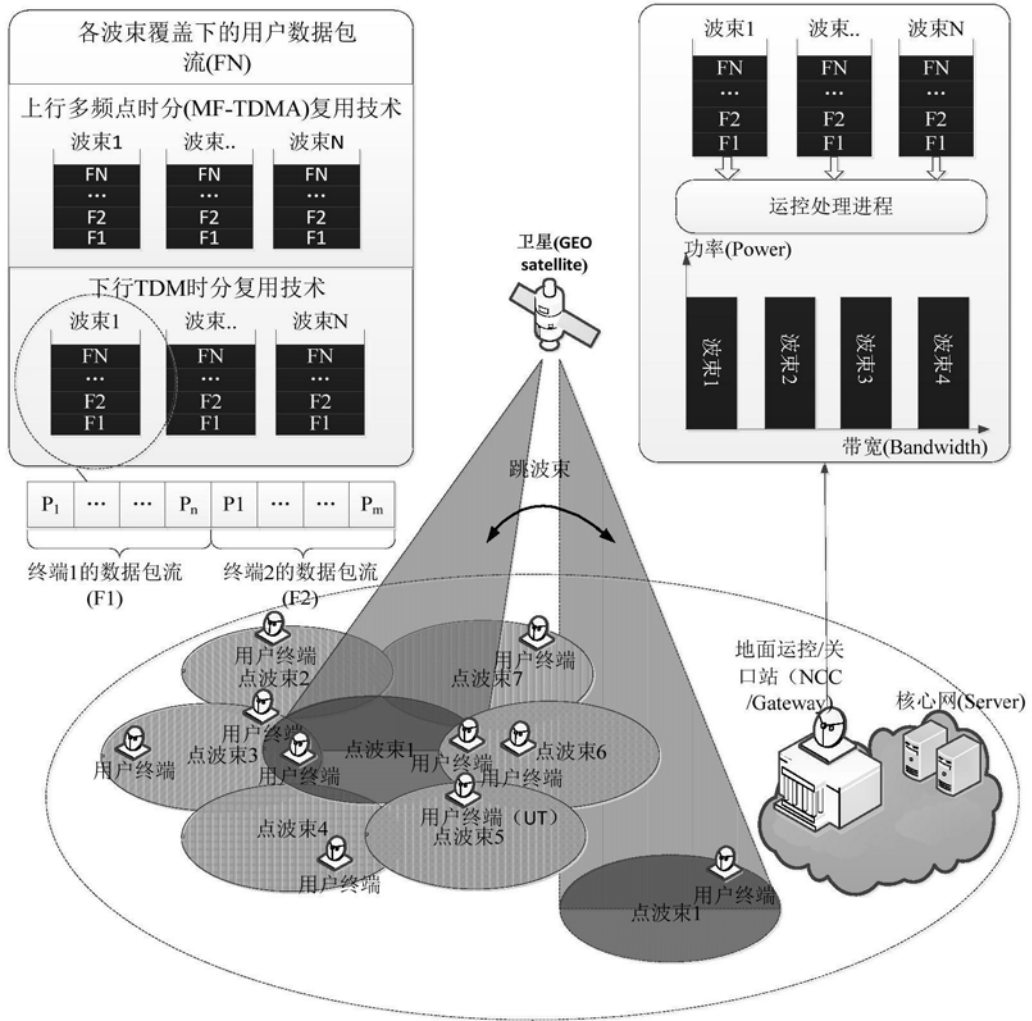


图4

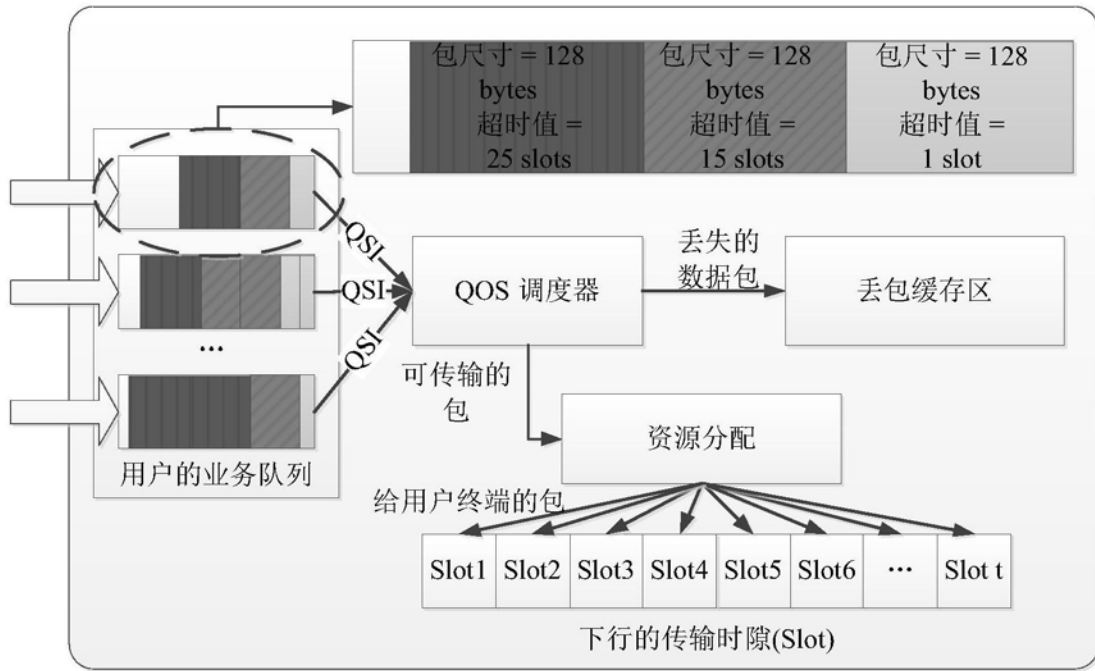


图5

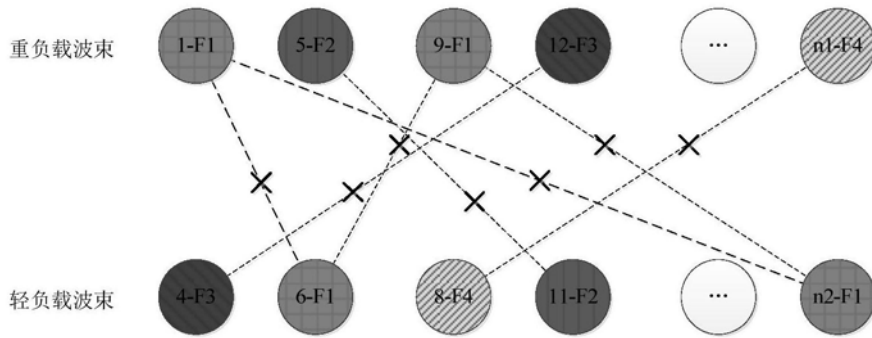


图6

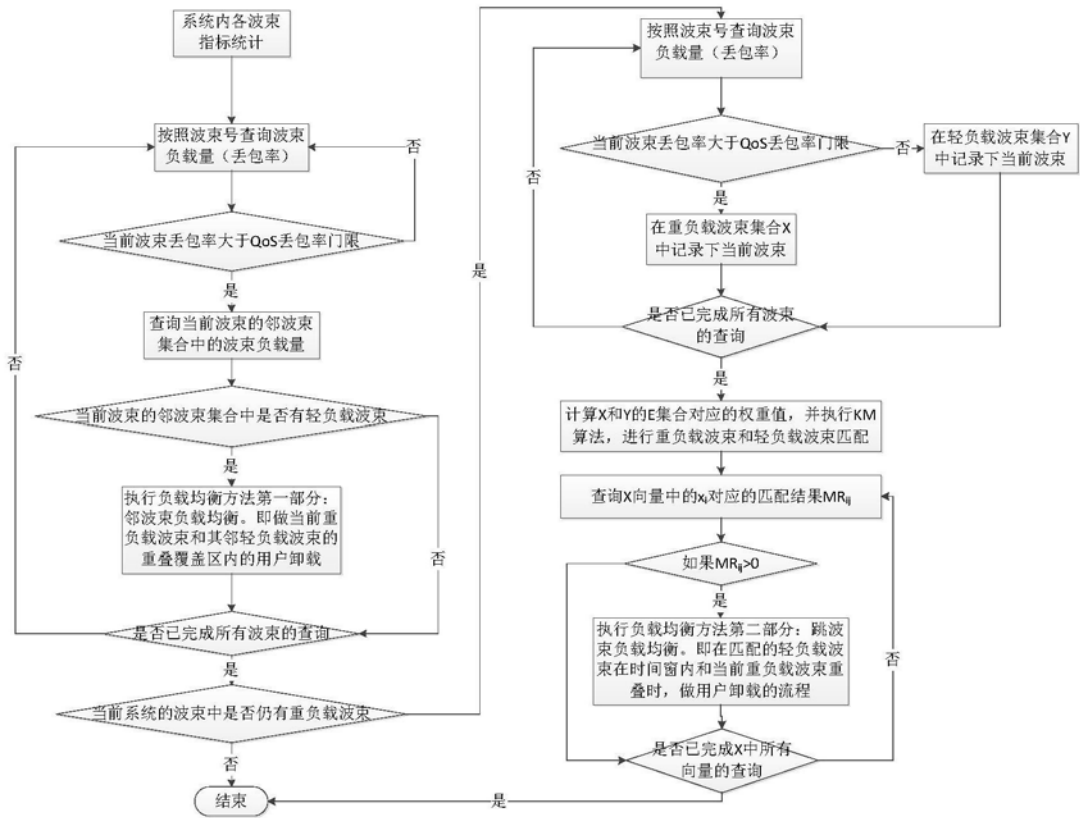


图7