

开发和利用 C 频段资源的新途径

■ 信息产业部电信科学技术第一研究所 吴波洋

摘要 本文简要介绍可在赤道平面以外的空间充分利用 C 频段频谱资源的两种技术手段——倾斜轨道同步卫星和高空通信平台,并就相关系统的潜在通信容量以及新系统与现存系统的干扰协调等问题作了初步探讨。

关键词 地球同步卫星 倾斜轨道 高空通信平台 反向 C 频段 频谱和空间资源的有效利用

宽带无线通信有很多优点,但它在应用时受到频谱资源的限制。在日前已被广泛应用的 L、C 和 Ku 这三个微波频段中, L 频段带宽有限,主要用于移动通信系统,通过空间复用方式使频谱得到有效利用; C 频段带宽较宽,被广泛应用于卫星通信和地面微波通信; Ku 频段与 C 频段相似,但其频率高、降雨衰耗大,在强降雨区难以保证传输质量。地球同步卫星之间需要有一个最小轨位间隔以避免相互干扰,其轨位资源是有限的。目前, C 和 Ku 频段的轨位资源已被占满,发达国家正在开发频率更高、带宽资源更为丰富但雨衰更大、技术难度也更高的 Ka 和 V/Q 频段,并且利用低、中轨移动卫星通信系统开发地球同步轨道以外的空间资源。在这些移动卫星系统中,除了 Globalstar 占用了一部分 C 扩展频段外,其余的都工作在 L、S、Ku 和 Ka 频段上。由此看来, C 频段的空资源还有潜力可挖。本文拟介绍开发和利用 C 频段空间和频谱资源的新途径——倾斜轨道同步卫星和高空通信平台。

倾斜轨道同步卫星介绍

倾斜卫星的轨道平面与赤道平面成一定的夹角。倾斜轨道同步卫星运行在高度与地球同步卫星相同的圆形轨道上,运行周期为 24 小时,星下点轨迹为中心在赤道上的 8 字型。8 字型轨迹在南北和东西方向上的尺寸由倾斜轨道平面的倾角(轨道平面与赤道平面的夹角)所决定。倾角越大,星下点轨迹在南北方向上的两个顶点的间距,以及在东西方向上的宽度也越大。当倾角为 45 度时,南北顶点的纬度也是 45 度,东西方向的宽度约为 20 度。

倾斜轨道同步卫星的星下点在 24 小时内分别运行在南、北半球上,并有两次与赤道相交。为了避免干扰地球同步卫星,倾斜卫星只应工作在远离赤道平面的两个区间。为了避免长时间的通信中断,可以考虑在地球同步轨道环上等间距地安排三个以上的倾斜轨道,并且调整卫星在各自轨道上的相位,使这些卫星的星下点在时间上等间隔地

落在同一个 8 字型轨迹上。当正在工作的卫星在 8 字型星下点轨迹上运行到接近赤道平面时,其业务将被转移至另一颗正朝高纬度方向运行的卫星上。在由三颗卫星组成的系统中,两颗正位于高纬度的卫星分别在南、北半球提供服务,另一颗正运行在低纬度区间的卫星用于备用切换。在一天 24 小时内,每颗卫星都将有两个 8 小时分别工作在南、北半球服务区中,另外的 8 小时则处于备用状态。当备用星在南北方向上运行到纬度与工作星相同时,相关地面天线的指向应从工作星切换至备用星。倾斜卫星的最小系统由 3 颗卫星组成,系统中的卫星数量可随业务量弹性安排。例如,在由 5 颗卫星组成的系统中,南、北半球将各有两颗卫星同时工作。由于改变卫星轨道将因耗费大量燃料而严重影响卫星寿命,因此在系统扩容时,通常只能整数倍地增加卫星,以使原系统中的卫星轨道得以保持不变。

与在赤道平面上的同步卫星相比,倾斜卫星在纬度较高的区间工作,从而可为南北极地区提供服务。倾斜卫星系统中的地面天线需对卫星进行自动跟踪和切换。地面系统在天线切换期间将暂停工作。位于星下点运行轨迹附近、或者在其包含范围以内的地球站,其天线指向的变化范围较大,可能需要方位角能作 360 度旋转的全动天线设计。与覆盖全球的低、中轨卫星星座相比,倾斜卫星的覆盖范围较窄,但其技术难度和建网成本相对较低。在倾斜卫星系统中,地面天线的跟踪速度较低,天线切换的次数也较少。由于在服务区中,卫星的运行是以 8 小

时为周期相对变化的,卫星天线可采用凝视天线技术,即在卫星的运行过程中控制天线指向,使其始终对准服务区中心。为了降低成本和简化设计,C频段卫星天线也可采用固定指向星下点的圆锥喇叭。其半功率波束宽度约为17度,覆盖范围包括地面天线仰角在10度以上的所有地区。由于在卫星的8小时工作期间,星下点的运行轨迹呈马蹄形,因此,实际服务区只是运行中的准全球天线波束所共同覆盖的一个局部区间。地面天线仰角不低于30度的服务区大致包括经度在8字型轨迹中心点的正负40度之间、纬度从0度到65度的区间,而仰角不低于10度的服务区则包括经度约在轨迹中心点的正负70度之间、纬度约从-25度直到超过地球极点的区间。为了有效利用卫星资源,位于南、北半球的国家可以通过国际合作,分别使用卫星系统的南、北两个服务区。

倾斜轨道卫星的 频谱和空间资源

在目前的设备和技术条件下,C和Ku频段同步卫星的最小轨位间隔通常为2度或2.5度。只要不使用天线方向性很差的手持移动通信终端,工作纬度在10度以上的倾斜卫星系统与赤道平面上的同步卫星系统之间不存在不可接受的干扰。由于倾斜轨道同步卫星与LEO、MEO等非同步卫星通信系统都工作在赤道平面以外的低、中纬度区间,这两类系统之间无法通过空间相隔离。因此,倾斜卫星系统应注意避开其它非静止卫星系统的工作频段。根据有关资料,Iridium和Globalstar等系统的移动终端占用了L和S频段,Globalstar系统的馈线链路占用了部分C扩展频段,Skybridge等系统占用了Ku频段,Iridium的馈线链路和Teledesic等系统占用了部分Ka频段。由此看来,似乎只有C频段尚存可供倾斜轨道同步卫星使用的大段频率资源。只要倾斜卫星在运行至低纬度区间时关闭所有的通信转发器,并且不令地面天线指向地球同步卫星,

工作于常规C频段的倾斜卫星系统不会对静止卫星系统造成干扰。

假设C频段静止卫星的最小轨位间隔为2.5度,那么,在服务区相互重叠的条件下,地球同步轨道上最多可以容纳144颗卫



星。在相同的条件下,当轨道平面的倾角为45度时,两组倾斜轨道卫星的8字型卫星链之间应保持22.5度的最小间距,即在环赤道带上可以均匀安排16个倾斜轨道同步卫星通信系统。当相邻两颗卫星的地心夹角为2.5度时,在一个倾斜轨道卫星系统的8字型卫星链中,最多可放置40颗卫星,其中可有28颗卫星同时工作在高纬度区间。由此算来,在16个倾斜轨道系统中最多可有448颗C频段卫星同时工作,数倍于地球同步轨道上所能安排的卫星数量。估算结果表明,通过开发空间资源,将地球同步卫星从同步轨道环扩展到星下点纬度在正、负45度之间的环赤道带上,理论上可以大幅提高C频段频率资源的利用效率。

和静止卫星系统相似,C频段倾斜轨道卫星系统也要与地面微波通信系统进行干扰协调。由于倾斜卫星的工作仰角比静止卫星高,倾斜卫星与地面微波站之间的互扰相对较轻。由于倾斜卫星系统中的部分地面天线需作大角度的跟踪,地球站的微波环境测试和干扰协调工作都比较复杂。为此,在系统设计中应对上行功率谱密度加以限制,并且避免使用小口径地面天线,以减轻地球站与

微波站之间的干扰。

高空通信平台介绍

高空通信平台(HAPS, High Altitude Platform Station)的定义为,位于海拔20到50km的平流层中、相对地球处于固定位置的无线通信平台。平流层中的气流稳定,风速低,有利于通信平台的位置保持。平流层的高度足以使高空平台通信系统的服务区涵盖一个大都市。通信平台可用飞艇或飞机作为载体。由于大气密度和气压将随高度的上升而急剧下降,平台所处的海拔高度越高,所需的飞艇容积或机翼面积就越大。再加上气象数据表明,20到22km高度的平均风速最低。因此,计划中的通信平台均位于平流层的底部。飞艇类平台的海拔高度通常为20到24km,飞机类平台则为15到18km。

高空平台通信系统既有静止卫星通信的地面天线指向相对稳定、仰角较高的优点,其传输延时又较短。它既有LEO卫星通信的频谱利用率高的优点,又无需作大角度的天线跟踪和波束切换。它的功能与LMDS相近,虽然建网成本偏高,但其服务区大、区内覆盖条件较好。高空通信平台是一个空中交换中心,可以用它构建一个无线城域网。必要时,平台上还可搭载遥感设备,用于地面、大气和空间观测。由于高空通信平台具有这许多优点,国外已有公司开展商业运作,其范例为Sky Station公司的以飞艇作为载体的STS(Stratospheric Telecommunications Service)系统和Angel Technologies公司的以飞机作为载体的HALO(High Altitude Long Operation network)系统。此外,欧洲、日本、韩国、以色列和中国等也已开始对高空平台通信系统的研究。

作为主要的两种平台载体,飞艇与飞机各有所长。飞艇平台的优点在于:工作高度较高,服务区相对较大;体积大,可为天线和通信设备提供较大的空间;位置保持较为稳定,地面天线无需自动跟踪;以太阳能

为动力,有利于环境保护。其缺点在于:体积庞大,不利于在地面的停放和维护;动力不足以抗衡对流层中的大气运动,升空和回收过程受天气条件的限制。飞艇平台的工作时间长达数年,对设备的可靠性要求高,主要的电路单元应有备份。飞机平台的优点为,技术上较为成熟,可以提供足够的功率,可以定时补充燃料和进行维修,可以根据需要很快部署到指定的地点提供服务。其缺点为,因需作盘旋飞行,要求地面天线有跟踪能力,地面设备需作波束和频段切换,喷气发动机还将增加对平流层大气的污染。比较结果表明,如果能掌握太阳能驱动和长时间滞空的平流层飞艇技术,宜选用飞艇作为通信平台的载体。

高空通信平台的工作频段和干扰分析
在频谱申报和分配方面,WRC-97已将47/48GHz频段的600MHz带宽分配给HAPS使用。由于该频段的降雨衰耗大,不适合在亚太地区的使用,日本等国在WRC-2000会上推出提案,要求将28/31GHz频段分配给HAPS使用,并且希望一国的主管部门可在不影响邻国的条件下自行决定将3GHz以上的地面通信频段分配给HAPS使用。结果,前一个提案使日本等12个亚太国家得到1.15GHz的带宽,后一个提案已被列入WRC-03的议程。此外,WRC-2000还同意将HAPS作为IMT-2000的基站使用。

由于降雨高度通常不高于5km,高空平台通信的降雨衰耗并不比GSO和LEO卫星通信小。考虑到即使预留10dB的雨衰余量,也不足以避免Ka及更高频段的经常性和长时间的通信中断,再加上我国在研制毫米波通信元器件和设备方面的技术实力尚不成熟,中国的高空通信平台应该避难就简,寻找比Ka频段更低的工作频段。从技术条件、降雨衰耗、可用带宽、以及与其他系统的频率共享等方面考虑,建议使用上行4GHz、下行6GHz的反向C频段。C频段的技术和设备条件比较成熟,基本不受降雨衰耗的影响,可以实现接近于光通信的传输质量。高空平台上的天线可采用单反射面多馈源的结构,产生密集点波束,以空间隔离方式实现频谱资源的多次复用。

C频段固定卫星业务的工作频段为上行6GHz和下行4GHz。为了充分利用频谱资源,CCIR曾经研究过在固定卫星业务中使用上行4GHz和下行6GHz的反向C频段的可能性。C频段卫星的服务区较大,全球波束的天线旁瓣可能指向地球表面以外的空间。这样,在相隔较远(例如轨位相差165度)的两颗卫星之间,可能产生一颗卫星的发送天线旁瓣在赤道平面上正对另一颗卫星的接收天线旁瓣的情况。如果这一对收发天线分别工作于正向和反向的C频段,一颗卫星的上行载波可能因与另一颗卫星的下行载波工作于相同频率而受到干扰。在分别朝东和朝西的两个低仰角的地面天线之间,也可能发生类似的情况。分别工作于正、反向C频段的地球站可能因两者的收发天线旁瓣相对,并且工作频率相同,从而产生互扰。

由上述分析推断,若能限制工作于反向C频段的平台天线在东、西两个水平方向上的旁瓣增益,就能减轻在其下行6GHz频段对地球同步卫星的上行干扰,并且减轻在其上行4GHz频段所受到的来自同步卫星的下行干扰。与此相似,对于平台通信和卫星通信的地面天线之间的互扰,可以通过限制天线在水平方向上的旁瓣增益等方法,减轻反向C频段的HAPS地面站与C频段卫星地球站之间的互扰。由于在平台通信地面站和卫星通信地球站的天线口面上,上行载波的功率谱密度都远高于下行载波的密度,而地面站与地球站之间的传输损耗因距离有限而相对较小,因此,地面天线之间的相互干扰远大于平台与卫星之间的互扰。在距离较近的地面天线之间,只能采用适当选址和加屏蔽等工程手段,减轻和避免干扰。在上述条件下,高空平台通信系统可以与静止卫星通信系统在C频段共存。

地面微波通信和高空平台通信之间的互扰与它和卫星通信之间的互扰相类似。主要的区别在于,高空平台通信采用小口径地面天线,不利于抑制旁瓣增益,对选址及加屏蔽等方面的要求更高。地面微波和高空平台通信之间的干扰通常属于一国主管部门的内部事物,其牵涉面和协调难度理应小于它与卫星通信之间的干扰协调。

卫星和地面微波通信是已经存在和正

在使用的系统,干扰问题的解决应从对新加入系统的限制着手。限制地面天线的低仰角使用可以降低平台和地面天线在水平方向的旁瓣增益,其负面影响为相应减小新系统的服务区范围。限制平台和地面设备所发射的功率谱密度可以减轻它对其他系统的干扰,其不利因素为相应加重对本系统的外来干扰。在设计新系统时,应注意对天线口径、旁瓣增益和发射功率的限制,争取在不干扰既存系统、本系统又能正常工作的前提下,尽可能有效地利用频谱和空间资源。

结束语

由于C频段和Ku频段卫星通信受制于频谱和轨位资源,拓展通信容量的主要途径在于利用Ka及更高频段。不过,国内在该频段的技术经验不足,其使用也可能因为我国东南部经济和人口密度重心处于高降雨区而受到限制。建立低、中轨卫星通信系统是拓展卫星通信容量的另一个途径。这类全球通信网在频率申请和协调方面的难度大,在技术和资金上的投入也大,开发周期又较长,而在市场竞争中,落后者难免遭受失败。相比之下,分别工作于C频段和反向C频段的倾斜卫星通信系统和高空平台通信系统或许是可行的选择。C频段的电波传播不受雨衰影响,国内现有的技术手段也相对成熟。相关系统的技术与通信卫星相近,我国有条件自行研究,也有可能追近起步不久的国际水平。这两类系统的初期投入不太大,系统可按需求逐步扩展。倾斜卫星系统在邻星干扰并不严重,但需考虑卫星的在轨运行是否会对地球同步轨道上的卫星构成威胁。反向C频段高空平台与C频段卫星固定业务的相互干扰需作深入的分析计算。倾斜卫星和高空平台通信系统与地面微波通信的互扰问题也有待进一步的研究。新系统在ITU的频率申报程序复杂而困难,并且需要有效的国际合作。不过,尽管有许多不确定因素,市场需求也尚难预料,倾斜卫星和高空平台通信系统有其独特的优点和潜在的应用前景,并且有利于对频谱和空间资源的充分利用。为此,希望有更多的专家学者与工程技术人员对其加以关注和研究。