

Ka 及更高频段 HTS 卫星通信地面关口站技术

休斯中国市场部

1. 介绍

应用点波束和频率复用技术，Ka 频段高吞吐量卫星 (HTS) 通信系统支持更高速率的互联网接入，更复杂的交互式服务（如 VoIP、视频会议、远程教学和数字标牌），相应地，其配套地面关口站的架构和能力也需要进行提升。本文以休斯 Jupiter 系统关口站为参考探讨这方面的问题。

2. Ka 卫星网络架构

基于 Ka 频段地球同步轨道卫星的通信网络通常采用由关口站、远端小站构成的星形结构（如图 1 所示）。关口站的容量通常很大，配置大口径天线，连接地面电信网络和卫星馈电波束。远端小站通过双向宽带卫星电路与关口站进行通信，用户数据从小站传到关口站，再传输至地面网络；回程数据在反方向传输。通常卫星链路是不对称的，从关口站到小站比反方向有更多的流量。

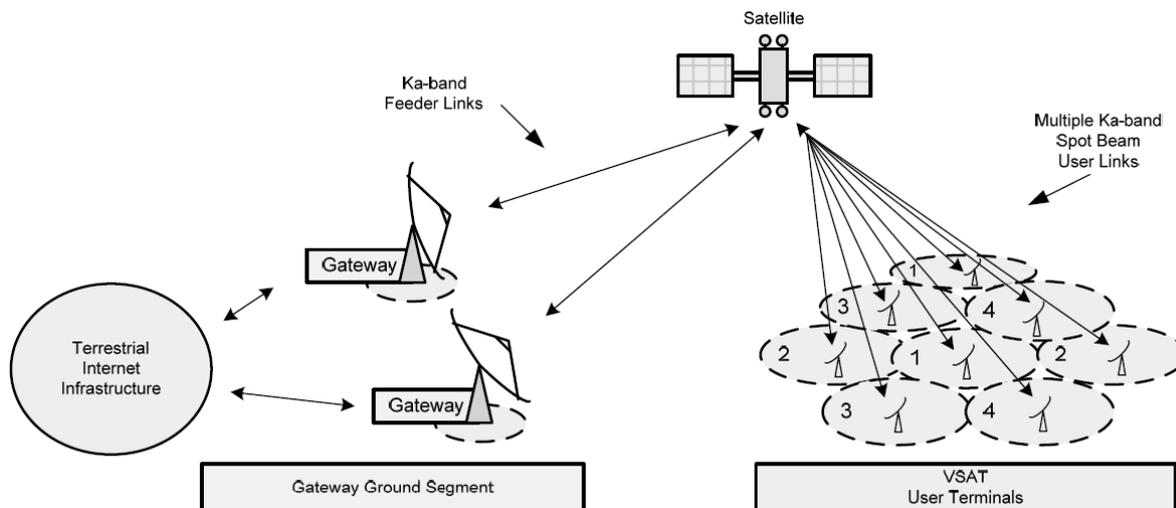


图1 Ka频段卫星通信系统架构

采用与地面移动蜂窝网（如GSM）类似的技术，采用点波束架构的Ka频段卫星在点波束之间重复使用所分配的频谱，从而使自身的通信容量成倍增加。一颗Ka频段地球同步轨道卫星支持较多数量的用户波束（48个或更多），星上天线的方向性指标决定这颗卫星的通信容量大小。

要最大化使用小站覆盖区域的频率资源，其配套的关口站必须也要有相应的频谱分配。通常的Ka网络是4个用户点波束对应一个特定的关口站波束，这样的组合使用所分配的全部频谱。考虑到卫星天线的性能，不同的关口站波束之间要有一定的地理位置间隔。

在建设Ka卫星网络时，关口站的建设位置选择非常重要，需要注意多方面条件能否满足。每个关口站地点要有互联网光纤接入，要有充沛、可靠的电力供应；最好是在一个低降雨区，以保证馈

电波束的链路可用度；关口站地点最好选择在业务量密度较稀的区域，以让关口站拥有更多的带宽。通常所有馈电波束频谱都分配给关口站使用，但在某些情况下，与关口站位置邻近的小站可以使用一部分关口站的频率资源。

假设一颗有48个用户点波束的Ka卫星，每波束带宽500MHz，全网采用图1所示的4X频率复用模式。图2是关口站上行链路的可用频段，在每个极化方向4个250MHz频段形成1GHz带宽，这样关口站总共有2GHz的上行带宽。一个关口站支持4个500MHz的用户点波束，全网48个用户点波束共需要建设12个这样的关口站。

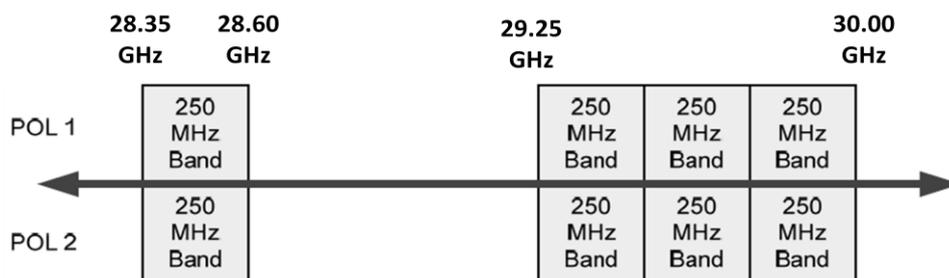


图2 上行链路频率分配

3. 地面关口站架构

图3展示了一个关口站的主要设备构成及其连接示意图。

关口站设备主要有两部分：

1. 室内基带设备
2. 天线和室外射频设备

基带设备：基带设备包括调制和解调设备、系统时钟单元、中频分配电路、倒换开关、关口站服务器，与地面互联网之间的接口设备等。通常的数据中心（Data Center）机房就适合于放置关口站室内基带设备。

关口站的调制器发射DVB-S2载波到每个点波束；解调器解调从每个小站发射的TDMA回传载波；时钟单元提供时钟信号给关口站的调制器和解调器，从而使全网小站与关口站保持时钟同步，每个小站都在最精确的时刻进行TDMA突发。

关口站中的部分服务器执行IP数据处理和Web加速功能。IP处理功能给小站分配所需的卫星带宽，Web加速补偿因与地球同步轨道卫星之间的距离而导致的长传输时延，以提升用户的互联网浏览体验。关口站通过光纤接入ISP的接入点，进而并入Internet骨干网。关口站的服务器、调制器和解调器之间通过高端交换机来实现数据的快速流动。

一个关口站中所有的电源分配单元、开关部件、数据和IF接口设备、调制器、解调器、时钟分配单元和服务器都是冗余配置，整个关口站不会因单点故障而引起服务中断。

射频设备: 为充分利用Ka卫星馈电波束的EIRP、G/T性能, 要尽量将中频和射频部件安装在关口站天线馈源舱 (Antenna Hub) 内。这样的安装方式减短波导、同轴电缆的连接长度, 最大化地保证端到端射频信号指标, 同时也方便对射频设备的维护操作。

上变频器 (BUC) 通常靠近HPA安装, 它们之间通过Ka频段波导连接。低噪声放大器 (LNA) 靠近天线馈源口安装, 以提高关口站的G/T性能。

为获得高可用度, RF系统通常作冗余配置, 在示例中上行和下行电路均采用1:2冗余。当然, 综合系统可用度要求、安装空间大小等因素, 也可以有其它不同的冗余设计。

大多数的天线组件位于室外, 包括反射面、天线支撑件、仰角和方位角电机和驱动电子设备、馈源雨偏系统 (feed rain deviator system)、除冰系统、交流配电、辐射计 (如果需要的话)。

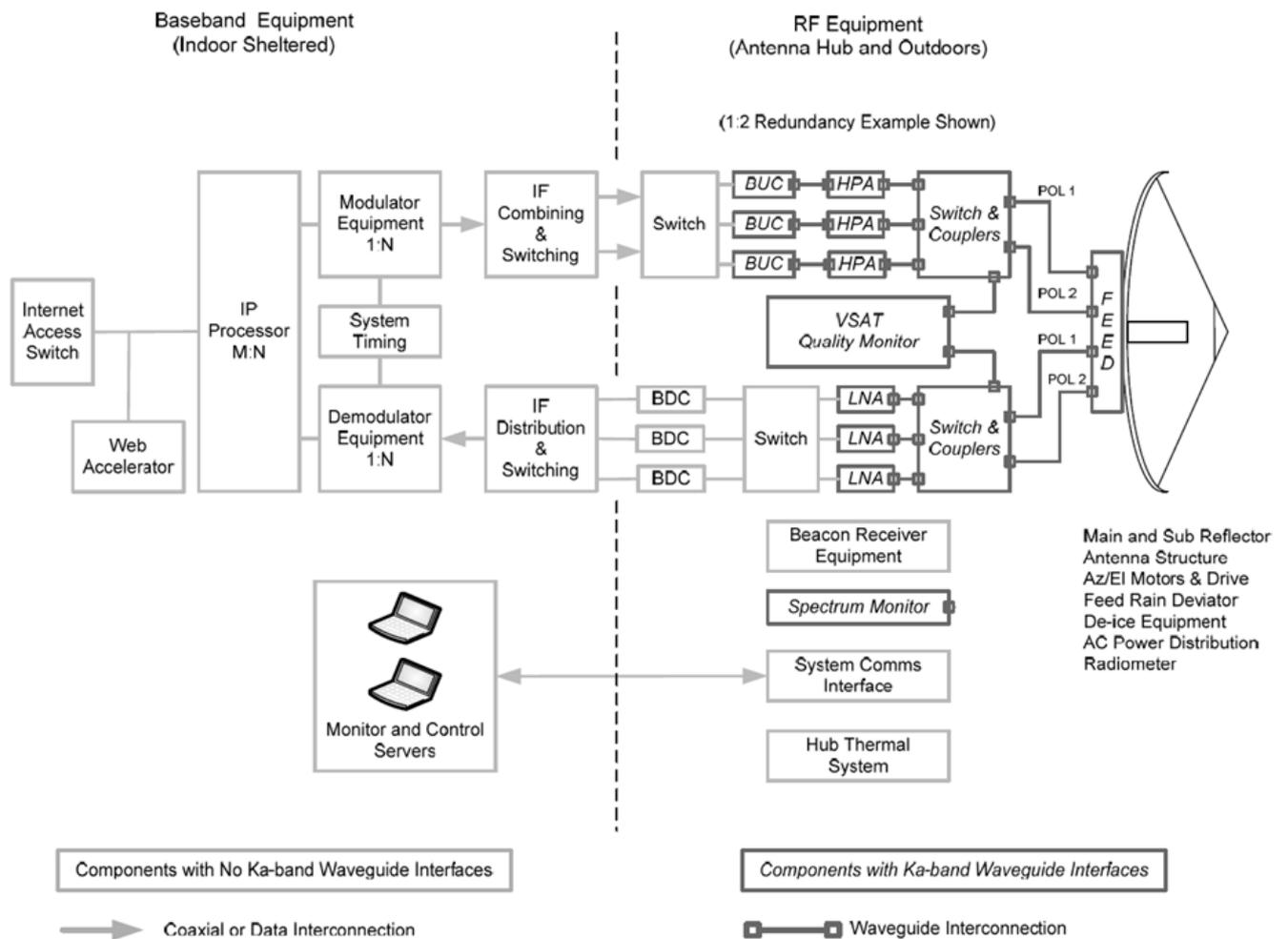


图3 Ka-band地面关口站设备连接示意图

4. 关口站基带设备

由于相当数量的Ka关口站要部署在地理位置分散的偏远地区，比传统Ku系统相比，Ka关口站需要有一些特殊的能力，例如关口站要支持无人值守，要能进行远程管理；关口站要有全面的故障检测功能，设备要冗余配置；不能因单点故障而破坏整个服务，系统要能自动检测故障，自动切换到冗余部件。

Ka卫星的高容量也给关口站设备的体积和造价提出了挑战。部署高处理能力、高容量的地面关口站设备可以缩减体积，降低每用户成本。

4.1 高处理能力

为了解决以上提及的问题，休斯与HP（惠普）合作，整合最先进的数据中心（Data Center）技术和最先进的卫星通信技术，形成一个面向未来的模块化、可扩展架构。此架构可以充分应用数据中心的虚拟化技术，支持网络规模的不断发展。数据中心的高密度特性使Ka关口站比Ku频段的主站还要小很多。

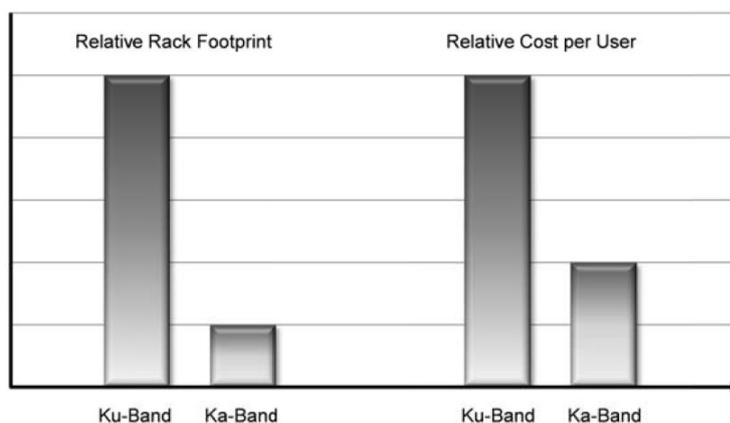


图4 Ka、Ku关口站的机柜体积、每用户成本比较

HP的数据中心硬件采用刀片系统架构，在强大的处理密度和高电源效率基础上，HP又融入了卓越的管理和冗余能力。每个HP机箱可安装多达16台双核刀片服务器，形成一个高度密集、可靠的计算平台。机箱中的每台服务器与2台无阻塞交换机之间形成全冗余的40GB以太网连接。数据中心的其它冗余特性包括每个机箱配置6个电源模块和10个风扇。

每个HP机箱配置1:1冗余的机箱控制器（OA，Onboard Administrators），通过OA可以管理各个处理和开关部件，并可以对部件进行软件更新。OA监视各部件的运行状态，能显示整个机箱温度、散热和电源子系统运行状况等信息。



4.2 高容量卫星调制/解调器

关口站的调制器和解调器能直接安装至HP机箱。通过OA可以管理调制器和解调器。

采用最先进的DSP/FPGA技术，休斯Ka关口站的调制器和解调器拥有比Ku系统更高的传输吞吐性

能、更低的每用户开支。FPGA技术支持通过软件升级来扩展模块功能，而应用PCIe总线的HP刀片服务器保障大容量传输所需要的强大处理能力。

休斯关口站的每块调制器支持速率超过1Gbps的出向调制载波，每块解调器支持速率超过100Mb/s的入向载波。这些部件支持M:N的冗余配置方式。执行IP处理、WEB加速、加/解密的刀片服务器可以安装在机箱其它位置上。

围绕着这个混合刀片架构的是全冗余的L-band信号和时钟分配系统。与刀片架构中的其它部件一样，这些部件的故障检测、工作温度跟踪和软件升级也被集中管理。通过监视被L-band分配和开关系统环回的主用调制器信号输出，可以判断出向电路是否正常工作。同样，系统监视备份调制器的信号输出，以确保它们工作正常，可以随时接替主用调制器。备用解调器一直监视入向载波的工作状态，并判断它们是否正常工作。这些冗余和工作状态监视功能的组合，使得模块化系统高可靠运转。



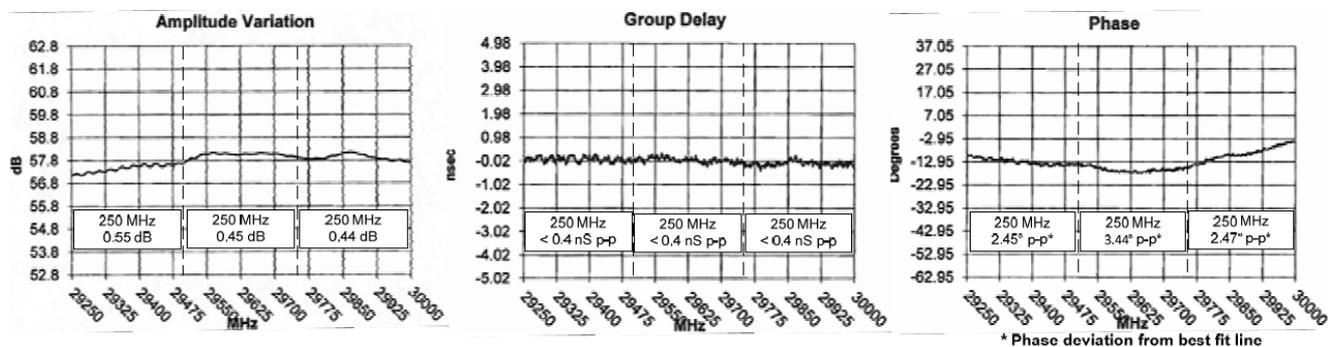
5. RF 设备

以前一颗Ku卫星容量为数百MHz，而Ka频段关口站馈电波束的带宽就达数GHz。传统Ku卫星转发器为36MHz、72MHz带宽；而今天的Ka卫星转发器带宽为250MHz，甚至更大。为支持更高频率、更宽容量的Ka频段，必须要提升关口站RF系统的性能，包括改善增益平稳度和相位线性指标，减小波导损耗，以及针对大带宽的精确上行雨衰消除技术。

5.1 改善关口站上行性能

宽载波可以充分利用Ka卫星转发器的高带宽资源。为保持宽载波调制后的信号整体性，上行链路的各个主要部件都要符合严格的幅度和相位响应指标要求。关口站的整个传输环节，包括中频（IF）和射频（RF）部分，都要保证250MHz（卫星转发器）带宽上的幅度、群时延和相位响应的性能。

图5显示关口站对振幅、群时延、相对于线性响应相位偏差的端对端指标要求。



Item	Gateway Requirement
Amplitude Variation	≤1.0 dB peak-to-peak over 250 MHz
Group Delay Response	≤ 0.4 nS peak-to-peak over 250 MHz
Phase Deviation from Linear	≤ 7° peak-to-peak over 250 MHz

图5 关口站的端对端振幅、群时延、相对于线性响应的相位偏差特性

要确保尽可能低的幅度和相位失真。在评估全路径性能指标时要考虑关键部件和它们之间的电路连接，例如：

- 要对信号传输全程中的每个设备建模，并做性能分析
- 要明确所有部件（包括上变频器、高功率放大器）的关键性能参数取值
- 部件间的接口要满足最低的电压驻波比（VSWR）
- 同轴电缆和波导要支持最佳的幅度平坦度和相位响应指标
- 斜率均衡器
- 对每个单个器件、整个集成系统都要做100%的性能验证。

5.2 减小波导损耗

设计物理连接时，要尽量将Ka频段信号元器件的安装位置靠近天线馈源口。与其它低频段相比，Ka频段关口站射频设备的安装位置非常重要，一个重要原因是波导元件的插入损耗变大了。

30GHz/Ka频段的波导损耗通常为每米0.4dB，而14GHz/Ku频段的波导损耗为每米0.2dB。尽量将高功率放大器（HPA）安装在靠近天线馈源口的位置，这样可以有效地解决波导插入损耗的问题，同时又提高了关口站的EIRP值，进而有助于优化整个Ka频段系统的性能。

波导可以低损耗地在主要部件之间传送宽带Ka频段信号。通常情况下HPA和天线馈源口之间的标称插入损耗是0.8dB，其中包括：

- 波导组件损耗0.4dB
- 冗余倒换开关损耗0.14dB
- 定向耦合器损耗：0.26dB

5.3 Ka 关口站的精确上行雨衰消除

与Ku频段相比，Ka频段的信号更容易受降雨的影响。当关口站的馈电波束遭受恶劣天气时，关口站的上行功率控制单元分析接收到的信标信号变化，相应调整上行衰减器的设置，从而使卫星接收的关口站上行信号通量密度维持不变。

但Ka频段的宽载波特性带来了新的要求。见图6，信标通常位于Ka系统的下行20GHz频段，发生雨衰时，上行功率控制单元检测信标值的减少量，进而计算针对整个上行链路所需要的增益调整值。但由于Ka系统的上行频段太宽（约2GHz），为使卫星接收的上行通量密度维持恒定，整个2GHz上行频段的不同频率部分所需要的增益调整幅度是不一样的。与简单、一视同仁的上行功率调整方法相比，针对具体频率的精确控制技术能做到数十分之几dB的功率调整精度。

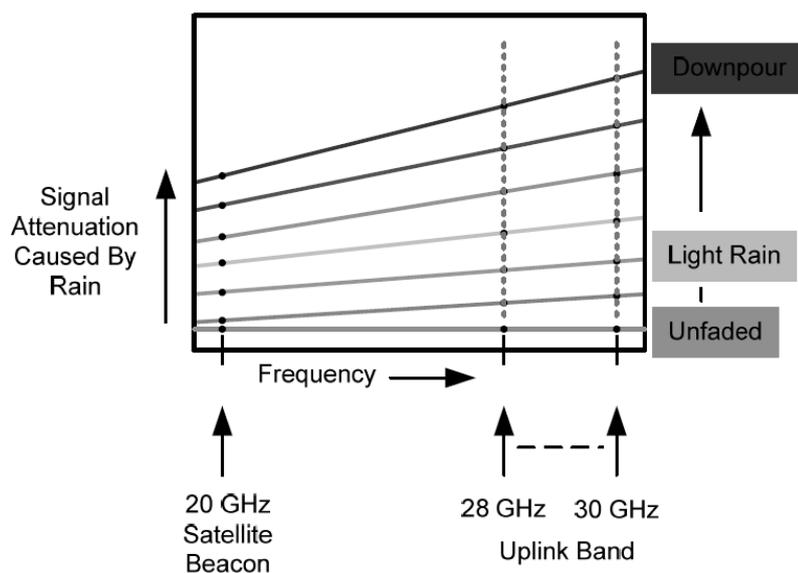


图6 Ka系统雨衰效果图

6. 结论

要开发、利用Ka频段点波束卫星系统的高吞吐能力，用户要采用全面技术革新的地面关口站系统，关口站要采用高密度架构；IF、RF、时钟分配单元要作全冗余配置，以提高整个系统的可靠性；要保证宽载波的RF性能，需要对RF设备的安装及连接做科学的设计/安排，要采用改进型的上行雨衰消除技术。

采用休斯Jupiter地面关口站系统，运营商们可以在Ka、甚至更高频段为各行各业的用户提供更加灵活、更高成本效益的卫星宽带通信服务。